

Université Mohamed Khider – Biskra

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'Hydraulique et du G. civil

Ref :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم الري والهندسة المدنية  
المرجع:.....

Thèse présentée en vue de l'obtention  
Du diplôme de  
**Doctorat en sciences**

**Option: SCIENCES HYDRAULIQUES**

**IMPACT DES REJETS URBAINS SUR  
L'ENVIRONNEMENT ET SUR LES RESSOURCES EN EAU  
DE LA RÉGION DE BÉCHAR (SUD OUEST ALGÉRIEN)**

Présentée par :  
**KABOUR Abdesselem**

Soutenue publiquement le : 05/01/2017.

**Devant le jury composé de :**

Dr. BOUZIANE Mohamed Tewfik	Professeur	Président	Université de Biskra
Dr. HANI Azzedine	Professeur	Rapporteur	Université d'Annaba
Dr. BEDJAOUI Ali	MCA	Examineur	Université de Biskra
Dr. HOUICHI Larbi	Professeur	Examineur	Université de Batna
Dr. FEHDI Chemsedine	Professeur	Examineur	Université de Tébessa

## ملخص

تعتبر الموارد المائية في البيئة الصحراوية أحد أهم ركائز الحياة و التنمية الاقتصادية. إن تمركز السكان الأوائل في المنطقة حول نقاط المياه (بئر أو وادي) ساهم بشكل كبير في التحضر، الأمر الذي سمح بالنمو الاجتماعي و الاقتصادي، هذا التطور نتج عنه بعض السلبيات ، منها إصدار النفايات الصلبة و السائلة، التي دون معالجة ، تشكل تهديدا حقيقيا للبيئة. تقع مدينة بشار على ضفاف وادي بشار، حيث تلقى المياه المستعملة، مما يشكل خطرا على البيئة و على الصحة العامة. بما أن الوادي ليس مهيبا إلا جزئيا، الأمر الذي يجعله مصدرا هاما للتلوث. جزء من هذه المياه يتبخر بسبب الموقع الجغرافي للمدينة في مناخ جاف ، وزيادة التبخر تركز العناصر الكيميائية ، وتساهم في تشكيل بيئة خصبة جدا لنمو البكتيريا. و هناك عوامل أخرى تساهم في تلويث المياه الجوفية ، وتؤثر على عمليات انتقال المواد الكيميائية إلى المياه الجوفية ، ويتمثل ذلك أساسا ، في وجود الحجر الرملي في اتصال مباشر مع الوادي. لقد سمحت هذه دراسة بتقديم تقييم لحالة الموارد المائية المختلفة ، و تحليل نمط إدارة هذه الموارد ، وتقديم الحقائق عن نوعية المياه الجوفية في المدينة ، والدالة على أن التلوث من صنع الإنسان ، وان الظروف الهيدروجيولوجية ساعدت بشكل فعال في تيسير العلاقة بين الوادي و المياه الجوفية ، مما يسهل حركة المواد الكيميائية والعضوية. ويظهر أثر التصريف الحضري على البيئة، وموارد المياه أولا من تدهور نوعية المياه الجوفية، وثانيا عن طريق تحليل المخاطر على الصحة العامة، و التي أعرب عنها مؤشر تقييم المخاطر. وتفسير أهمية اتخاذ تدابير ملائمة لخفض هذا الخطر على الصحة العامة أو حتى القضاء عليه نهائيا.

## ABSTRACT

In arid regions, water resource is a very important parameter for life, and economic development.

The habitants' settlement around water points (wells, wadi) contribute to a high level of urbanization, which allowed a growing socio-economic development, this development presents some drawbacks, among other releases of solid and liquid waste which, without treatment, is a real hazard to the environment.

The town of Béchar along both banks of Béchar wadi, where it rejects its waste water, thus constituting a real threat to the environment and public health. The river is only partially built, which increase the development of a major source of pollution.

A portion of this water is evaporated due to the situation of the city in an arid climate; evaporation increases the concentration of chemical elements, and contributes to the formation of a very fertile environment for the growth of bacteria.

Another part pollutes groundwater, several factors affect the infiltration, mainly, the presence of sandstone in direct contact with the wadi.

The study allowed to give information's on the situation of different water resources, and analyze the pattern of management of these resources, and to make a check on the status of groundwater quality in the city, and to evidence of anthropogenic pollution, favored by the hydro geological conditions, which allow a relationship wadi groundwater, thus facilitating the movement of chemical and organic substances.

The impact of urban discharges on the environment and water resources is defined mainly by the deterioration of groundwater quality, and secondarily by the risk analysis on public health, expressed by the evaluation hazard index, interpret the importance of taking adequate measures to reduce or even eliminate this risk to public health.

## RESUME

Dans les régions arides, la ressource hydrique est un facteur très important pour la vie, et le développement économique.

La sédentarisation des autochtones autour des points d'eau (puits, Oued) à contribuer à une urbanisation importante, qui a son tour a permis un développement socio-économique croissant ; ce développement présente quelques inconvénients, entre autres les rejets de déchets solides et liquides, qui sans traitement, constituent une véritable menace sur l'environnement.

La ville de Béchar longe les deux rives de l'Oued Béchar, où elle rejette ses eaux usées, constituant ainsi une véritable menace pour l'environnement et la santé publique. L'oued n'est aménagé que partiellement, ce qui favorise le développement d'une source très importante de pollution.

Une partie de cette eau est évaporée, du fait de la situation de la ville sous climat aride, cette évaporation accentue la concentration des éléments chimiques, et contribue à la formation d'un milieu très fertile à la croissance de bactéries.

Une autre partie pollue les eaux souterraines, plusieurs facteurs conditionnent cette infiltration, principalement, la présence des grés en contact direct avec l'oued.

L'étude a permis de dresser un bilan sur la situation des différentes ressources hydriques, et analyser le schéma de la gestion de ces ressources ; de faire une constatation sur l'état de la qualité des eaux souterraines de la ville et de mettre en évidence une pollution d'origine anthropique, favorisée par les conditions hydrogéologiques, qui permettent une relation Oued – eaux souterraines, facilitant ainsi le déplacement des substances chimiques et organiques.

L'impact des rejets urbains sur l'environnement et sur la ressource hydrique est défini principalement par la détérioration de la qualité des eaux souterraines, et secondairement par l'analyse du risque sur la santé publique. Cette dernière est exprimée par l'évaluation de l'indice des risques et par l'importance des mesures adéquates pour réduire, voir éliminer, ce risque d'atteinte à la santé publique.

## REMERCIEMENTS

Au terme de cette thèse, voici venu le temps des remerciements...

Je remercie très sincèrement le professeur HANI Azzedine, mon directeur de thèse, pour avoir encadré ce travail et pour la confiance et l'autonomie qu'il m'a accordée. Je le remercie sincèrement pour son aide dans la rédaction de cette thèse et pour ces précieux conseils.

Mes remerciements vont également à tous les membres du jury, pour avoir accepté d'en faire partie et pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette thèse.

Je remercie, monsieur, BOUZIANE Mohamed Tewfik Professeur à l'Université de Biskra, d'avoir accepté de présider le Jury, je lui en suis très reconnaissant.

Mes vives gratitude vont aussi à Monsieur HOUICHI Larbi, Professeur à l'Université de Batna, le Pr. FEHDI Chemsedine de l'Université de Tébessa et Monsieur BEDJAOUI Ali (MCA) de l'Université de Biskra, qui ont bien voulu examiner ce travail.

J'exprime toute ma gratitude à mon ami Dr MEKKAOUI Abderrahmane, qui m'a largement conseillée tout au long de cette thèse. Je le remercie notamment pour les longues discussions sur la rédaction, de m'avoir confié ces travaux inédits et de m'avoir accompagnée si souvent sur le terrain par tous les temps, ainsi que le Pr ABDELAZIZ yazid.

Je remercie ma famille : mes frères et sœurs et tout particulièrement ma mère, qui m'ont toujours soutenu et ont eu foi en moi durant toute ma scolarité.

Enfin, pour conclure, je remercie tout particulièrement, ma femme « *Lynda* », qui m'a toujours soutenue surtout dans les moments de doute (il y en a eu beaucoup et ce n'est pas fini...). Je la remercie d'avoir supporté toutes mes crises et tous mes appels intempestifs. Je la remercie aussi pour ses conseils avisés lors de la rédaction de ce manuscrit, pour ses corrections et ses relectures. Je la remercie d'avoir toujours été là pour moi.

Merci aussi au Dr MAAZOUZI Abdelhak qui a dirigé les analyses chimiques, ainsi que DJEBBA A, et BOUKHELKHAL A., qui les ont réalisées.

*A la mémoire de mon cher père " Salah ", qui fut et reste un grand homme à mes yeux.  
A la mémoire de ma mère, mon frère Imed et ma sœur Samira, morts dans un accident  
de la route, le 23 aout 2014.  
A mon petit rayon de soleil, ma fille : « Khadîdja Darine ».*

*Abdesselem Kabour.*

*Kabour\_abs@yahoo.fr*

## Table des matières

Liste des figures .....	XII
Liste des tableaux .....	XV
Introduction générale .....	XVI

### *Partie I : Généralité sur le site d'étude*

#### **Chapitre 1 : Situation géographique et socioéconomique**

1.1	Situation Géographique.....	02
1.2	Aspect géomorphologique.....	02
1.3	Aperçu socio- économique .....	04
1.4	La couverture végétale.....	04
1.5	Genèse de la ville de Béchar et son développement spatiotemporelle .....	04
1.6	Morphologie naturelle de la ville.....	05

#### **Chapitre 2 : Géologie**

2.1	Géologie de la région .....	08
2.2	La litho stratigraphie.....	08
2.2.1	Précambrien et Paléozoïque indifférenciés.....	08
2.2.2	Carbonifère.....	08
2.2.2.1	Le Viséen .....	08
2.2.2.2	Namurien .....	09
2.2.2.3	Westphalien.....	09
2.2.3	Le Trias-Jurassique .....	09
2.2.4	Le Crétacé.....	09
2.2.4.1	L'Albien .....	10
2.2.4.2	Cénomaniens - Turoniens .....	10
2.2.4.3	Sénonien - Eocène Inf .....	10
2.2.5	Le Tertiaire.....	10
2.2.5.1	Eocène Supérieur .....	10
2.2.5.2	Oligocène.....	10
2.2.5.3	Miocène .....	10
2.2.5.4	Pliocène.....	11
2.2.6	Le Quaternaire.....	11
2.2.6.1	Le Quaternaire de la région de Béchar vue Par Jean Chavaillon (1964) .....	13
2.3	Aperçu structural .....	16
2.3.1	Série (dépôt) non plissée et tabulaires du Mio-Pliocène .....	17
2.3.2	Série plissée .....	17

## Chapitre 3 : Climatologie & Hydrologie

3.1	<b>Climatologie</b> .....	19
3.1.1	Introduction.....	19
3.1.1.1	Caractéristiques climatiques de la région .....	19
3.1.1.2	Présentation de la station climatique.....	19
3.1.2	Indices climatiques (d'aridité).....	19
3.1.2.1	Indice de DE MARTONE .....	19
3.1.2.2	Indice d'aridité mensuelle .....	20
3.1.3	La pluviométrie.....	21
3.1.3.1	Répartition spatiale des isohyètes dans la région du Sud Ouest Algérien.....	21
3.1.3.2	Coefficient pluviométrique relatif .....	22
3.1.4	La température.....	23
3.1.5	Diagramme pluviothermique .....	24
3.1.6	L'évapotranspiration :.....	24
3.1.7	Bilan hydrologique.....	26
3.1.8	Le vent.....	27
3.1.9	Conclusion .....	27
3.2	<b>Hydrologie d'Oued Béchar</b> .....	28
3.2.1	Paramètres géométriques du bassin versant.....	29
3.2.1.1	Superficie du bassin versant.....	29
3.2.1.2	Périmètre du bassin versant.....	29
3.2.1.3	Indice de compacité de Gravéllius.....	29
3.2.2	Étude du relief.....	29
3.2.2.1	Courbe hypsométrique.....	30
3.2.2.2	Les altitudes caractéristiques.....	31
3.2.2.2.1	Les altitudes maximales et minimales.....	31
3.2.2.2.2	L'altitude moyenne.....	31
3.2.2.2.3	L'altitude médiane.....	32
3.2.2.3	Les indices de pente .....	32
3.2.2.3.1	Indice de pente de Roche .....	32
3.2.2.3.2	Indice de pente globale ( $I_g$ ) .....	32
3.2.2.3.3	Dénivelée spécifique ( $D_s$ ).....	33
3.2.2.3.4	La pente moyenne d'un cours d'eau.....	33
3.2.3	Réseau hydrographique.....	34
3.2.3.1	Densité de drainage ( $D_d$ ).....	34
3.2.3.2	Coefficient de torrentialité ( $C_t$ ).....	35
3.2.3.3	Temps de concentration ( $T_c$ ).....	35
3.2.4	Caractérisation de la station de jaugeage.....	36
3.2.5	Les apports liquides.....	36
3.2.5.1	Estimation de l'apport moyen annuel.....	37
3.2.5.2	Coefficient d'immodération.....	37
3.2.5.3	Observations sur les débits extrêmes .....	37
3.2.5.3.1	Le maximum interannuel.....	37
3.2.5.3.2	Les débits mensuels .....	37
3.2.5.3.3	Les débits moyens interannuels.....	38
3.2.5.4	Débits en fonction des précipitations.....	39
3.2.6	Conclusion.....	40

## **Chapitre 4 : Hydrogéologie**

4.1	Introduction .....	41
4.2	Les nappes aquifères de la région Béchar.....	41
4.2.1	Aquifères Superficiels.....	42
4.2.2	Aquifères tertiaires.....	43
4.2.3	Aquifères du Crétacé.....	43
4.2.4	Aquifère Jurassiques.....	43
4.2.5	Aquifère Carbonifère.....	43
4.3	La zone d'étude.....	45
4.3.1	Étude hydrogéologique de la ville de Béchar.....	45
4.3.2	Les nappes aquifères de la ville de Béchar .....	45
4.3.2.1	Nappes libres provenant des formations tabellaires de la Hamada.....	45
4.3.2.2	Nappes libres des alluvions de l'Oued Béchar.....	45
4.3.2.3	Alimentation de la nappe, plus ou moins captive, des calcaires cénomaniens...	46
4.3.2.4	Nappes des grés houillers.....	47
4.4	Conclusion.....	48
4.5	Nouvelle données sur le système aquifère de la ville de Béchar.....	49
4.5.1	Description du système aquifère.....	50
4.5.2	Piézométrie.....	52
4.5.3	Conclusion .....	53

## **Chapitre 5 : Evaluation et gestion des ressources hydrique de la ville de Béchar**

5.1	Introduction.....	54
5.2	Évolution de la population.....	54
5.3	Évaluation des ressources hydriques.....	55
5.3.1	Les ressources.....	55
5.3.1.1	Eaux de surface .....	55
5.3.1.2	Eaux souterraines .....	56
5.3.2	Les besoins.....	56
5.4	Schéma d'évaluation et de gestion des ressources en eau.....	57
5.5	Les contraintes.....	58
5.6	Conséquences .....	59
5.7	Résultats et discussion.....	60
5.8	Conclusion et recommandations.....	60

### ***Partie II : Résultats et discussion***

## **Chapitre 1 : Hydrochimie des eaux souterraines de la ville de Béchar**

1	Évolution de la qualité des eaux souterraines (2007/2008/2009/2010).....	63
---	--	----

1.1	Matériels et Méthodes d'analyse.....	63
1.2	Paramètres physiques .....	64
1.2.1	Conductivités électriques (CE).....	64
1.2.2	Potentiel d'Hydrogène (pH).....	66
1.2.3	Potentiel d'oxydoréduction (Eh).....	67
1.2.4	Oxygène dissous (O <sub>2</sub> ).....	68
1.3	Les paramètres chimiques (éléments majeurs).....	68
1.3.1	Calcium (Ca <sup>2+</sup> ).....	68
1.3.2	Magnésium (Mg <sup>2+</sup> ).....	69
1.3.3	Sodium (Na <sup>+</sup> ) .....	70
1.3.4	Potassium (K <sup>+</sup> ).....	70
1.3.5	Chlorure (Cl <sup>-</sup> ) .....	71
1.3.6	Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).....	71
1.3.7	Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	72
1.3.8	Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) et ammonium NH <sub>4</sub> .....	72
1.4	Autres éléments (mineurs) .....	74
	- Phosphate (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ).....	74
	- Éléments métalliques en traces (P, Br, PO <sub>4</sub> , Zn, Mn, Pb, Cu).....	74
1.5	Analyses microbiologiques.....	75
1.5.1	Les germes totaux.....	75
1.5.2	Les Coliformes Totaux.....	76
1.5.3	Les coliformes fécaux .....	76
1.5.4	Streptocoques .....	77
1.5.5	Clostridium Sulfito-réducteur .....	78
1.5.6	Conclusion.....	78

**Chapitre 2 :**  
**Évaluation et évolution de la charge polluante des eaux usées**  
**d'Oued Béchar**

1	Introduction .....	80
2.1	Évaluation du débit .....	81
2.2	Matériel et méthodes.....	82
2.1	Campagnes de prélèvements.....	82
3	Résultats et discussion.....	83
	Estimation de la charge polluante des eaux usées domestique d'Oued Béchar	83
3.1.1	Conductivité, MES (Matières en Suspension) et pH.....	83
3.1.2	Oxygène dissous .....	84
3.1.3	Calcium et magnésium.....	84
3.1.4	Sodium et Potassium.....	84
3.1.5	Sulfate, Chlorure et bicarbonate .....	84
3.1.6	Nitrates, nitrites, azote kjeldahl (TNK) et l'ammonium .....	85
3.1.7	Phosphates et Phosphore.....	85
3.1.8	Iode et Chrome.....	85
4	Conclusion.....	87

**Chapitre 3 :**  
**Impact des rejets urbains sur la qualité des eaux souterraines de**  
**la ville de Béchar (S W algérien) : Approche par Corrélacion chimique**

3.1	Introduction .....	89
3.2	Aptitude a la potabilité (par rapport aux normes Algériennes (ADE) et OMS)	89
3.3	Aptitude a l'irrigation (diagramme de Wilcox) .....	90
3.4	Détermination des faciès chimiques .....	91
3.4.1	Classification en fonction de la teneur chimique .....	91
3.4.2	Classification selon le daigramme de Piper .....	92
3.4.3	Classification selon les rapports .....	94
3.4.3.1	$(Na^+ / Ca^{2+}) = f(Cl / HCO_3^-)$ .....	94
3.4.3.2	$(Ca / HCO_3 + SO_4) = f(Na/Cl)$ .....	94
3.5	Corrélacion des éléments chimiques par méthodes statistiques.....	95
3.5.1	Dendrogramme .....	95
3.5.2	Analyse en composantes principales (ACP).....	96
3.6	Origine des éléments chimiques et identification des apports anthropiques....	98
3.6.1	<i>Diagramme de Gibbs (1970)</i> .....	99
3.6.2	<i>Rapport <math>rMg^{2+} / rCa^{2+}</math></i> .....	100
3.6.3	<i>Rapport <math>rSO_4^{2-} / rCl^-</math></i> .....	101
3.6.4	<i>Rapport <math>rNa^- / rCl^-</math></i> .....	102
3.6.5	<i>Rapport <math>rCa / rHCO_3</math></i> .....	103
3.6.6	<i>Corrélacion entre <math>Ca / (HCO_3 + SO_4)</math> et <math>Na / Cl</math></i> .....	103
3.6.7	<i>Rapport <math>rMg / rCl</math></i> .....	104
3.6.8	<i>Rapport <math>rNO_3 / rCl</math></i> .....	105
3.7	Conclusion .....	105

**Chapitre 4 :**  
**Impact des rejets urbains sur la qualité des eaux souterraines de**  
**la ville de Béchar (S W algérien) : approche par cartographie de la**  
**contribution anthropique**

	Résume .....	107
4.1	Introduction .....	107
4.2	Résultats et interprétation : .....	108
4.3	Conclusion .....	111

**Chapitre 5 :**  
**Évaluation de l'indice du risque sur la sante publique**

5.1	Synthèse bibliographique.....	113
5.1.1	Méthode de l'évaluation de l'impact sur l'environnement .....	113
5.1.1.1	Impacts esthétiques.....	114
5.1.1.2	Impacts microbiens .....	114
5.1.1.3	Impacts physico-chimiques.....	115
5.1.2	Méthode de l'évaluation de l'impact sur la santé (indice de risque).....	115
5.1.2.1	Les risques à la santé associés aux usages directs et indirects.....	115

5.1.2.2	Évaluation des risques microbiologiques.....	115
5.2	Évaluation de l'indice de risque pour la ville de Béchar.....	116
5.2.1	Application de la méthode.....	116
5.2.2	Résultats et discussion .....	126
5.3	Conclusion .....	129
	<b>Conclusion générale</b> .....	130
	<b>Références bibliographiques</b> .....	133
	<b>Production scientifique</b> .....	139
	<b>Annexes</b> .....	140
	Annexe 1: Cadre législatif .....	140
	Annexe 2: Normes de potabilité, selon le code de L'eau Algérien.....	142
	Annexe 3: Normes de rejet, selon le code de L'eau Algérien.....	145
	Annexe 4: Matériels et méthodes.....	146
	Annexe 5: Données climatiques.....	152
	Annexe 6: Définition de la Barga.....	153
	Annexe 7: Rectangle équivalent du bassin versant de l'oued Béchar.....	154
	Annexe 8: Formule de Penman-Monteith FAO (in Paré S. 2006).....	155
	Annexe 9: Logs de quelques forages de la ville de Béchar.....	158
	Annexe 10: Normes de Qualité des éléments minéraux susceptibles d'être naturellement présents dans les eaux souterraines et risques associés (Géosciences, Numéro 5 – Mars 2007; P59). .....	160
	Annexe 11: Principales infections humaines transmissibles par l'eau (Hartemann, 2004).....	161
	Annexe 12: Résultats de l'application de l'évaluation de l'indice de risque pour la ville de Béchar.....	162

## Liste des Figures

### Partie 1 :

<b>Fig 1.1</b>	Situation géographique du site d'étude .....	02
<b>Fig 1.2</b>	Caractéristiques géomorphologiques de la région de Béchar.....	03
<b>Fig 1.3</b>	Esquisse de la morphologie naturelle du site : la ville de Béchar (SW Algérien).....	06
<b>Fig 1.4</b>	Evolution spatiale de la ville de Béchar dans le temps (avant 1962 - 2005) (Benmohamed T., 2005).....	07
<b>Fig 2.1</b>	Extrait de la Carte géologique de la région de Béchar [Feuille Hamada du Guir, 1/500 000].....	11
<b>Fig 2.2</b>	Esquisse d'une Coupe géologique NO-SE de la ville de Béchar (Guerre, 1974).....	12
<b>Fig 2.3</b>	Coupe schématique à travers la vallée de l'Oued Béchar, près de Béchar Djedid, montrant les rapports de position stratigraphique entre les formations Taourirtireennes, Ougartiennes et Saouriennes (Chavaillon 1964).....	16
<b>Fig 2.4</b>	Coupe a travers les la terrasse Saourienne (niveau moyen et sup) a Béchar, sur la rive droite de l'Oued Béchar (Chavaillon 1964).....	16
<b>Fig 3.1</b>	Abaque de l'Indice d'aridité Annuel de Demartone 1923.....	20
<b>Fig 3.2</b>	Carte des isohyètes de la région du Sud Ouest Algérien (1986 – 2005).....	22
<b>Fig 3.3</b>	Courbe des Températures minimales, maximales et moyenne mensuels inters annuels du bassin de Béchar, station de Béchar (1985-2010).....	23
<b>Fig 3.4</b>	Diagramme pluviothermique de la station de Béchar (1985-2010).....	24
<b>Fig 3.5</b>	Comparaison de l'ETP avec P (mensuelles interannuelles) de la station de Béchar (1985-2010).....	25
<b>Fig 3.6</b>	Vitesse moyennes des vents a la station de Béchar (1985-2010).....	27
<b>Fig 3.7</b>	Répartition des fréquences selon les directions.....	27
<b>Fig 3.8</b>	Le bassin versant et le réseau hydrographique de d'Oued Béchar.....	28
<b>Fig 3.9</b>	La courbe hypsométrique du bassin versant de Béchar.....	30
<b>Fig 3.10</b>	Carte des courbes topographiques de la ville de Béchar.....	31
<b>Fig 3.11</b>	Variations interannuelles des modules d'Oued Béchar (1998-2007).....	36
<b>Fig 3.12</b>	Débit mensuel (m <sup>3</sup> /s) de la station de Béchar (1997-2006).....	38
<b>Fig 3.13</b>	Pluie-Débit (moyenne interannuelle) de la station de Béchar (1988-2007)...	39
<b>Fig 4.1</b>	Description stratigraphique de la région de Béchar (Deleau, 1951).....	44
<b>Fig 4.2</b>	Fonctionnement hydrogéologique du système aquifère de la ville de Béchar (Deleau P., 1951).....	47
<b>Fig 4.3</b>	Stratigraphie et distribution des aquifères dans la région de Béchar (Inédit Mekkaoui, 2010).....	49
<b>Fig 4.4</b>	Coupe entre les forages S12-S10-S09, et Hassi équilibre-S12.....	50
<b>Fig 4.5</b>	Intercommunication dans le système aquifère de la ville de Béchar (Kabour, 2010).....	51
<b>Fig 4.6</b>	Carte de l'inventaire des points de mesure de la piézométrie (puits et rejets) au niveau de la ville de Béchar.....	51
<b>Fig 4.7</b>	Localisation des anciens forages au niveau de la ville de Béchar (Kabour, 2010).....	51
<b>Fig 4.8</b>	Evolution du niveau piézométrique des eaux souterraines de la ville de	

	Béchar (2008 - 2009).....	52
<b>Fig 4.9</b>	Carte piézométrique de la ville de Béchar en 2008 et 2009.....	53
<b>Fig 5.1</b>	Répartition de la population de la ville de Béchar par quartier.....	55
<b>Fig 5.2</b>	Évolution du pourcentage du volume servie des deux ressources de la ville de Béchar.....	56
<b>Fig 5.3</b>	Évolution des disponibilités, besoins et déficit.....	57
<b>Fig 5.4</b>	Ressources et gestion des eaux de la ville de Béchar (Kabour, 2007)....	58
<b>Fig 5.5</b>	Evolution de l'évaporation dans le barrage Djorf Torba. (Remini, 2005).....	59

## Partie 2 :

<b>Fig 1.1</b>	Carte de l'inventaire des points d'échantillonnage (puits et rejets) au niveau de la ville de Béchar .....	66
<b>Fig 1.2</b>	Carte de la répartition spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines de la ville de Béchar (2010).....	66
<b>Fig 1.3</b>	Variation de la conductivité électrique (CE).....	66
<b>Fig 1.4</b>	Variation du Potentiel d'Hydrogène (pH).....	67
<b>Fig 1.5</b>	Variation du Potentiel d'oxydoréduction (Eh).....	68
<b>Fig 1.6</b>	Variation de l'Oxygène dissous (O2).....	68
<b>Fig 1.7</b>	Variation du $Ca^{2+}$ .....	69
<b>Fig 1.8</b>	Variation de $Mg^{2+}$ .....	69
<b>Fig 1.9</b>	Variation de $Na^+$ .....	70
<b>Fig 1.10</b>	Variation de $K^+$ .....	70
<b>Fig 1.11</b>	Variation du $Cl^-$ .....	71
<b>Fig 1.12</b>	Variation du $SO_4^{2-}$ .....	72
<b>Fig 1.13</b>	Variation du $HCO_3^{2-}$ .....	72
<b>Fig 1.14</b>	Variation des $NO_3^-$ et des $NO_2^-$ .....	73
<b>Fig 1.15</b>	Germes dans les eaux souterraines de la ville de Béchar (2010).....	76
<b>Fig 1.16</b>	Les Coliformes et les Coliformes Fécaux dans les eaux souterraines de la ville de Béchar (2010).....	77
<b>Fig 1.17</b>	Les Streptocoques dans les eaux souterraines de la ville de Béchar (2010)...	77
<b>Fig 1.18</b>	Les Streptocoques dans les eaux souterraines de la ville de Béchar (2010)...	78
<b>Fig 2.1</b>	Carte d'inventaire des rejets dans la ville de Béchar (2010).....	80
<b>Fig 2.2</b>	Graphe de répartition de la population en fonction des différents quartiers dans la ville de Béchar.....	81
<b>Fig 2.3</b>	Graphe de répartition des débits de rejets des eaux usées en fonction des différents quartiers de la ville de Béchar.....	81
<b>Fig 2.2</b>	Variation des différents paramètres physicochimique des rejets urbains de la ville de Béchar .....	87
<b>Fig 3.1</b>	Pourcentage des puits non potable par rapport aux normes Algériennes (ADE) et OMS.....	90
<b>Fig 3.2</b>	Diagramme de Wilcox des eaux souterraines de la ville de Béchar (2008, 2010).....	91
<b>Fig 3.3</b>	Faciés chimique des eaux souterraines de la ville de Béchar (2008, 2010)...	92
<b>Fig 3.4</b>	Diagramme de piper des eaux souterraines de la ville de Béchar (2008).....	93
<b>Fig 3.5</b>	Diagramme de piper des eaux souterraines de la ville de Béchar (2010).....	93

<b>Fig 3.6</b>	Utilisation du rapport $(Na^+ / Ca^{2+}) - (Cl^- / HCO_3^-)$ pour déterminer la répartition des faciès chimiques.....	94
<b>Fig 3.7</b>	Utilisation du rapport $(Ca^{2+} / HCO_3^- + SO_4) - (Na^+ / Cl^-)$ pour déterminer la répartition des faciès chimiques .....	94
<b>Fig 3.8</b>	Dendrogramme des eaux souterraines de la ville de Béchar (2008) .....	95
<b>Fig 3.9</b>	Dendrogramme des eaux souterraines de la ville de Béchar (2010).....	96
<b>Fig 3.10</b>	Plan factorial F1 / F2 (2008).....	97
<b>Fig 3.11</b>	Plan factorial F1 / F2 (2010).....	97
<b>Fig 3.12</b>	Mécanisme d'acquisition du chimisme des eaux souterraines de la ville de Béchar.....	98
<b>Fig 3.13</b>	Origine des différents éléments chimiques dans les eaux souterraines de la ville de Béchar (2008, 2010)(Gibbs plot 1970).....	100
<b>Fig 3.14</b>	Evaluation du rapport Mg/Ca.....	101
<b>Fig 3.15</b>	Evaluation du rapport $SO_4/Cl$ .....	101
<b>Fig 3.16</b>	Origine du Na et du Cl.....	102
<b>Fig 3.17</b>	Origine du Ca et $HCO_3$ .....	103
<b>Fig 3.18</b>	Échange de base.....	104
<b>Fig 3.19</b>	Origine du Mg .....	104
<b>Fig 3.20</b>	Origine du $NO_3$ .....	105
<b>Fig 4.1</b>	Situation de la ville de Béchar (SW Algérien), et inventaire des puits et des points de rejet.....	108
<b>Fig 4.2</b>	Carte de la CA du $NO_3$ (%).....	110
<b>Fig 4.3</b>	Carte de la CA du $NO_2$ (%).....	111
<b>Fig 4.4</b>	Carte de la CA du $NH_4$ (%).....	111
<b>Fig 4.5</b>	Carte de la CA du $O_2$ (%).....	111
<b>Fig 4.6</b>	Carte de la CA du Eh (%).....	111
<b>Fig 5.1</b>	Evolution de la Dysenterie et de la Fièvre Typhoidale dans la wilaya de Béchar ( <a href="http://www.sante-dz/insp/">www.sante-dz/insp/</a> ).....	127
<b>Fig 5.2</b>	Indice de risque en fonction des différents déterminants.....	128
<b>Fig 5.3</b>	Indice de risque total (somme de tous les déterminants, Pour les paramètres Pb et Zn).....	128

## Liste des Tableaux

<b>Partie 1 :</b>	
<b>Tab 2.1</b>	Division du Quaternaire de la région de Béchar selon Chavaillon J.(1964).. 16
<b>Tab 3.1</b>	Caractéristiques de la station climatique de Béchar..... 19
<b>Tab 3.2</b>	Calcul de l'Indice d'aridité mensuelle ..... 21
<b>Tab 3.3</b>	Variations mensuelles des précipitations au niveau de la station de Béchar (1985-2010) ..... 21
<b>Tab 3.4</b>	Coefficient pluviométrique a la station de Béchar. (1985 – 2010)..... 23
<b>Tab 3.5</b>	Températures minimales, maximales et moyennes mensuelles inter annuelle de la station de Béchar (1985-2010) ..... 23
<b>Tab 3.6</b>	Tableau de l'évapotranspiration mensuelle interannuelle de Béchar (1985-2010)..... 25
<b>Tab 3.7</b>	Bilan hydrologique a la station de Béchar (1985 - 2010)..... 26
<b>Tab 3.8</b>	Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Béchar..... 30
<b>Tab 3.9</b>	Altitudes caractéristiques (en m) élémentaires du bassin de l'Oued Béchar.. 32
<b>Tab 3.10</b>	Classification du relief selon Ig (O.R.S.T.O.M)..... 33
<b>Tab 3.11</b>	Classement O.R.S.T.O.M du relief à partir de la dénivelée spécifique..... 33
<b>Tab 3.12</b>	Débits moyens annuels d'Oued Béchar..... 36
<b>Tab 3.13</b>	Valeurs caractéristiques des modules au niveau du bassin versant de Béchar..... 36
<b>Tab 3.14</b>	Débits moyens et précipitation moyenne interannuelles de la station de Béchar..... 39
<b>Tab 5.1</b>	Evolution des besoins en fonction des disponibilités et du déficit..... 57
<b>Partie 2 :</b>	
<b>Tab 1.1</b>	Appareillage utilisées..... 64
<b>Tab 1.2</b>	Statistiques descriptives du chimisme (2007/2008/2009/2010 des eaux souterraines..... 64
<b>Tab 1.3</b>	Autres éléments (mineurs et métalliques en traces (2008) en mg/l..... 74
<b>Tab 2.1</b>	Répartition des débits de rejet des eaux usées en fonction des différents quartiers de la ville de Béchar en 2007..... 81
<b>Tab 2.2</b>	Statistiques descriptives des analyses (mg/l) des rejets des eaux usées de la ville de Béchar (2008, 2009, 2010)..... 83
<b>Tab 3.1</b>	Résultats obtenus après interprétation des diagrammes de Wilcox..... 90
<b>Tab 3.2</b>	Origine du chimisme des eaux souterraines de la ville de Béchar d'après le Diagramme de Gibbs (1970) ..... 99
<b>Tab 4.1</b>	Statistiques Descriptives Des concentrations des éléments dans les eaux souterraines de la ville de Béchar (Avril 2008)..... 110
<b>Tab 4.2</b>	Statistiques Descriptives de la contribution anthropique..... 110
<b>Tab 5.1</b>	Les valeurs de l'indice de risque et leurs interprétations (CFPTHMT, 2005) 127
<b>Tab 5.2</b>	Sommaire de « Indice de risque » pour les eaux souterraines de la ville de Béchar (2008)..... 128

## INTRODUCTION GENERALE

Ressource précieuse, l'eau est menacée par son exploitation intensive, la pollution croissante de ses réserves et les besoins grandissants d'une population mondiale en plein essor.

Pendant longtemps, les hommes se sont peu préoccupés de leur environnement et ont généralement considéré la ressource en eau comme illimitée, n'hésitant pas à y rejeter largement effluents et déchets de toutes sortes ; environ 2 millions de tonnes de déchets sont déversés chaque jour dans les cours d'eau (ONU/WWAP, 2003).

Avec l'accroissement de la population mondiale, le développement économique de la planète (un enfant né dans un pays développé consomme 30 à 50 fois plus d'eau qu'un enfant né dans un pays sous développé), la consommation d'eau a presque doublé au cours de ces cinquante dernières années. En conséquence, les ressources en eau diminuent à un rythme rapide.

Au défi de l'approvisionnement en eau de bonne qualité et de quantité suffisante à la demande d'une population grandissante, se rajoute la pression du climat aride, de la disponibilité de la ressource (souvent limitée), sa protection, celle de l'environnement et enfin celle de la sante publique.

En général, les eaux usées sont dirigées vers une station d'épuration (STEP) où elles subissent un traitement, qui vise principalement à éliminer la matière polluante. Ces effluents «traités» sont ensuite rejetés dans le milieu naturel, dans un cours d'eau ou un fleuve, qui va lui-même directement ou indirectement alimenter les nappes souterraines exploitées pour l'Alimentation en Eau Potable (AEP). Le problème que pose ce recyclage involontaire des eaux est que, malgré le traitement subi, ces effluents restent les vecteurs d'un grand nombre de micropolluants. Dans notre cas, ce recyclage non contrôlé des eaux usées traitées est beaucoup plus répandu que l'on ne l'imagine, notamment lorsque cette STEP n'existe pas.

Le risque potentiel associé au recyclage naturel des eaux usées est mal pris en compte dans les stratégies de gestion de la ressource. Pourtant, la contamination de l'eau souterraine par les eaux des rejets présente un risque potentiel pour l'environnement et pour la santé humaine. Le risque est d'autant plus important que le recyclage des eaux est rapide.

Les objectifs de cette étude sont :

- Dresser un bilan sur la situation des différentes ressources en eau, dont la ville de Béchar puise son potentiel hydrique, pour subvenir à la demande croissante en AEP (alimentation en eau potable) et AEI (alimentation en irrigation), et analyser le schéma de la gestion de ces ressources ;
- La caractérisation physicochimique des eaux souterraines de la ville de Béchar.
- L'évaluation de la charge polluante de l'Oued Béchar ;

- Mettre en évidence la contamination des eaux souterraines par les eaux des rejets domestiques ;
- Evaluer la contamination de la ressource en eau par les eaux usées ;
- Et enfin, évaluer l'impact de cette contamination sur l'environnement et la santé publique par l'estimation de l'indice des risques.

Afin d'une part, de confirmer les contaminations mises en évidence et d'autre part, d'évaluer la variabilité de l'apport d'eaux usées en fonction des conditions hydrogéologiques, un suivi a été réalisé au mois d'avril des années 2007, 2008, 2009 et 2010, sur des sites présentant des indices de contaminations par les eaux usées, sur l'ensemble du réservoir qui constitue la ressource en eau de la ville de Béchar : eaux souterraines (14 puits en 2007, 19 en 2011), eaux de l'oued (6 points de rejets).

Enfin, ces eaux contiennent des microorganismes, qui participent fortement à la dégradation de cette nappe, causée principalement par l'infiltration d'eaux usées.

### **La présentation de ce travail est organisée en 2 parties :**

**La première partie**, présente le site d'étude : la ville de Béchar, à travers une description du contexte anthropique, de la géologie, l'hydrogéologie, l'hydrologie et la climatologie, ainsi que la gestion des ses ressources hydriques.

**La deuxième partie**, est consacrée aux résultats et à la discussion ; Dans un premier temps, nous nous attachons à décrire la signature chimique par la caractérisation des eaux souterraines, et des effluents de quelques points localisés dans la ville, afin d'en extraire des traceurs potentiels des eaux usées. La variabilité temporelle de la minéralisation est également prise en considération.

Nous présentons ensuite l'impact des eaux usées sur l'environnement par la dégradation de la qualité physico-chimique et bactériologiques des eaux souterraines.

Nous nous focalisons particulièrement sur l'influence de cette qualité de l'eau sur la sante publique, en se basant sur l'indice des risques. Enfin dans le dernier chapitre, la contribution anthropique est également évaluée, et cartographiée.

# **PARTIE I**

## **Généralité sur le site d'étude**

## CHAPITRE I

### Situation Géographique et Socio-économique

---

#### 1.1 Situation Géographique

Dans le Sud Ouest algérien au pied du revers méridional de l'atlas saharien se situe la ville de Béchar, elle est à 950 km de la capitale Alger. La ville s'étale sur une superficie de 160 km<sup>2</sup> environ, bordée au Nord par le massif carbonifère : le djebel Antar (1960m) et djebel Houriet (1461m), à l'Est par Djebel Béchar (1500m), à l'Ouest par la Hamada de Oum Sbaa et Chebket Mennouna et au Sud par le prolongement de Chebket Mennouna, jusqu'à l'Oued Saoura (au niveau de Ksiksou) (Fig 1.1).

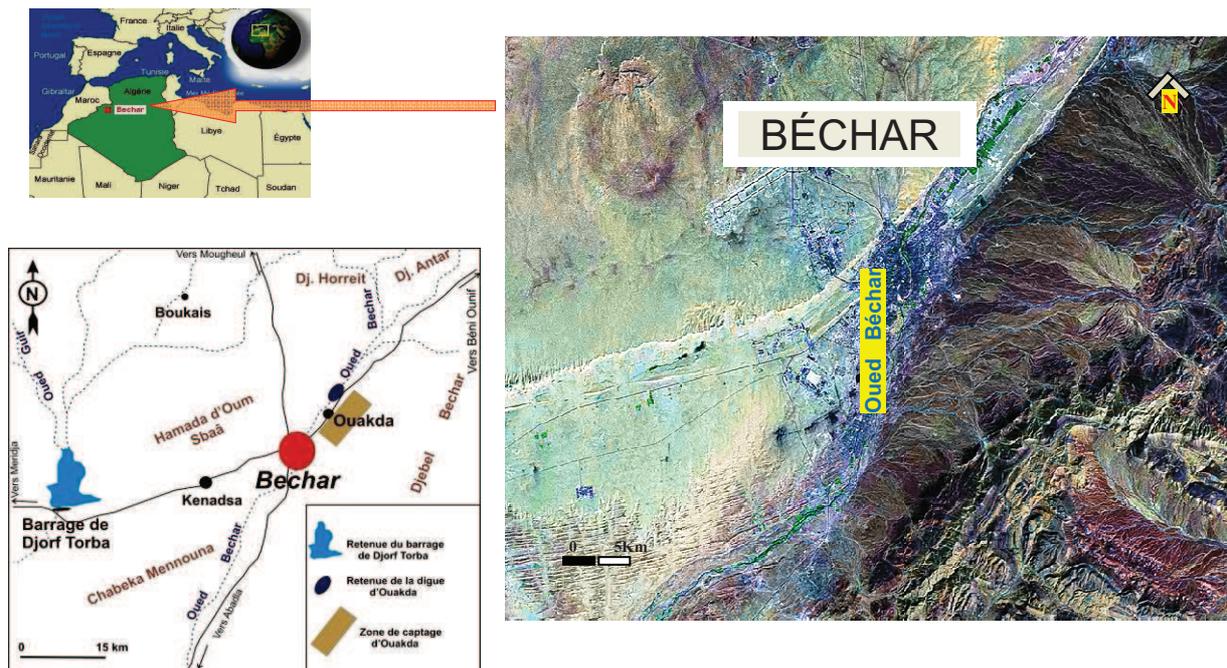


Figure I.1. Situation géographique du site d'étude

#### 1.2 Aspect géomorphologique

Les éléments naturels qui forment le cadre géographique de Béchar sont (Idrotecneco1979) :

**- Les plateaux rocailloux Quaternaires étagés et la plaine primaire :**

Ils sont séparés par des affleurements secondaires et tertiaires : les deux Barga [Annexe 6] qui caractérisent avec leurs crêtes abruptes et parallèles une bande de territoire longue de 130 Km et large de 1 à 2 Km. Cette bande s'étend de Toumiet, au Nord-Est de Béchar jusqu'à Tiderdatine au pied de la hammada du Guir. Les deux Barga suivent, jusqu'à Béchar la même direction que l'Oued.

- La première des deux crêtes, appelée Barga Sidi M'hamed Ben Bouzian.
- La deuxième est dite Barga El-Gaada.

**- L'Oued Béchar:**

Qui draine avec ses nombreux affluents un bassin de 1500 Km<sup>2</sup> alimenté par les eaux d'écoulements du djebel Grouz, soit un parcours de 150 Km du Nord-Est au Sud-Ouest. Après la ville de Béchar, l'Oued prend le nom de Oued Bou-Dibet qui se dirige vers le Sud où ses crues se perdent dans la dépression de Daiet-Tiour sans atteindre la plaine de Abadla.

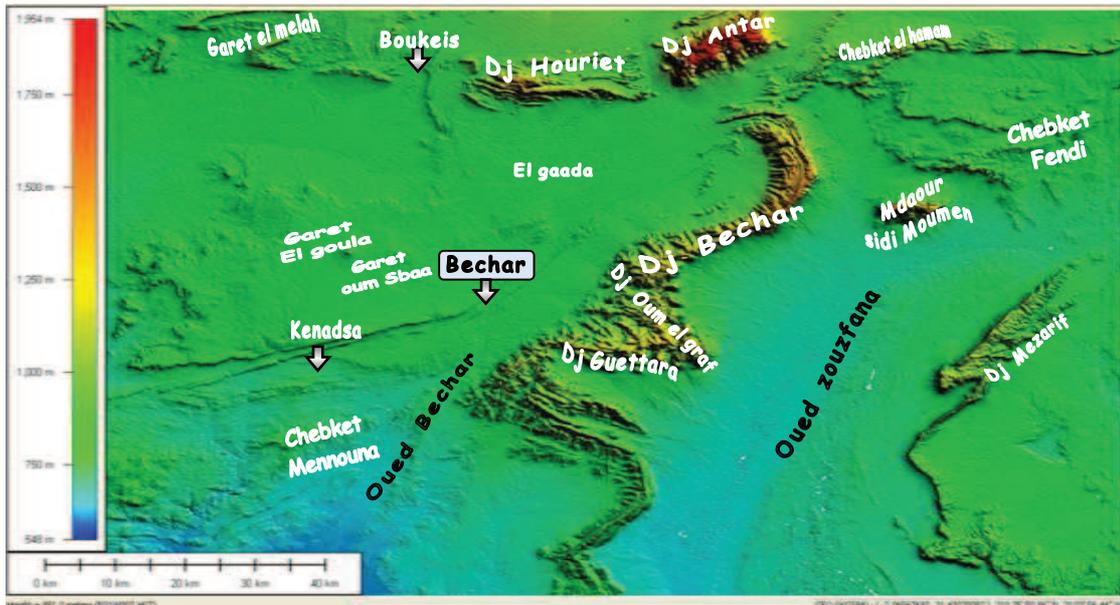


Figure I.2. Caractéristiques géomorphologiques de la région de Béchar

**- Les montagnes:**

L'horizon au Nord est formé par djebel Horriet et Djebel Antar, chaîne de grés primaire qui s'élèvent à une altitude respectivement de 1461 m et 1960 m.

A l'Est, à une distance moyenne de 15 Km, s'étendent les chaînes montagneuses primaires de Djebel Béchar, Oum-Graf et Djebel Gettara.

**- Les reliefs :**

Ils suivent sur 150 Km une courbe sinueuse, ils forment une limite visuelle et une barrière naturelle dont les sommets atteignent les 1500 m. Il n'y a aucun obstacle naturel à l'Ouest, des plates-formes légèrement surélevées, sont les grands plateaux (Hammada) caillouteux

formés par des sédiments quaternaires et par des sables alluvionnaires, dont l'altitude moyenne est de 800 m.

Des reliefs résiduels subsistent sous forme de garat [Annexe 6] dont les plus importantes sont garât Oum Sbaa, et plus à l'Ouest au de la des limites communales les Garates Goula et Ziar.

Au Sud, où affleure le soubassement primaire l'espace s'ouvre en une légère dépression sans aucun obstacle naturel jusqu'à la plaine d'Abadla.

### 1.3 Aperçu socio- économique

La ville de Béchar comptait en 2007 une population de 161 902 ha, dont 2286 ha (DPAT, 2007) sont actifs, principalement dans l'administration et le commerce local. L'industrie est une activité rare, alors que l'agriculture commence à prendre un élan considérable, surtout avec le lancement du programme national de développement de l'agriculture, et la mobilisation des ressources superficielles et des nappes phréatiques.

La région d'Ouakda, localisée à 2 km de la ville, sur la route nationale RN6 (vers Oran) est le principal centre d'intérêt agronomique, du fait de la disponibilité des parcelles agricoles, la proximité de la route, la disponibilité de la ressource hydrique et une topographie très favorable.

Le programme de développement tourne autour du palmier dattier, olivier, et quelques cultures de légumes, pour satisfaire le souk local.

Le tourisme aussi fournit une opportunité économique modeste, néanmoins notable, vue les ksour situés dans et autour de la ville.

### 1.4 Le couvert végétal

Il est caractéristique des régions semi-arides à arides, on rencontre des armoises (chih) et l'alfa (*Stipa tenacissima*) dans les petites plaines et ils disparaissent progressivement vers le Sud et se remplacent par le Remet (Holoxylen). Les arbres et les arbustes sont rares en plaine et ils se localisent en bordure des Oueds, ou dans des dépressions. Il s'agit des pistachiers (Betoum) et des oliviers sauvages. En altitude, on rencontre des arbres de Pins, isolés ou regroupés en bouquets. Vers le Sud, dans la région d'Abadla - Menouarar, la couverture végétale est quasi nulle, limitée aux lits des Oueds, des acacias (Talha), à certains flancs dunaires, où poussent des graminées notamment le « drine » (*Aristida, pyngens*) et, à des cuvettes circulaires dans la Hamada, où l'on rencontre des curieuses salsolacées, connues sous le nom de champignon de Bouamama (*Anabasis aretioïudes*). Cependant, lorsque l'année est pluvieuse, la région se recouvre d'un pâturage abondant et varié, où les nomades s'installent occasionnellement (PGTG, 2005).

### 1.5 Genèse de la ville de Béchar et son développement spatio-temporelle (Benmohamed, 2005)

La région de Béchar et les oasis de la Saoura, du Gourara et du Touat ; étaient situés sur les grandes voies de communications transsahariennes qui structuraient le territoire, telles que les pistes caravanères du sel et de l'or vers l'Afrique, ou bien celle des parcours des confréries

religieuses reliant l'Afrique du Nord à la Mecque, entraînaient des luttes pour le contrôle de ces réseaux de communication.

Cependant, une culture unifiée s'étendait sur toutes les oasis sahariennes, les échanges des biens et des idées favorisaient les émergences des ksours. Par conséquent, la transmission des techniques d'irrigation et des foggaras, les techniques de construction et d'habitat de l'orient et de l'occident, les langues, l'écriture et les coutumes favorisaient une cohérence, dont les signes sont de nos jours visibles et véritables.

Durant la période 1972 à 2005 (Fig. 1.4) la ville de Béchar a connu un développement accéléré dans la partie qui ne présente pas de contrainte morphologique naturelle. Il s'agit de la partie qui est susceptible d'articuler les directions majeures du lieu, matérialisées par l'Oued et les Barga.

Cette croissance accélérée s'est faite sur une aire aussi grande que l'espace qu'occupent le centre ville et Debdaba réunis, ce développement s'est fait en dehors des spécificités morphologiques du lieu. Les fragments de tissu sont conditionnés par la direction Nord –Sud en majorité influençant la structure viaire. Cette règle est respectée quand le bâti est linéaire et ponctuel, par contre, ceci ne se vérifie pas systématiquement quand le bâti est planaire, celui-ci obéit parfois à sa structure viaire.

Seulement la lutte permanente, à la fin du 15<sup>ème</sup> siècle, pour le contrôle des voies transsahariennes, donc des richesses, a donné lieu à un développement, ou le déclin de certains lieux. Le marché de l'or détourné, tour à tour, vers, l'Andalousie ou l'Egypte fatimide. Les déviations des routes commerciales vers l'Ouest et la création par les portugais des voies passant par l'Atlantique, qui rejoignaient directement le golfe de Guinée, isolèrent le Sahara de l'échange international, ce qui provoqua une décadence engendrant une crise économique et la dissipation de ce réseau.

La grande route des ksour qui liait l'Atlantique au moyen orient, riche en habitat et en palmeraies verdoyantes se dégradait. Les intérêts économiques qui liaient les différents groupes sociaux entre eux ayant disparus, des conflits surgissaient entraînant un manque d'entretien des foggaras et de la palmeraie, le dessèchement progressif du milieu ambiant et la dégradation des conditions climatiques et du niveau de vie accentuaient le déclin, cet état de fait favorisa les dominations et les colonisations futures.

## **1.6 Morphologie naturelle de la ville (Benmohamed, 2005)**

Le site de la ville de Béchar se compose d'un ensemble d'éléments naturels de forme et de nature différente. Il s'agit de deux Barga qui ont des crêtes parallèles, entrecoupées par une palmeraie linéaire qui suit les directions de l'Oued qu'elle englobe et la zone de confluence de ces éléments, cette zone de confluence donne naissance à deux plateaux de part et d'autres de la palmeraie, le premier se situe à l'Ouest de la palmeraie, tend vers une forme triangulaire, ayant comme sommet la zone de confluence, comme cotés la palmeraie et la Barga qui forment un angle qui avoisine les 45° et ouvre le champ en profondeur, progressivement vers le Sud, le deuxième plateau, se situe à l'Est de la palmeraie, démarre par la zone de confluence, il est limité au Sud par l'Oued, à l'Ouest par la palmeraie, au Nord par la Barga avec un champ ouvert vers l'Est.

Un plateau rocailleux du Quaternaire en légère déclivité vers le Sud est structuré, d'une part par deux bandes linéaires parallèles longues de plus de 130 km et larges de 1 à 2 km, allant du Nord-Est vers le Sud –Ouest.

Les Barga ont une ligne de crête avec des sommets qui atteignent les 820 m d'altitude et l'Oued d'autre part profitera de la faille des Barga pour changer de direction et suivre la pente vers le Sud – Ouest. Le plateau rocailleux va de la côte 790 m en amont à 755 m en aval, soit une différence de 35 m pour une pente de 1,5 % formant un angle qui avoisine les 15°. L'Oued et les Barga seront déterminants pour le développement futur de la ville de Béchar.

La topologie des éléments naturels définit et configure des lieux qui sont les suivants (Fig.I.3):

1. L'Oued.
2. La palmeraie.
3. La Barga.
4. La zone de confluence.
5. Le premier plateau.
6. Le deuxième plateau.
7. L'espace entre les deux Barga.

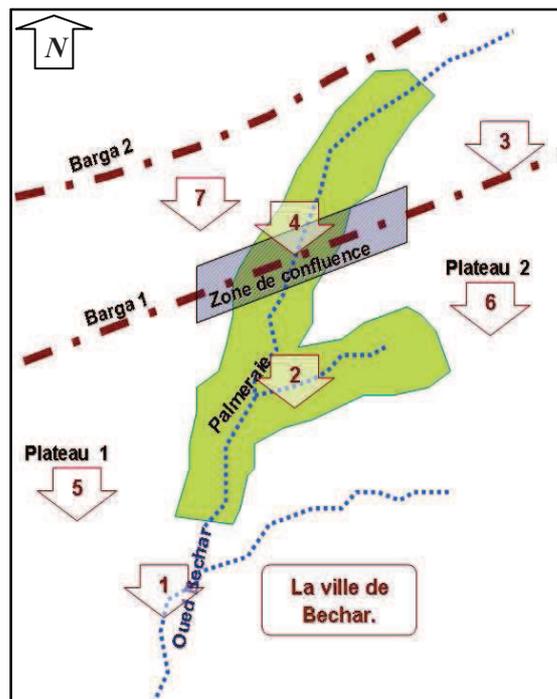
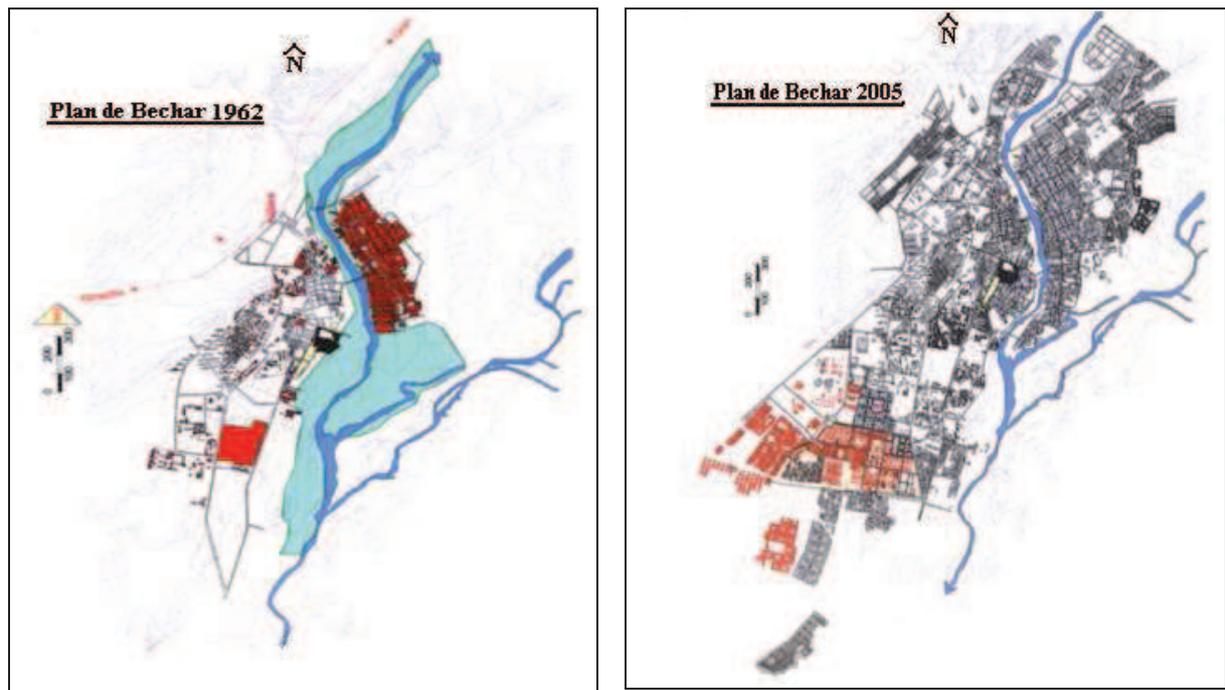


Fig. 1.3 Esquisse de la morphologie naturelle du site :  
la ville de Béchar (SW Algérien).

Ainsi, le centre d'intérêt change de l'activité agricole (à l'échelle locale) à une activité commerciale basé principalement sur la proximité du centre ville (anciennement la notion du marché « le souk »).



**Figure 1.4** Evolution spatiale de la ville de Béchar dans le temps (avant 1962 - 2005). (Benmohamed, 2005)

## CHAPITRE II

### Géologie

---

#### 2.1 Géologie de la région

Nombreux sont les travaux géologiques consacrés à l'étude de la région de Béchar, citons : Menchikkof, 1936, 1952; Deleau, 1951; Perrondon, 1952; schoeller, 1959 ; Meinder, 1955 ; Pareyn, 1961, 1975; Chavaillon, 1964 ; Weyant, 1970; Conrad, 1971, Delfaud, 1972 ; Roche, 1973 ; Guerre, 1974, IDROTECNECO, 1979 ; Mekkaoui, 2000 ...etc, auxquels s'ajoutent des résultats des travaux de recherche et d'exploitation sur les combustibles solides et liquides (pétrole & charbon), menés par des compagnies étrangères et nationales tels que : les Houillères Sud Oranais, le BRMA, la SN Répal, la SONAREM et la SONATRACH.

L'aire de ce secteur est limitée au Nord par la frontière Algéro- Marocaine, au Sud par le plateau du Hamada du Guir, à l'Ouest l'Oued Guir et à l'Est par l'Oued Zousfana. Sommairement, nous distinguons sur la carte géologique (Fig 2.2) une large gamme de terrains, allant du Précambrien à l'Actuel.

La géologie de la région est constituée par des formations non plissées tabellaires , du Miocène, du Pliocène et du Quaternaire reposant sur le substratum plissé et arasé en plaine (IDROTECNECO, 1979) (Fig 2.2).

#### 2.2 La lithostratigraphie

##### 2.2.1 Précambrien et Paléozoïque indifférenciés

Le Précambrien connu au niveau de Boukais, de nature volcanique et volcano-sédimentaire de 2000 m de puissance (Meindre, 1955 in Mekkaoui, 2000) ; le Paléozoïque indifférencié est connu dans le Nord de Béchar.

##### 2.2.2 Carbonifère

Les terrains Carbonifères constituent les principaux reliefs de la région (Dj Antar, Dj Horreit, Dj Béchar et Chabket Mennouna) et ils constituent aussi le soubassement de la ville de Béchar. Les grandes subdivisions stratigraphiques ont été établies sur la base d'une macrofaune très diversifiée (*Brachiopodes, Polypiers, Goniatites, lamellibranches ...*) (Pareyn, 1961 in Mekkaoui, 2000 ; Deleau, 1951).

##### 2.2.2.1 Le Viséen

Est calcaro-dolomitique dans le Djebel Béchar. Au Nord de Béchar, il est représenté par deux faciès, qui s'interpénètrent, ou se superposent : l'un schisteux à *Goniatites*, l'autre récital

(Menchikkof, 1936 in Mekkaoui, 2000). L'endroit le plus spectaculaire est entre la fosse de Ben Zireg, où se sont déposés les dépôts de Flysch, dits le Wild flysch, qui passent latéralement à des constructions récifales dans le massif de Djebel Antar.

### 2.2.2.2 Namurien

Au Djebel Béchar et Chabket Mennouna, le Namurien affleure au Sud et Sud Ouest de Béchar et Kenadsa, c'est à dire à Chabket Mennouna (anticlinal du Guelb El Aouda et Guelb El Guemah). Son pendage est très faible, lui fait couvrir de grandes surfaces. Du point de vue lithologique, le Namurien comprend :

**Namurien inférieur** (150 à 180 m) est calcaire-dolomitique, il s'agit de calcaires oolithiques, de calcaires à crinoïdes, des calcaires à polypiers et des calcaires dolomitiques, avec des intercalations de petites passages marneux (20 cm à 2 m). Les grès ne font dans cet empilement que de timides apparitions.

**Namurien supérieur** (350 à 630m), composé de grés-schisteux, cet ensemble se termine par 20 m de calcaire bleu, qu'on appelle le banc de Djeniène.

### 2.2.2.3 Westphalien

On connaît le Westphalien entre Djebel Horreit et Djebel Asfer, et à Kenadsa. Il est composé de marnes verdâtres et des grès à plantes à *patine* noire, Il comprend du bas vers le haut : Le **Westphalien inférieur** (1200m), et le **Westphalien supérieur** (1400m) (Deleau, 1951).

### 2.2.3 Le Trias-Jurassique

Sont connues dans le Djebel Grouz et Chebket Charef-Fendi. Ils correspondent à une semelle de conglomérats et grés argileux Triasiques. Le Jurassique est représenté par une épaisse formation calcaire-dolomitique de plus de 450 m d'épaisseur (Mekkaoui, 2000).

### 2.2.4 Le Crétacé

Les terrains Crétacés reposent tantôt en discordance angulaire sur le Carbonifère, tantôt, ils font suite au Jurassique, ces terrains sont moins importants que ceux du Jurassique, ils forment des modestes reliefs, couronnés systématiquement par des barres de calcaires turoniens. Les principaux affleurements sont la Cuesta de Bézazil El Kelba (BEK) et celle bien exposée le long de la route Béchar- Barrage de Djorf Torba, qu'on appelle usuellement la première Barga. D'autres affleurements existent à Boukais et à Djebel Asfer, ainsi d'autres lambeaux jalonnent la faille Sud qui passe par l'Antar - Horreit.

Le Crétacé Inférieur (66 m) repose en discordance angulaire sur le Westphalien D, Les dépôts Crétacés et Eocènes sont de même que ceux de la région de Kenadsa, avec une diminution des épaisseurs.

#### **2.2.4.1 L'Albien**

Début par endroit par des grés grossiers, suivi par des marnes rouges à lamelles de gypse et des marnes bariolées.

#### **2.2.4.2 Cénomaniens - Turonien ( 36 m)**

Il commence par un niveau marneux à fossiles condensés, on y trouve en abondance des Huîtres (*Exogyra flabellata* golf, E, *Olisiponensis* SCHARP), des *Ostéreas*, accompagnées de divers autres *Lamellibranches* et des *Gastéropodes* à l'état de moules internes, des Oursins (*Hétérodiadéma libycum* DESOR) et des *Néolobites Vibreyanus* D'ORB, ces derniers confirment l'âge Cénomaniens et également les *Ostréas* (Deleau, 1951), ce niveau fossilifère est surmonté par 2 à 3m de marnes bariolées, puis des barres calcaires fossilifères dolomitiques. La partie inférieure de ces barres renferme des Huîtres, des Rudistes et des accidents siliceux dans la partie supérieure. Ces calcaires ont servi de matière première pour la fabrication de la chaux.

#### **2.2.4.3 Sénonien - Eocène Inf (693 m)**

Avec 51m de marnes rougeâtres et bleuâtres, suivies d'une alternance de marnes rougeâtres et des bancs d'anhydrites, constituent 485m de marnes bariolées à anhydrites, entrecoupées de bancs massifs de sels gemme (NaCl), et enfin de quelques 157m de marnes sableuses à gypse et à anhydrite, scellées de marnes sableuses roses.

### **2.2. 5 Le Tertiaire**

Ces terrains sont tabulaires et discordants et ravinent la série sous-jacente, ils constituent les corniches de la 2ème Barga et le plateau d'Oum Es Sebaa, sur lesquels se tiennent quelques buttes témoins (Gour du singulier Garat), dont celle d'Oum Es Sebaa est la plus célèbre.

#### **2.2.5.1 Eocène Supérieur (75m).**

Il est discordant et ravine la formation sous jacente, il commence par un niveau de grés grossiers et de poudingues, suivis de marnes sableuses et gypsifères (18m). Les calcaires lacustres coiffent l'ensemble et forment les corniches de la seconde Barga (7m)

#### **2.2.5.2 Oligocène (16m).**

Il ravine les calcaires lacustres, composé de marnes roses sableuses et des grés calcaires avec quelques éléments grossiers.

#### **2.2.5.3 Miocène (50m)**

Il est composé de grés grossiers, des marnes sableuses avec des lentilles conglomératiques.

### 2.2.5.4 Pliocène (2 à 5m).

Il correspond à des calcaires lacustres, dits troisième dalle calcaire couvrant la Gara Oum Es Sebaa, les mêmes terrains sont connus dans les Gours environnants au niveau d'Abadla.

### 2.2.6 Le Quaternaire

Les terrains Quaternaires sont assez limités dans l'espace, ce sont principalement les alluvions des Oueds, les évaporites des Sebkhass et les dunes de sables.

Les travaux de [Chavaillon \(1964\)](#) fournissent une description assez détaillée, résumée dans le paragraphe suivant (2.2.6.1).

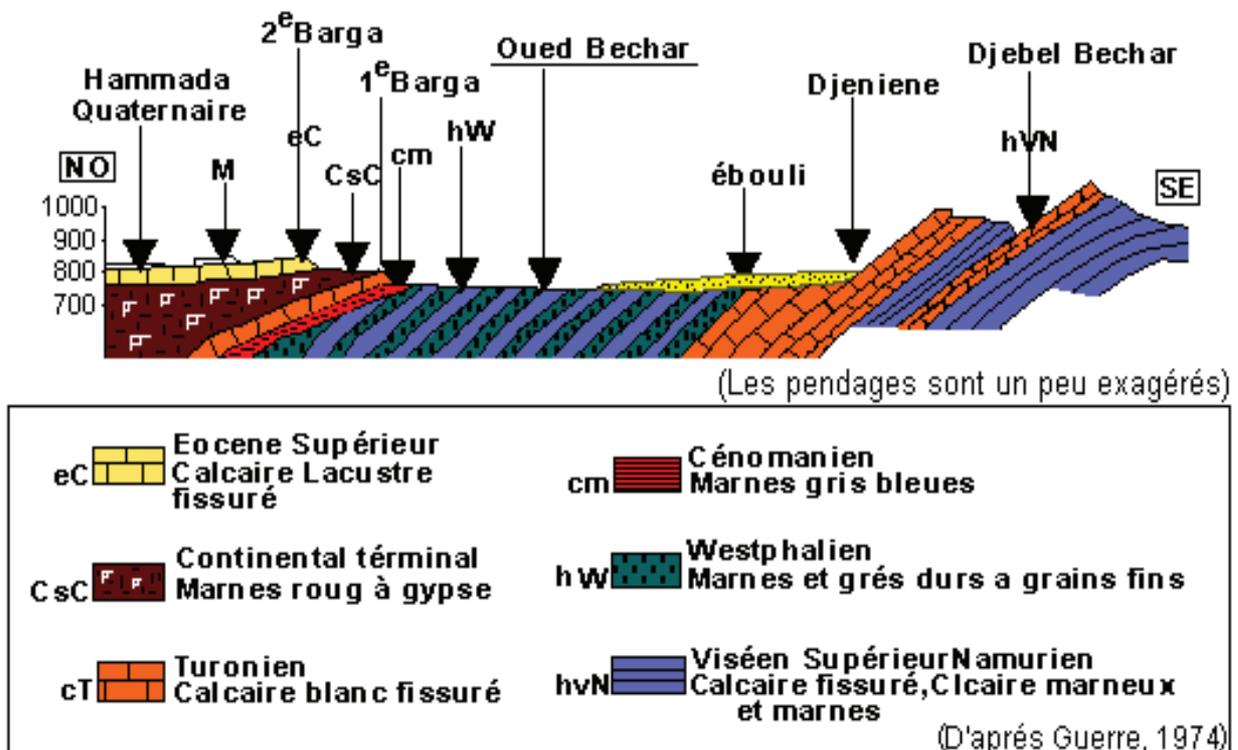
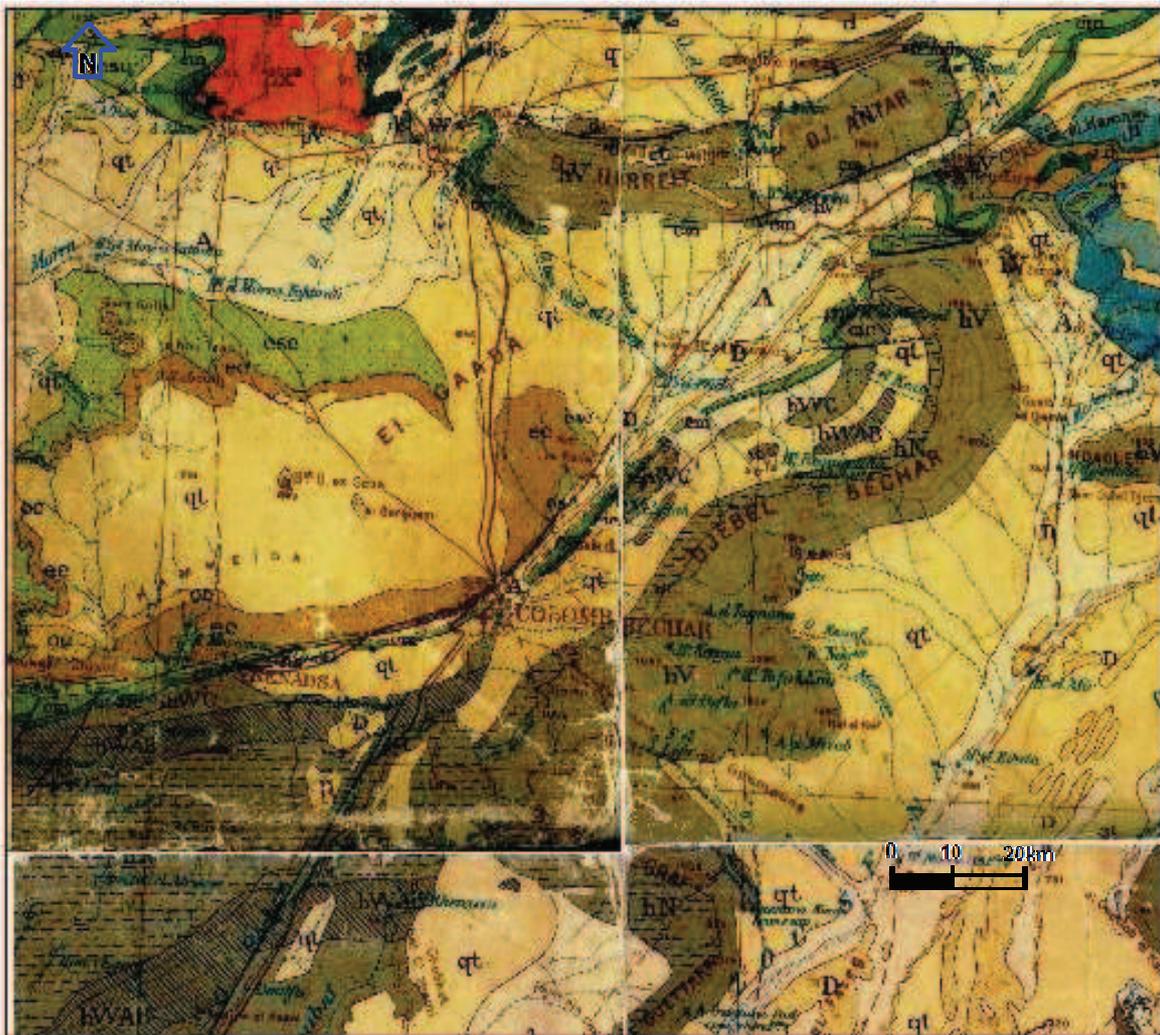


Fig 2. 1 Esquisse d'une Coupe géologique NO-SE de la ville de Béchar ([Guerre, 1974](#))



**Legende :**

 A – Alluvions	 cis – Cretace inf - Albien cont.
 D – Dunes	 hs – Westphalien D. Carbonifere sup.
 qt – Quaternaire recent	 hWC – Stephanien C. Carbonifere moy.
 qc – Quaternaire ancien	 hWAB – Westphalien AB Carbonifere moy.
 oc – Oligocene	 hN – Namurien, Carbonifere moy.
 ec – Eocene Superieur	 hV – Viseen, Carbonifere inf.
 csc – Cretace superieur continental	 d – Devonien
 cm – Cenomanien	

Extrait de la feuille Hamada du Guir - 1 / 500 000.  
 Division des mines et de la cartographie, service geologie, 1950

**Fig 2.2 Extrait de la Carte géologique de la région de Béchar  
 [Feuille Hamada du Guir, 1/500 000]**

### 2.2.6.1 Le Quaternaire de la région de Béchar vue Par Jean Chavaillon (1964)

La région de Béchar, présente d'anciennes alluvions de l'oued Béchar, sédiment fluviatiles, dont la composition pétrographique est nettement influencée par le voisinage de l'Atlas Saharien. La région de Béchar rappelle ainsi la vallée du Guir de Djorf Torba à Zekata Dehab (Kheneg de Menounna), ainsi que celle de la Saoura, aux environ de Kerzaz. L'érosion Ougartienne et Saourienne, ayant été à Béchar, moins généralisée que le Guir ou la Saoura, de nombreux témoins du Taourirtien et de l'Ougartien subsistent, recouverts ou non d'alluvions plus récentes (**Tab 2.1**).

Les formations (alluvions) Taourirtiennes présentent des poudingues où sont isolés deux niveaux conglomératiques : le Taourirtien I et le Taourirtien III, et un niveau de grès mêlé de gravillons : le Taourirtien II.

Du point de vue de la composition pétrographique, dans le Taourirtien I, des calcaires arrachés aux terrains Carbonifères et Jurassique, de rares schistes verts et quelques quartzites. A Béchar, dans la vallée d'Oued Béchar, l'absence de galets de meulière ou de calcaire lacustre, indiquerait un écoulement essentiellement longitudinal, où les apports locaux, du ruissellement et ravinement des terrains avoisinant les rives (hamadas), devrait être pratiquement négligeables. Il en fut tout autrement lors de l'Ougartien.

Les galets n'offrent aucune orientation privilégiée. Les galets éoliens sont nombreux (cailloux éolisés avant la sédimentation, puis repris et roulés par les eaux de l'oued). Les galets plats sont nombreux. Les formes sphériques et elliptiques dominant. Le ciment gris-jaune est formé de petits graviers, de sables, de calcaire et d'argiles.

Des témoins trouvés plus ou moins bien conservés de la terrasse Taourirtienne en différents points du talweg de l'oued Béchar : ils sont signalés de l'amont vers l'aval : près de Ouakda, près de l'ancienne retenue, et au voisinage de l'ancienne église de Béchar ; près de Béchar Djedid et au radier de la piste Béchar-Gao.

A l'Est de l'Oued Béchar, rive gauche, une vaste plaine s'étend jusqu'au Djebel Béchar. De petits affluents de l'Oued Béchar traversent cette plaine et entaillent les formations conglomératiques qui la recouvrent, où sont observés les témoins des terrasses Taourirtiennes et Ougartiennes. A cette époque, l'Oued Béchar, devait offrir une vallée beaucoup plus large qui s'étendait vers l'Est. Partout où elles sont rencontrées, les formations Taourirtiennes étaient fortement cimentées.

Pour l'Ougartien I-III, la morphoscopie des galets (de 37 à 52 %, ce pourcentage est de 85%) indique également la parenté entre cet éboulis et la terrasse Mazzerienne. Les niveaux de l'Ougartien I-III de Ghechoua, contiennent des éléments parmi lesquels les formes en triangle, trapèze, parallélogramme, dominant, alors que ce niveau d'éboulis offre surtout des ellipses, mêlées de galets irréguliers et polygonaux. Certains galets sont fortement émoussés, mais d'autres ayant subi des actions thermoclastiques ont des arêtes vives. Nombreux sont les galets portant sur leurs faces des lambeaux d'une gangue ancienne.

Les apports des formations Taourirtiennes avec les sédiments Ougartiens, superposée ou emboîtée, la terrasse Ougartienne est elle-même très souvent recouverte de sables Saouriens.

La région de Béchar, qu'il s'agisse de la vallée même de l'oued Béchar ou de ses affluents, possède d'assez bons témoins du cycle Ougartien.

Les différents niveaux du cycle sédimentaire Ougartien se présentent sous le facies suivant : deux strates sableuses et trois niveaux de cailloutis (fig 2.3). Toutefois, les éléments sont également versicolores.

Cependant, ces cinq niveaux ne sont pas toujours représentés et leur composition pétrographique diffère parfois de celle des monts de l'Ougarta. Ainsi l'Ougartien II présente une alternance de lits de sable graviers et galets, typiquement fluviaux. L'Ougartien III offre en certains points de très gros blocs mêlés à des galets, et en d'autres lieux, des éléments plus petits et lités ; l'Ougartien V se subdivise en trois niveaux, introduisant une strate sableuse supplémentaire. La puissance de cette terrasse est toujours inférieure à 4m.

Au niveau de Béchar, vers le Nord, des éboulis bréchiques mêlés de quelques galets fluviaux sont recouverts de sable Saouriens bruns. Leur appartenance aux périodes Ougartiennes n'est pas certaine. Ce sont des formations qu'il faut rattacher aux périodes finales de l'Ougartien, peut être de l'Ougartien VI – VII.

L'Oued Béchar possède différentes terrasses quaternaires (moyen : Taourirtien et Ougartien). Les formations du cycle Saourien ne sont pas moins développées. Il est à noter tout d'abord un trait général ; la similitude stratigraphique entre cette région et celle des monts de l'Ougarta et celle de la Saoura. Il semble bien qu'il y a eu, de Béchar à Fom el Kheneg, soit sur près de 350km, une sédimentation étonnamment homogène. Les apports altimétriques de cette terrasse vis-à-vis de l'oued actuel et les 10m d'épaisseur de ces dépôts, rappellent ce qui a été observé dans les monts de l'Ougarta.

Les coupes de la figure 2.3-4 sont parmi les plus typiques de cette période sédimentaire. L'une offre les niveaux inférieurs ; ils proviennent d'un affluent actuel de l'Oued Béchar. Le lit de cet affluent été creusé dans les alluvions Saouriennes de l'oued Béchar. Une autre coupe fut relevée à Béchar, au pied de l'ancienne cathédrale et tout près du lieu dit « la piscine » (fig 2.4), ne montre que les niveaux moyens et supérieurs. Par ailleurs d'autres coupes relevées en aval et en amont de la ville, confirment et rapportent quelques variantes à chaque subdivision du Saourien (fig 2.3) dont voici la stratigraphie :

➤ *SAOURIEN I*. Sable éolo-fluvial, jaune pâle ; calcaire (39%), parfois présence de niveau de gravillons.

➤ SAOURIEN II. Les niveaux de cette période ne dépassent pas 2 m de puissance et présentent différents faciès et ravinent fréquemment les formations précédentes, autrement dit le Saourien I, ce sont des marnes ou des cailloutis :

Les marnes, parfois sableuses, vertes ou rouges, sont conformes en tous points à ce qui a été observé dans la Saoura. Ces marnes peuvent être stratifiées entre deux niveaux de cailloutis ou bien les recouvrir. Par ailleurs, en aval de Béchar, le Saourien II se caractérise par une succession de lits marneux et sableux très fossilifères (*Helix*, *Melanopsis*, *Melania*).

Les cailloutis (lits de sable et graviers à stratifications entrecroisées) sont très souvent grésifiés, leur puissance varie de 0,40 à 1,50 m ; En aval de Béchar, deux niveaux de 0,30 et 0,70 m sont séparés par des strates marno-sableuses. Les galets sont très émoussés, souvent brisés. Ils semblent provenir de poudingues Taourirtiens dont certains témoins émergent du talweg. Quelques galets sont, en fait, des fragments du conglomérat Taourirtien.

Marnes et cailloutis caractérisent, dans la région de Béchar, cette période du Saourien. Il est toutefois intéressant de noter la réunion des caractères pétrographiques des monts d'Ougarta (cailloutis) et de la Saoura (marne).

➤ SAOURIEN III : sable éolien, brun-jaune clair, peu calcaire (3 à 5 %) ou sables fluvio-éoliens, de couleur brune, assez calcaire (12 à 30 %). Une coupe (Fig 2.4) sur la rive droite de l'oued Béchar a reproduit la position de ces sables qui se sont déposés sur les sédiments lacustres, après une sorte d'arrasement due à l'érosion fluviale.

Chavaillon J. et Alimen H. (1964) ont recollé dans ces sables des grésification calcaires sous forme de rognons et du type « poupées », (fig 2.4). La présence de ces grésification rappelant les « poupées du loess », dans un sédiment éolien, mais de grossièreté beaucoup plus forte, indique toutefois des conditions de sédimentation et d'alimentation qui peuvent présenter quelques rapports bien que lointains peut être, avec la sédimentation loessique européenne.

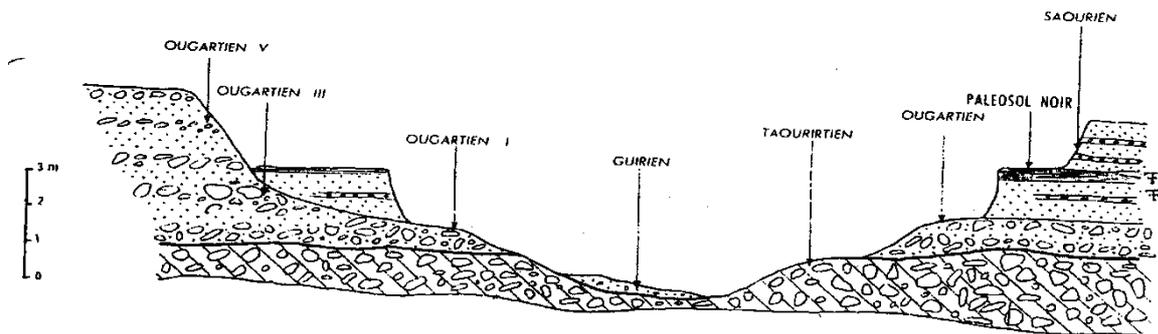
➤ SAOURIEN IV. Marnes brun verdâtre, parfois gypseuses, plus ou moins calcaires, plus ou moins sableuses, plus ou moins durcies. Très souvent, elles sont peu développées (fig 2.4), mais peuvent aussi dépasser 2 m de puissance. Elles sont recouvertes, le plus souvent par les sables du Saourien III, les marnes bruns du Saourien IV sont alors en contact avec les cailloutis supérieur du Saourien II. A ces niveaux, sont rattachés des formations travertineuses rubanées, ce qui est observé à une dizaine de kilomètres en aval de Béchar (fig 2.3).

➤ SAOURIEN V. Sable éolien, non calcaire, brun jaune, sable identique à ceux du Saourien III et parfaitement semblables aux sables du Saourien V de l'oued Quseb (Keneg el Talaia).

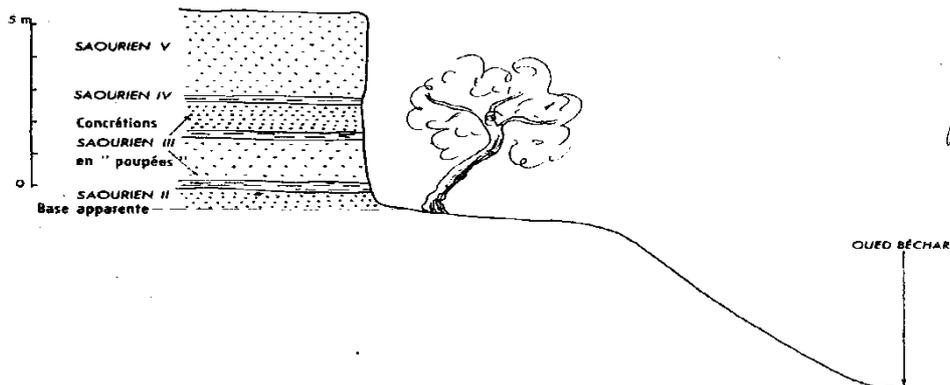
Telle est la stratigraphie de la terrasse Saourienne aux environs de Béchar, il est à signaler qu'il s'agit essentiellement d'alluvions et bien que nombreux soient les sables à caractères éoliens, ils n'en sont pas moins limités à la vallée de l'oued Béchar.

**Tab 2.1 Division du Quaternaire de la région de Béchar selon Chavaillon J., 1964**

Quaternaire récent	Actuel	
	Guirien	Néolithique
	Saourien	Atérien
Quaternaire moyen	Ougartien	Acheuléen
	Taourirtien	Industrie de débitage
		Abbevillien
Quaternaire ancien	Mazzinie (Villafranchien récent)	Pebble culture
	Aidien (Villafranchien ancien)	



**Fig 2.3 Coupe schématique au travers de la vallée de l'Oued Béchar, près de Béchar Djedid, montrant les rapports de position stratigraphique entre les formations Taourirtireennes, Ougartiennes et Saouriennes (Chavaillon, 1964).**



**Fig 2.4 Coupe au travers de la terrasse Saourienne (niveau moyen et sup) à Béchar, sur la rive droite de l'oued Béchar (Chavaillon, 1964).**

### 2.3 Aperçu structural

Du point de vue structural, la région de Béchar appartient au domaine transitoire entre un domaine alpin et un domaine de la plate-forme saharienne. Cette zone de transition est

violemment déformée par l'orogénèse hercynienne et reprise partiellement par l'Alpin. Deux discordances majeures sont aisément reconnaissables sur le terrain : la première est hercynienne, séparant le Primaire du Secondaire, la deuxième est celle entre le Crétacé – Tertiaire. La région est structurée en une succession d'anticlinaux et synclinaux de direction Est – Ouest. Le djebel Béchar est affecté de nombreuses torsions, engendrant des pli-failles et des plans de chevauchement. En ce qui concerne la tectonique cassante, des failles E – W et ENE – WSW affectent essentiellement le Paléozoïque et sont mieux exprimées dans l'anticlinal de Mennouna, certaines se prolonge dans le Crétacé ([Idrotechneco, 1979](#))

Ce remaniement structural a permis la formation de deux séries (dépôts) distinctes, formées chacune d'un ensemble de formations, décrites comme suit :

### **2.3.1 Série (ou dépôt) non plissée et tabulaires du Mio-Pliocène**

Elle comprend sous les calcaires lacustres de la seconde *Barga* un horizon très constant de grés et de poudings rouges et de poudings bruns. (Fig 2.1)

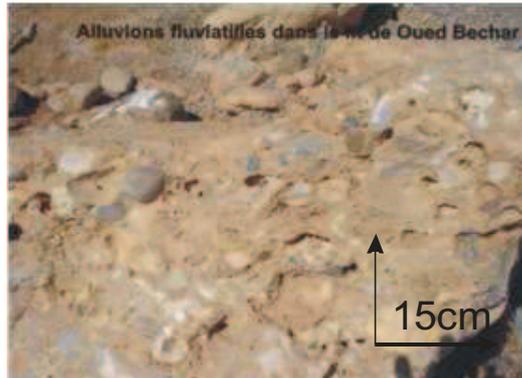
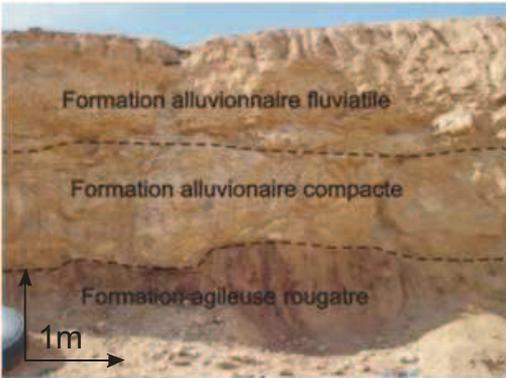
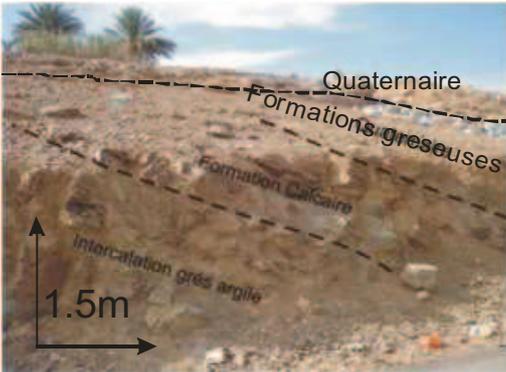
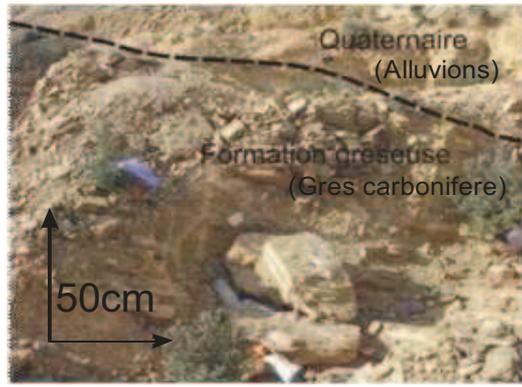
Les calcaires Lacustres de la seconde *Barga* forment la hamma au Nord-Ouest de Béchar dite plateau d'Oum Es Seba, entaillé par L'oued Guir et l'oued Safsaf. Sur ce plateau se tiennent quelques buttes témoins du tertiaire (Gour), celle d'Oum Es Sebaa est la plus célèbre, Qu'on peut voir à partir de l'aéroport de Béchar, elle est formée d'une alternance de grés, de calcaire et de marnes. Les marnes se situent au-dessous de 20 mètres environ, elles sont compactes, bleues et sèches.

Les calcaires Cénomaniens plongent au Nord de 2 degrés et à l'Ouest de 25 degrés, le Cénomaniens repose sur l'alternance de grés et de marne du Houiller (Primaire).

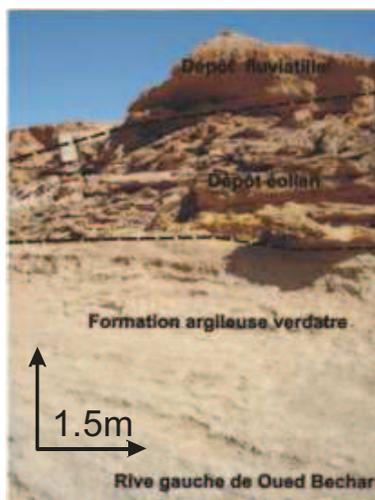
L'érosion a enlevée le Cénomaniens au Sud de Béchar et les affleurements de terrain sont limités de Kenadsa à Béchar et Methired. ([Idrotechneco, 1979](#)).

### **2.3.2 Série plissée**

Elle est discordante sur le Carbonifère (Westphalien D), elle comporte une puissante formation de marnes bariolées à gros bancs de sel gemme, dont ce constat a servi comme idée maîtresse de la recherche des sels Potassique-magnésiens dans la partie centrale du bassin salifère de Béchar ([Idrotechneco, 1979](#)).



**photos hors texte :**  
Les formations géologiques dans le lit de l'oued Béchar.  
(Photos prises par Kabour et Mekkaoui)



## CHAPITRE III

### Climatologie & Hydrologie

---

#### 3.1 Climatologie

##### 3.1.1 Introduction

Les conditions climatiques constituent le facteur essentiel intervenant sur le régime hydrologique, par leur répartition mensuelle et saisonnière.

Ces différents aspects sont plus ou moins modifiés selon l'effet combiné des paramètres physiques climatiques (températures, l'évaporation et l'évapotranspiration). Mais, contrairement aux paramètres proprement physiques permettant une interprétation seulement qualitative du comportement hydrologique des bassins, les facteurs climatiques dans leur ensemble, définis comme des variables aléatoires dans le temps et l'espace, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large (Paré, 2006).

##### 3.1.1.1 Caractéristiques climatiques de la région

Une station pluviométrique est implantée dans la ville de Béchar, appartenant à l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) servira de référence, compte tenu de sa situation dans la zone d'étude et de la fiabilité des données (les mesures étant continues et effectuées par la même agence). Les données se répartissent sur deux échelles : mesures annuelles et mensuelles interannuelles de 1985 à 2010.

##### 3.1.1.2 Présentation de la station climatique

La station climatique de la ville de Bechar est présentée dans le tableau 3.1.

**Tab 3.1 Caractéristiques de la station climatique de Bechar**

Station	Code ANRH	X	Y	Z	Série	Paramètre relevé
Béchar	13-01-13	31°35'53N	02°13'32W	774	1985-2010	T, P, vent, Hr

#### 3.1.2 Indices climatiques (d'aridité)

##### 3.1.2.1 Indice de DE MARTONE

Pour avoir une idée sur le climat dominant la zone d'étude, quelques indices et diagramme ont été introduits.

En 1923, un indice d'aridité noté I à été défini par le géographe DE MARTONE se basant sur les températures et les précipitations selon la relation suivante :

$$I = P / T + 10$$

P : la précipitation moyenne annuelle en mm

T : la température moyenne annuelle en °C

**Classification de l'indice de DE MARTONE :**

$I < 5$  : Climat hyperaride (CH)

$5 < I < 7,5$  : Climat désertique (CD)

$7,5 < I < 10$  : Climat steppique (CS)

$10 < I < 20$  : Climat semi-aride (CSD)

$20 < I < 30$  : Climat tempéré (CT)

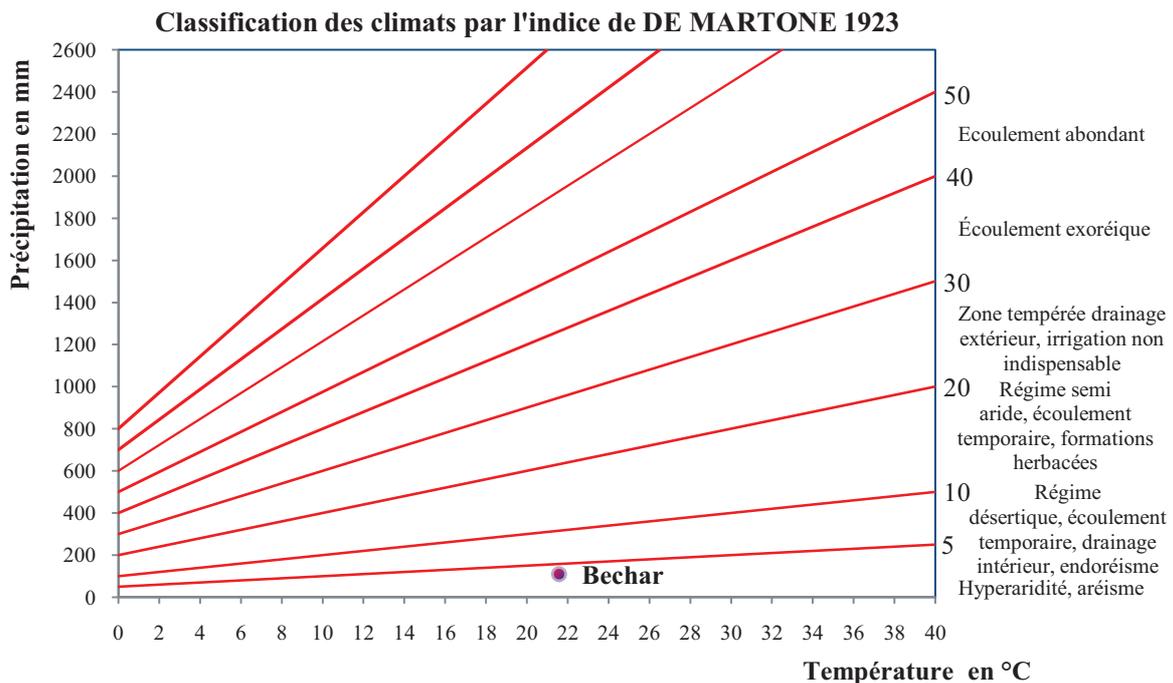
**Pour la station de Bechar, Série : 1985/2010**

P = 110,25mm,

T = 21,57°C

$$I = 110,25 / (21,57 + 10) \Rightarrow I = 3,49$$

L'indice d'aridité est inférieur à 5, cela se traduit en climat Hyper aride (fig. 3.1).



**Fig 3.1** Abaque de l'Indice d'aridité Annuel de Demartone 1923

**3.1.2.2 Indice d'aridité mensuelle**

L'indice mensuel (i), donné par la formule :  $i = (12P) / (T + 10)$

Avec : P : moyenne mensuelle des précipitations en mm

T : moyennes mensuelle des températures en °C

Cette équation définit l'évolution des conditions climatiques au cours de l'année, les résultats de la station de Bechar sont présentés dans le tableau 3.2.

**Tab 3.2 Calcul de l'Indice d'aridité mensuelle**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout
<b>i</b>	2,62	5,72	7,45	4,75	7,76	5,20	5,27	2,20	4,27	1,79	0,45	0,81
<b>Classe</b>	CH	CD	CD	CH	CS	CD	CD	CH	CH	CH	CH	CH

Sur le tableau 3.2 on remarque que les mois de septembre, décembre, avril, mai, juin, juillet et aout présentent un climat hyperaride (CH), les mois d'octobre, novembre, février et mars un climat désertique (CD), alors que le climat steppique (CS) marque le mois de janvier.

### 3.1.3 La pluviométrie

Le trait caractéristique des régions arides est l'insuffisance des précipitations. La ville de Becha reçoit un total moyen annuel de précipitations qui ne dépassent guère les 120mm. Les précipitations ne permettent qu'un apport faible en eau superficielle et une faible utilité pour l'agriculture et présentent peu d'intérêt pour les oueds et l'infiltration (Paré, 2006).

Les variabilités mensuelles inter-annuelles sont consignées dans le tableau 3.3.

**Tab 3.3 Variations mensuelles des précipitations au niveau de la station de Béchar (1985-2010)**

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Annuelle
Moy	8,37	15,21	15,68	8,18	12,58	9,79	11,66	5,59	12,52	6,06	1,68	2,94	110,25
Max	75,68	71,9	111	30,72	99,06	61,21	77,97	38,11	99,02	40,14	9,91	14,99	/
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/
Ecart type	15,70	20,15	25,30	9,67	21,34	15,96	21,37	10,08	21,31	10,70	2,78	4,12	/
<b>Saison</b>	<b>Automne</b>			<b>Hiver</b>			<b>Printemps</b>			<b>Été</b>			/
moyenne	61,15			46,97			52,76			17,6			/

Le tableau, 3.3 montre que la précipitation moyenne varie entre 1,68 mm (Juillet) et 15,68 mm (Novembre). La saison automnale est la plus pluvieuse avec une moyenne de 61,15 mm et le pic des max est observé au mois de janvier (99,06 mm). Ce qui produit une recharge de la nappe et une dilution des éléments chimiques. Par contre, l'été est sec avec une faible recharge de 17,6 mm, ce qui produira une évaporation rapide de cette dernière. L'écart type entre les valeurs des précipitations mensuelles est plus important pendant le mois de novembre (25,30 mm).

#### 3.1.3.1 Répartition spatiale des isohyètes dans la région du Sud Ouest Algérien :

La carte de la répartition spatiale de la pluviométrie moyenne du bassin de Bechar établie pour la période 1986-2005 (fig 3.2) [Annexe 5] représente un échantillon caractéristique au niveau du Sud Ouest algérien. En effet, la pluie diminue à mesure que l'on s'éloigne du littoral à cause de l'appauvrissement progressif de l'atmosphère en vapeur d'eau, lors du passage des courants aériens qui abandonnent leur pluie en franchissant les chaînes montagneuses (Bouanani, 2003) : tel est le

cas de la station d'Ain safra qui reçoit 210 mm, située au Nord, et la station d'Adrar, située au sud, est la moins arrosée et ne reçoit que 18 mm.

On note également une répartition pluviométrique plus ou moins régulière de l'Ouest à l'Est, ceci est très perceptible au niveau des valeurs à la station d'El Golea, se trouvant à la limite Ouest, qui enregistre 51,3 mm. A la même latitude, à la limite Est, les stations de Igli et de Beni Abbes enregistrent respectivement une hauteur de pluie de 54 mm et 38 mm (Annexe 5).

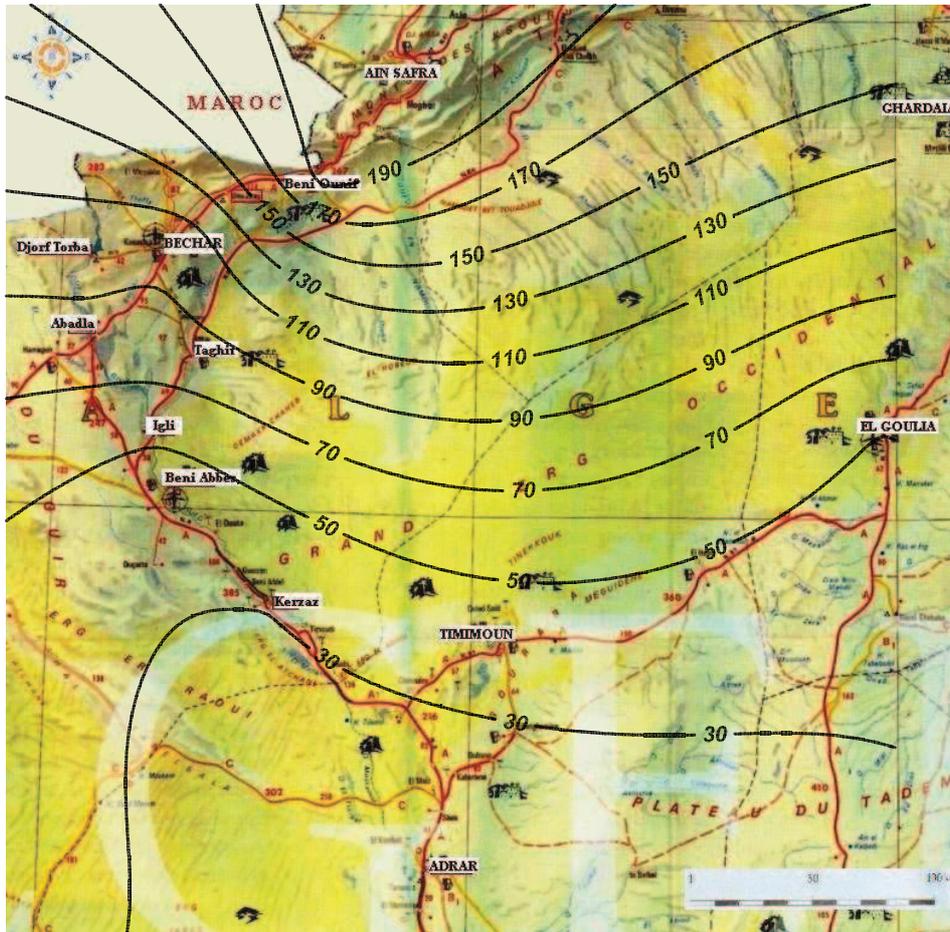


Fig 3.2 Carte des isohyètes de la région du Sud Ouest Algérien (1986 - 2005) [Annexe 5]

### 3.1.3.2 Coefficient pluviométrique relatif : (H)

Ce coefficient permet de déterminer pour une station donnée si l'année est excédentaire ou déficitaire. Il est défini par le rapport de la pluviométrie P d'une année, à la pluviométrie moyenne, P<sub>moy.</sub>, pour une période supérieure à 10 ans. Il est calculé par l'expression :

$$H = P / P_{moy} \text{ (Rouabhia 2006)}$$

Avec P : Hauteur annuelle de pluie de l'année considérée, en (mm).

P<sub>moy</sub> : Pluviométrie moyenne en (mm).

H : Coefficient pluviométrique où coefficient d'hydraulicité.

L'année est excédentaire lorsque H est supérieur à l'unité (H>1) et déficitaire quand H est inférieur à 1 (H<1) comme le montre le tableau 3.4, où 48 % sont > à 1, et 52 % sont < à 1.

**Tab 3.4 Coefficient pluviométrique  
à la station de Bechar. (1985 – 2010)**

Années	H	Années	H	Années	H
<b>1985 /1986</b>	<b>1,67</b>	<b>1994 / 1995</b>	<b>1,38</b>	2002 / 2003	0,52
1986 /1987	0,91	<b>1995 / 1996</b>	<b>2,04</b>	2003 / 2004	0,67
<b>1987 /1988</b>	<b>1,43</b>	1996 / 1997	0,76	2004 / 2005	0,79
1988 /1989	0,81	1997 / 1998	0,38	<b>2005 / 2006</b>	<b>1,07</b>
<b>1989 /1990</b>	<b>1,12</b>	1998 / 1999	0,08	<b>2006 / 2007</b>	<b>1,21</b>
<b>1990 / 1991</b>	<b>1,35</b>	1999 / 2000	0,52	2007 / 2008	0,81
1991 / 1992	0,38	2000 / 2001	0,13	<b>2008 / 2009</b>	<b>1,96</b>
1992 / 1993	0,44	<b>2001 / 2002</b>	<b>1,40</b>	<b>2009 / 2010</b>	<b>1,08</b>
<b>1993 / 1994</b>	<b>2,19</b>				

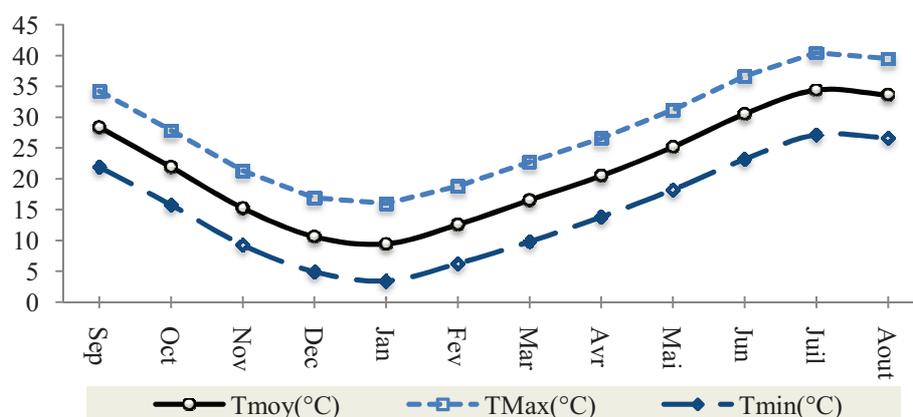
### 3.1.4 La température

Les températures moyennes annuelles et mensuelles réagissent directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, vitesse et turbulence du vent, précipitation) et biogéographiques, le phénomène d'évapotranspiration ainsi que l'écoulement annuel et saisonnier.

On dispose des données de températures moyennes mensuelles et annuelles à la station de Bechar, avec les minima et les maxima (Tab 3.5, fig 3.3).

**Tab 3.5 Températures minimales, maximales et moyennes mensuelles inter annuelles à la station de Bechar (1985-2010).**

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	<i>Moy</i>
T <sub>Max</sub> (°C)	34,2	27,8	21,3	16,9	16,0	18,8	22,8	26,6	31,2	36,7	40,5	39,5	<b>27,7</b>
T <sub>moy</sub> (°C)	28,4	21,9	15,3	10,6	9,5	12,6	16,5	20,5	25,2	30,5	34,4	33,6	<b>21,6</b>
T <sub>min</sub> (°C)	21,9	15,8	9,3	4,9	3,4	6,3	9,8	13,8	18,2	23,2	27,2	26,6	<b>15,0</b>



**Fig 3.3 Courbe des Températures minimales, maximales et moyenne mensuels inter annuelles du bassin de Béchar, station de Bechar (1985-2010).**

Le tableau 3.5 et la figure 3.3 indiquent que la zone d'étude est caractérisée par un climat chaud et sec, caractéristique d'un climat saharien. Les moyennes mensuelles les plus élevées sont observées essentiellement pendant la période d'été (Juin à Septembre) avec des températures variant de 28 à 34°C. Par contre, les températures les plus basses, de 9 à 16°C, sont observées pendant la période d'hiver (décembre à mars) avec un minimum pendant le mois de janvier (9°C). Les autres mois présentent des températures intermédiaires (10 à 25°C).

Les températures maximales présentent un minimum en janvier (14°C), et un maximum en juillet (40°C). Les températures minimales montrent un minimum en janvier (3°C), et un maximum en juin (17°C), alors que les températures moyennes exposent un minimum en janvier (10°C) et un maximum en juillet (30°C).

### 3.1.5 Diagramme pluviothermique :

BAGNOULS et GAUSSEN ont décrit un mois sec comme celui où le total moyen des précipitations est inférieur ou égal au double de la température moyenne ( $P \leq 2T$ ). Pour cela, un diagramme est construit sur lequel on porte les températures à une échelle double de celle des précipitations et on établit mois par mois les deux courbes. La courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations pendant les mois secs.

Le diagramme pluviothermiques de la station de Bechar pour la série 1985-2010 (fig 3.4), confirme une période sèche dominant toute l'année, puisque les deux courbes ne se croisent pas.

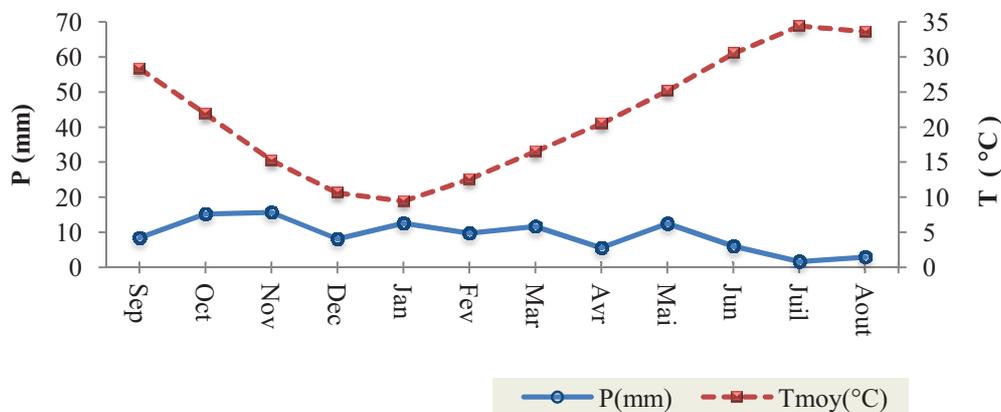


Fig 3.4 Diagramme pluviothermique de la station de Bechar (1985-2010)

### 3.1.6 L'évapotranspiration :

Plusieurs auteurs ont cherché à établir une formule convenable estimant l'ETP avec le moins d'erreurs possible et intégrant une grande partie du nombre des facteurs climatiques qui régissent le phénomène, il faut cependant rechercher la plus adaptée au climat de la zone d'étude (Paré 2006).

En effet, des études au Sahel (Monteith, 1981) et dans d'autres régions arides (Hess, 1998 ; Jensen et Haise, 1963 ; Jones et al., 1981) ont montré que l'équation de **Penman-Monteith-**

FAO était la plus adaptée pour l'estimation de l'ETP dans les environnements arides et semi-arides (Paré 2006) (Annexe 8).

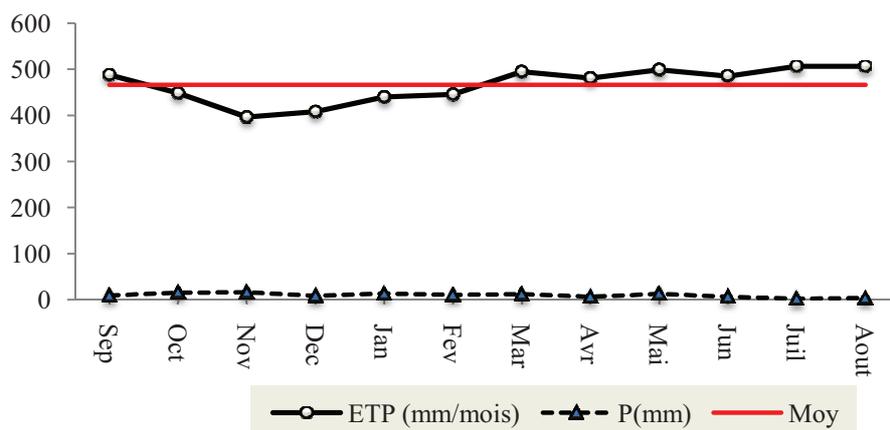
Les valeurs de l'ETP mensuelles interannuelles calculées à la station de Bechar, pour la série 1985-2010 (Tab 3.6) présentent une moyenne de 466,27 mm/mois.

Si pour un mois,  $P \geq ETP$ , on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste ( $P-ETR$ ) va alimenter la RFU (réserve facilement utilisable), et si elle dépasse cette valeur (le maximum de l'RFU) il y aura un excès (SW) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous forme de ruissellement.

Si  $P < ETP$ , le cas de Bechar, (fig 3.5) la valeur de  $ETR = P + RFU$ , jusqu'à égalisation avec ETP. Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole  $Da = ETP - ETR$ , ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

**Tab 3.6 Tableau de l'évapotranspiration mensuelle interannuelle de Bechar (1985-2010)**

mois	ETP (mm/mois)	mois	ETP (mm/mois)
Sep	487,57	Avr	480,43
Oct	447,82	Mai	498,72
Nov	395,98	Jun	485,18
Dec	407,93	Juil	506,36
Jan	439,43	Aout	506,28
Fev	444,98		
Mar	494,55	Moy	466,27



**Fig 3.5 Comparaison de l'ETP avec P (mensuelles interannuelles) de la station de Bechar (1985-2010)**

Sur le graphique de la variation de l'ETP mensuelle interannuelle de la station de Bechar (1985-2010) (Fig 3.5) on distingue deux périodes bien différenciées : la première

période s'étale de Mai à Septembre où la hauteur d'eau évaporée dépasse la valeur moyenne (466,27 mm), alors que pour la deuxième période (Oct - Fev) l'ETP est inférieure à la valeur moyenne. Cette variation est due au cycle saisonnier de la température qu'on a déjà mentionné.

On remarque aussi que les valeurs de l'ETP sont nettement supérieures aux valeurs des précipitations.

### 3.1.7 Bilan hydrologique

Le bilan hydrologique est estimé par une formule très simple qui permet d'évaluer ses différents paramètres (Rouabhia, 2006) :

$$P = ETR + R + I \pm SW$$

**Avec:**

P : Précipitation moyenne annuelle en mm ;

ETR : Evapotranspiration réelle en mm ;

I : Infiltration en mm ;

SW : Variation des réserves en mm (cette grandeur est supposée négligeable).

**\*Calcul du ruissellement :**

La lame d'eau ruisselée est calculée par la formule empirique de TIXERONT-BERKALOFF, ce qui permet le calcul de la lame d'eau infiltrée, Elle est exprimée de la manière suivante :

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

$$R = P^3 / 3 \text{ ETP} \quad \text{Si } P < 600 \text{ mm}$$

Avec : R, P et ETP (en m).

**\*Calcul de l'infiltration**

$$E_x = P - ETR$$

$$E_x = R + I \text{ d'où l'infiltration } I = E_x - R$$

Le tableau 3.7 résume les résultats :

**Tab 3.7 Bilan hydrologique a la station de Bechar (1985 - 2010)**

Station	P(m)	ETP(m)	Ex(m)	R(m)	I(m)
Bechar	1,10	4,66	-3,36	1,98	-5,34

Le ruissellement obtenu est de l'ordre de 1,98 m soit 0,85% des précipitations annuelles pour la station de Bechar. Les valeurs négatives de l'excédent et de l'infiltration traduisent un déficit dans le bilan hydrologique, ce qui induit le besoin de recharge des ressources.

L'alimentation est assurée par l'infiltration des eaux de pluies et les eaux des crues provenant du bassin versant de Bechar (impluvium). Cependant, ces eaux de crue contribuent de façon considérable à cette recharge, combinées à une infiltration plus ou moins rapide, dans les zones à perméabilité favorable. (Schoeller, 1959 ; Deleau, 1951 ; Guerre, 1979). Les derniers grands épisodes notables ont eu lieu en 2008 et 2009, suite à des pluies diluviennes.

### 3.1.8 Le vent

La ville est soumise à un vent relativement régulier, avec une vitesse moyenne de 15,90 km/h, pour la période de 1985/2010. Sur la figure 3.6 on distingue deux périodes, la première de Mars à Aout avec des vitesses dépassant 15 km/h, et la deuxième s'étale de septembre à février avec des vitesses inférieures à la moyenne (15 km/h).

Les fréquences des vents dominants de direction Nord et Sud-Ouest sont de l'ordre, respectivement de 10,15 % et 10,61 % (Fig 3.7).

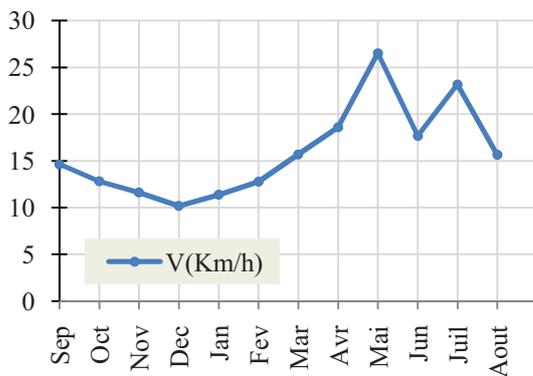


Fig 3.6 Vitesse moyennes des vents a la station de Bechar (1985-2010)

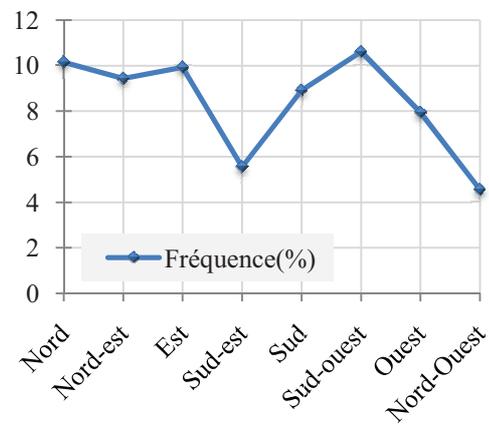


Fig 3.7 Répartition des fréquences selon les directions

### 3.1.9 Conclusion

L'aperçu climatique, nous a permis de déterminer les principales caractéristiques climatologiques de la zone d'étude. Un climat de type Hyper aride a été mis en évidence. Au niveau de la station de Bechar, pour la série 1985/2010, les valeurs moyennes des précipitations et de température sont respectivement de l'ordre de 110,25 mm et 21,57 °C.

Dans les conditions climatiques de la zone d'étude, l'évapotranspiration (ETP) constitue un facteur important de perte évalué à 466,27 mm, en fonction de l'équation de Penman-Monteith-FAO.

Un apport pluviométrique rare et un bilan annuel déficitaire (pour les composantes : excédent et infiltration).

### 3.2 Hydrologie d'Oued Bechar

L'Oued Béchar draine un vaste bassin de 3575 km<sup>2</sup> environ (fig 3.8). Il prend sa naissance au djebel Grouz, à une altitude de 1590 m. Il est situé au pied du versant Sud de l'Atlas Saharien, limité au Nord par la chaîne montagneuse djebel Grouz, au Sud Ouest par les montagnes d'Ougarta, et Sud Est par le grand Erg occidental, à l'Ouest par la Hamada de Guir et à l'Est par la Hamada de Oued Namous.

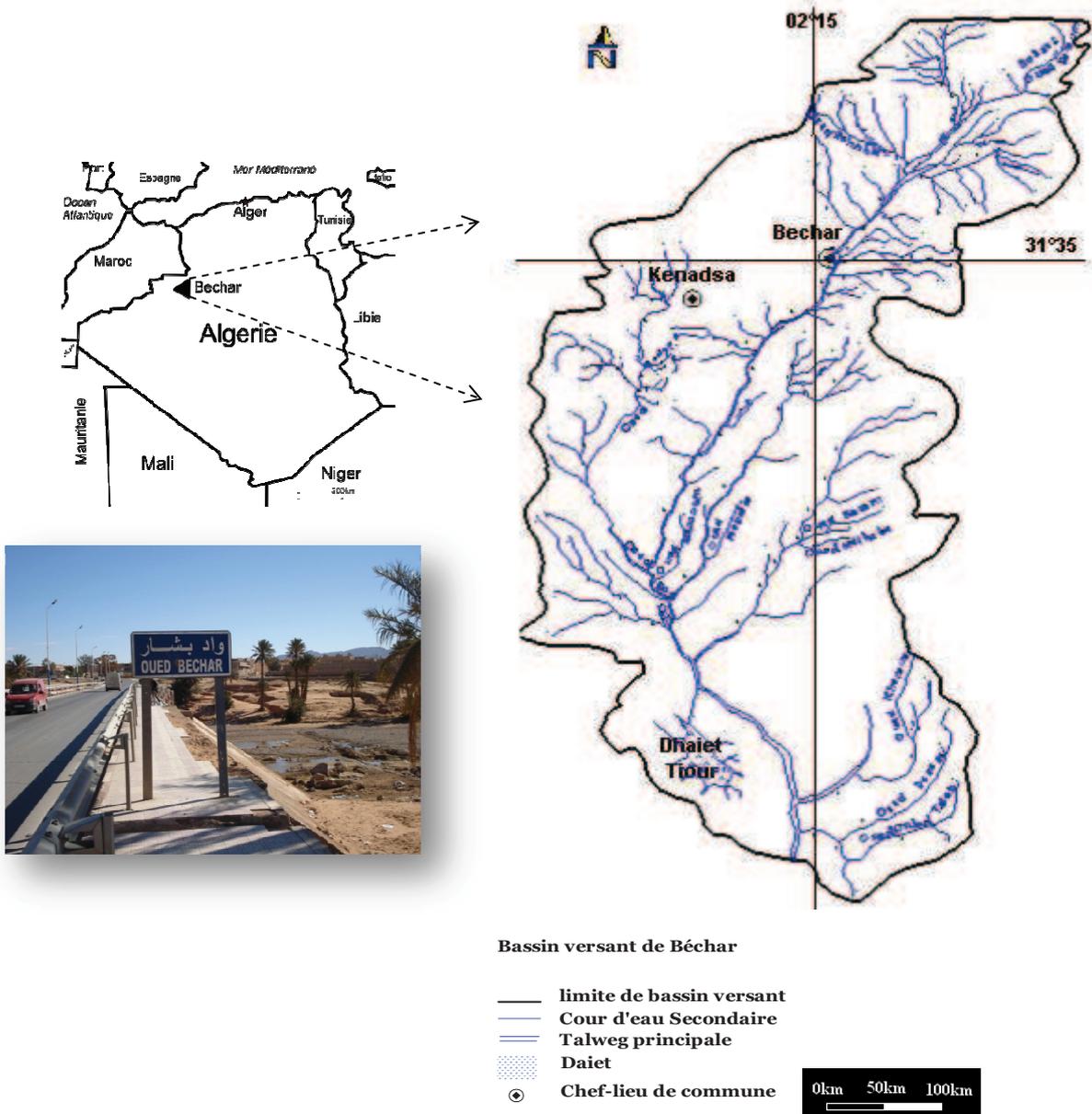


Fig 3.8 Le bassin versant et le réseau hydrographique de d'Oued Béchar.

### 3.2.1 Paramètres géométriques du bassin versant

Les paramètres morphologiques et climatiques d'un bassin versant influent directement sur les caractéristiques hydrologiques, principalement sur le régime d'écoulement (Paré, 2006).

#### 3.2.1.1 Superficie du bassin versant

Le chevelu hydrographique ainsi que le traçage des limites du bassin versant de Bechar (fig 3.8) ont été réalisés sur une carte topographique à l'échelle 1/250.000 (North Africa, Colomb-Bechar, Edition 2-AMS, NH30-3, 1956), et par planimétrie on a déterminé la superficie du bassin, qui est de 3575 km<sup>2</sup>.

#### 3.2.1.2 Périmètre du bassin versant

Le curvimétrie du bassin de Bechar donne un périmètre de 350 km environ.

#### 3.2.1.3 Indice de compacité de Gravéllius

On l'appelle aussi indice de forme du bassin, la forme d'un bassin versant agit sur l'écoulement global. Ainsi un bassin très allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin de forme ramassé, si les autres conditions sont par ailleurs égales. Cet indice est défini comme le rapport entre le périmètre stylisé du bassin versant au périmètre d'un cercle ayant la même surface ; Plus cet indice se rapproche de l'unité plus le bassin aura une forme ramassé et plus le temps de concentration des eaux sera court, nous avons :

$$Kc = P / E$$

où :

P: périmètre du bassin versant.

E: périmètre du cercle équivalent.

$$E = \pi D \text{ ou } D = \sqrt{4S/\pi}$$

$$E = \pi \sqrt{4S/\pi} = 2\sqrt{S\pi}$$

$$Kc = P / \sqrt{S\pi} = 0.28 P/\sqrt{S}$$

$$Kc = 1.64$$

Le bassin versant de l'oued Bechar présente une forme très allongé, favorisant l'augmentation du temps de concentration des eaux de ruissellement, l'influence du relief est encore plus déterminante.

### 3.2.2 Etude de relief

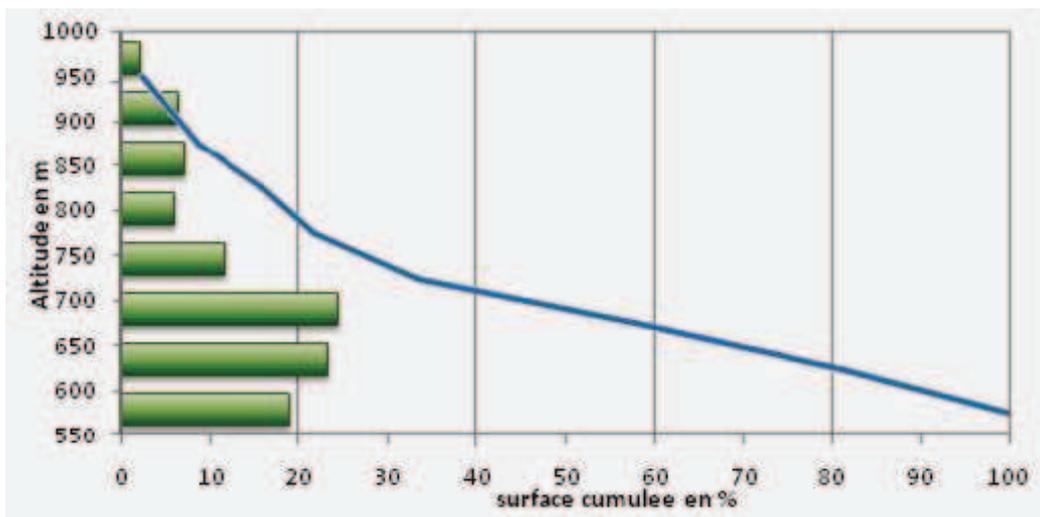
Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement, ainsi que le comportement hydrologique du bassin.

### 3.2.2.1 Courbe hypsométrique

Le relief est caractérisé par sa courbe hypsométrique (fig.3.9), celle-ci nous renseigne sur la répartition de la surface en fonction d'une tranche d'altitude définie (tab 3.8), on portant en ordonnée les tranches données et en abscisse la surface de bassin pour laquelle chaque point est une cote au moins égale à cette altitude, les surfaces en abscisse sont exprimées en pourcentage de la surface totale du bassin la répartition altimétrique du bassin versant de l'oued Béchar est représentée sur le tableau 3.8. La méthode permet d'obtenir la courbe de la figure 3.9. On planimètre entre les courbes de niveau, à partir de cette courbe il est possible de définir la dénivelée D par:  $D = h_{5\%} - h_{95\%}$

**Tab 3.8 Répartition hypsométrique du bassin versant de l'oued Béchar.**

Altitudes (m)	Si(km <sup>2</sup> )	Si cumulées (km <sup>2</sup> )	Si en %	%Si cumulées
950	75,79	75,79	2,12	2,12
875	231,66	307,45	6,48	8,6
825	257,4	564,85	7,2	15,8
775	212,71	777,56	5,95	21,75
725	416,48	1194,05	11,65	33,4
675	875,87	2069,92	24,5	57,9
625	829,4	2899,32	23,2	81,1
575	675,67	3575	18,9	100



**Fig 3.9 La courbe hypsométrique du bassin versant de Béchar.**

### 3.2.2.2 Les altitudes caractéristiques:

#### 3.2.2.2.1 Les altitudes maximales et minimales:

Elles sont obtenues à partir de cartes topographiques (fig 3.10). L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

Ces deux données deviennent importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température et la précipitation. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente.

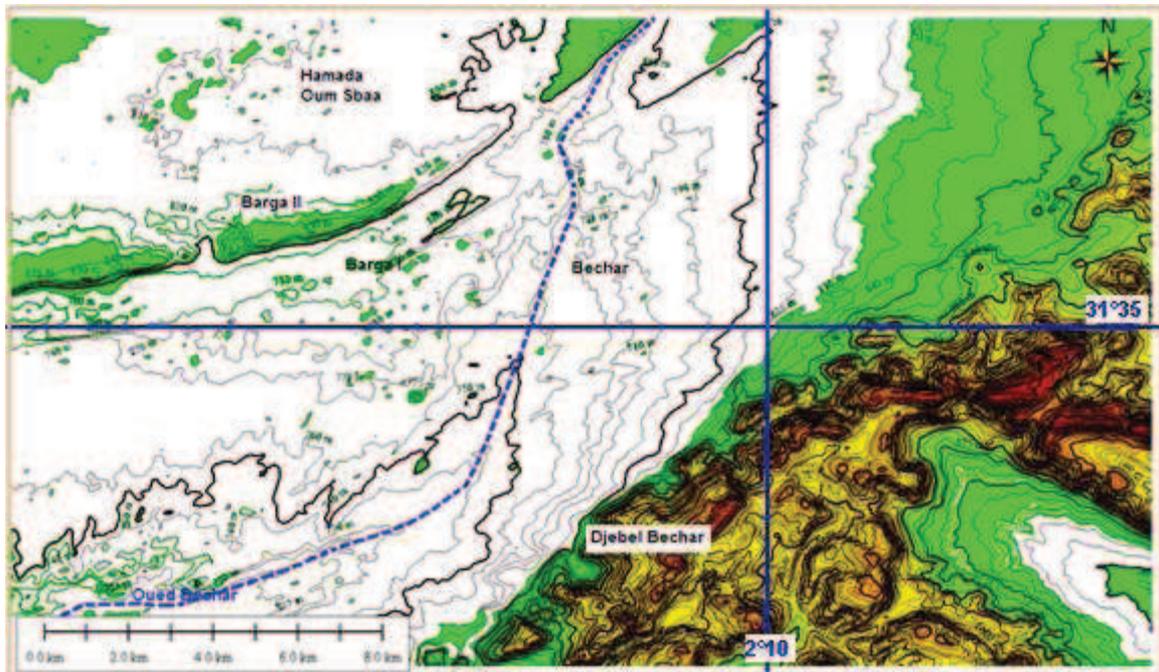


Fig 3.10 Carte des courbes topographiques de la ville de Bechar

#### 3.2.2.2.2 L'altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique (Fig 3.9), définit comme suit :

$$H_{\text{moy}} = [ \sum (A_i h_i) ] / A$$

Avec:

$H_{\text{moy}}$  : altitude moyenne du bassin [m] ;

$A_i$  : aire comprise entre deux courbes de niveau [km<sup>2</sup>] ;

$h_i$  : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

A : superficie totale du bassin versant : 3575 [km<sup>2</sup>].

L'altitude moyenne est peu représentative de la réalité. Toutefois, elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en oeuvre de modèles hydrologiques.

### 3.2.2.2.3 L'altitude médiane

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique (Fig 3.9, Tab 3.9). Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

Ces altitudes caractéristiques sont regroupées dans le tableau suivant :

**Tab 3.9 Altitudes caractéristiques (en m) élémentaires du bassin de l'oued Béchar**

Bassin	Hmax	Hmin	D=Hmax-Hmin	Hmoy	H <sub>50%</sub>	H <sub>5%</sub>	H <sub>95%</sub>
Béchar	1000	550	450	684.80	670	870	570

### 3.2.2.3 Les indices de pente

#### 3.2.2.3.1 Indice de pente de Roche

M. Roche a proposé un indice de pente qui rend bien compte de l'influence du facteur pente sur le régime hydrologique, cet indice est déterminé à partir de l'expression suivante :

$$I_p = (\sqrt{D}/\sqrt{L}) \cdot \sum \sqrt{B_j}$$

En posant  $B_j$  le pourcentage de la surface totale située entre  $h_{j+1}$  et  $h_j$  :

$$B_j = (x_j - 1) / L - 1 = x_j / L$$

$$I_p = 3.25$$

L'estimation de  $I_p$  est plus simple que celle de la pente I, si l'on travaille sur le rectangle équivalent (annexe 7). [Longueur (Km) = 286.93 km, Largeur (Km) = 13.06 km].

#### 3.2.2.3.2 Indice de pente globale ( $I_g$ )

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. Son estimation peut être faite à l'aide de l'indice de pente globale, cet indice permet d'évaluer une certaine classification du relief du bassin versant (Tab 3.10) :

$I_g$  est donné par la relation:

$$I_g = D / L \text{ (m/km)} = 1,04 \text{ m/km}$$

D : étant la dénivelée :  $D = h_{5\%} - h_{95\%}$ , définie sur la courbe hypsométrique.

L : étant la longueur du rectangle équivalent (km).

**Tab 3.10 Classification du relief selon  $I_g$  (O.R.S.T.O.M)**

R1	Relief très faible	$I_g < 0.002 \text{ m/km}$
R2	Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
R3	Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
R4	Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
R5	Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
R6	Relief fort	$0.05 < I_g < 0.5$
R7	Relief très fort	$I_g > 0.5 \text{ m/km}$

Les résultats montrent d'après la classification de l'ORSTOM (Office des Recherches Scientifiques dans les Territoires d'Outre Mer) (Tab 3.10), que  $I_g$  avec une valeur de 1.04 m/km correspondant à la classe de relief très fort.

### 3.2.2.3.3 Dénivelée spécifique ( $D_s$ ):

La valeur de  $D_s$  diminue quand  $I_g$  augmente (quand la surface du bassin versant augmente);

$$D_s = I_g \sqrt{S}$$

$D_s$  est proportionnelle à la longueur :

$$D_s = (D/L) \sqrt{L-1} = D - \sqrt{1/L} = 62,18 \text{ m}$$

$D_s$  dépend de l'hypsométrie  $D$  et de la forme du bassin.

**Tab 3.11 Classement O.R.S.T.O.M du relief à partir de la dénivelée spécifique.**

R1	Relief très faible	$D_s < 10 \text{ m}$
R2	Relief faible	$10 \text{ m} < D_s < 25 \text{ m}$
R3	Relief assez faible	$25 \text{ m} < D_s < 50 \text{ m}$
R4	Relief modéré	$50 \text{ m} < D_s < 100 \text{ m}$
R5	Relief assez fort	$100 \text{ m} < D_s < 250 \text{ m}$
R6	Relief fort	$250 \text{ m} < D_s < 500 \text{ m}$
R7	Relief très fort	$D_s > 500 \text{ m}$

D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M (Tab 3.11), appliquée au bassin de Bechar, et avec la valeur de  $D_s$  estimée à 62,18 m, le relief est classé modéré.

### 3.2.2.3.4 La pente moyenne d'un cours d'eau

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau coule vers l'exutoire du bassin. Cette variable influence donc le débit maximal observé. Une pente

abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

Le calcul des pentes moyennes et partielles du cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. La méthode la plus fréquemment utilisée pour calculer la pente longitudinale du cours d'eau consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau.

$$P_{\text{moy}} = \Delta H_{\text{max}} / L$$

Où :

$P_{\text{moy}}$  : pente moyenne du cours d'eau [m/km] ;

$\Delta H_{\text{max}}$  : Dénivellation maximale de la rivière [m] (différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'émissaire) ;

L : longueur du cours d'eau principal [km].

On a alors :  $P_{\text{moy}} = 3,21$  (m/km)

### 3.2.3 Réseau hydrographique

L'oued Béchar constitue un système indépendant, se déversant dans la Daiet Tiour, le réseau hydrographique du bassin a été tracé sur la carte NH30-3, au 1/250000 (fig 3.8)

Les paramètres les plus importants qui régissent le régime hydrologique d'un cours d'eau sont : la densité de drainage (Dd), le rapport de confluence (Rc) et le rapport des longueurs ( $R_L$ ).

#### 3.2.3.1 Densité de drainage (Dd)

La densité de drainage est étroitement dépendante de deux facteurs principaux : La lithologie et l'abondance des précipitations, elle nous permet d'apprécier le réseau hydrographique dans le BV, les morphologues l'appellent densité de thalweg, la densité de drainage est définie par :

$$Dd = \Sigma Li / S \quad \text{Où,}$$

Dd : densité de drainage en km/km<sup>2</sup>

Li : longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km.

S : Superficie du bassin en km<sup>2</sup>.

$$D_d = 0,33 \text{ (km/km}^2\text{)}$$

La valeur de la densité de drainage est faible dans le bassin étudié, pour deux raisons d'une part les pentes faibles, auxquelles s'ajoute la faible abondance des précipitations, une évapotranspiration élevée et d'autre part la perméabilité non négligeable des formations lithologiques.

### 3.2.3.2 Coefficient de torrentialité ( $C_t$ )

Il tient compte à la fois de la densité des talwegs élémentaire (ordre 1) par la densité de drainage, et met en évidence le caractère torrentiel d'un chevelu hydrographique.

$$C_t = f_1 \cdot Dd$$

Où:

Dd : densité de drainage.

$f_1$ : fréquence de chevelu hydrographique d'ordre 1 dans le BV avec :

$$f_1 = N_1 / S$$

$N_1$ : nombre de talwegs d'ordre 1 ( $N_1 = 119$ )

S: superficie du BV ( $\text{km}^2$ )

$$C_t = 0.011$$

La faible valeur du coefficient de torrentialité du bassin est liée soit à la faiblesse des précipitations, ou encore à la forte perméabilité des formations lithologiques.

### 3.2.3.3 Temps de concentration ( $T_c$ )

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire, bien que ce paramètre intervient pour l'étude des crues, pour son calcul, on applique la formule de Giandotti.

$$T_c = \frac{4\sqrt{S+1.5L}}{0.8\sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}$$

Où :

$T_c$  : temps de concentration (heures)

S : superficie du bassin ( $\text{km}^2$ )

L : longueur du thalweg principal (km)

$H_{\text{moy}}$  : altitude moyenne (m)

$H_{\text{min}}$  : altitude minimale (m)

$$T_c = 26,5 \text{ heures}$$

Le temps de concentration des eaux est non seulement fonction de la surface mais aussi d'autres paramètres tels que la lithologie, la pluviométrie et le relief, le temps de concentration dépasse 26 h sur le bassin de Bechar pour une pente moyenne de 3,21 m/km.

### 3.2.4 Caractérisation de la station de jaugeage

La station de jaugeage de l'oued Béchar, dont les coordonnées Lambert sont : X = 31°35'53"N, Y = 02°13'32"W, Z = 774 m, avec le code ANRH : 13-01-13 ; Elle est équipée d'une échelle de trois éléments de un mètre chacun.

Nous signalons que nous disposons d'une série de donnée de débits annuels d'une période de vingt ans, presque complète (1997 – 2007).

### 3.2.5 Les apports liquides

#### 3.2.5.1 Estimation de l'apport moyen annuel

L'abondance moyenne de l'écoulement a pour unité chronologique de référence "l'année moyenne", mais pour des variables considérées comme aléatoire telles que les débits. Cette notion d'année moyenne est sujette à caution du fait qu'elle conduit à une "régularisation artificielle" du régime hydrologique par compensation des années humides et sèches (Rémeniéras, 1980).

L'écoulement moyen annuel ou l'abondance annuelle est une notion fondamentale en hydrologie. C'est le volume d'eau écoulé en 365 jours à la sortie d'un bassin. Le module brut ou absolu est généralement exprimé en  $m^3/s$  et le module spécifique se traduit en  $L/s/km^2$ .

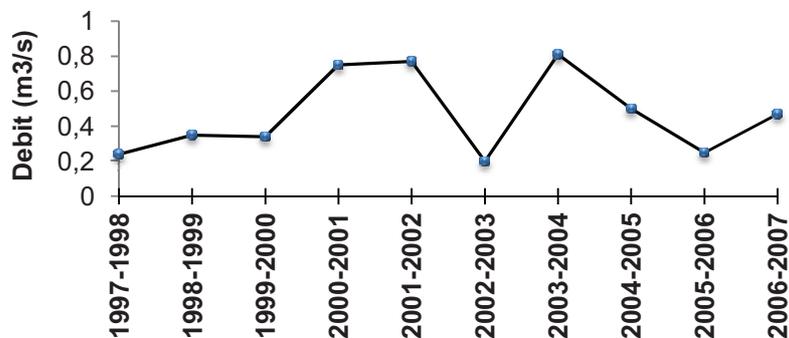
La variation annuelle des modules est présentée dans le tableau 3.12

**Tab 3.12 Débits moyens annuels d'Oued Béchar**

Station hydrométrique	ONM	
Années	Q ( $m^3/s$ )	q ( $l/s/km^2$ )
1997/2007		
Moyenne	0,467	0,131
Ecart type	0,231	0,065
$C_v$	0,495	0,495

**Tab 3.13 Valeurs caractéristiques des modules au niveau du bassin versant de Bechar**

Station	Moyenne ( $m^3/s$ )	Max ( $m^3/s$ ) (année)	Min ( $m^3/s$ ) (année)	N° d'années > moyenne	Coef Immoderation $R = Q_M/Q_m$
Béchar	0,467	0,81 (2003)	0,20 (2003)	5/10 ans	4,05



**Fig 3.11 Variations interannuelles des modules de l'oued Béchar (1998-2007).**

Les débits moyens annuels dans le bassin de Bechar, se caractérisent par leurs irrégularités spatiales et temporelles remarquables.

Le bassin de Béchar (3575 km<sup>2</sup>) présente un faible débit (0,467 m<sup>3</sup>/s) (fig 3.11, tab 3.12). Ceci s'explique par des conditions climatiques défavorables à l'écoulement : indégence des précipitations, et une évaporation importante du fait de l'augmentation de la durée d'insolation. Ainsi que l'oued Béchar qui traverse une vaste plaine de pente faible et de nature lithologique relativement perméable ce qui augmente les possibilités d'infiltration dans ce secteur.

### 3.2.5.2 Coefficient d'immodération

C'est le quotient du maximum du débit annuel sur le débit minimum, (Tab 3.13) il est estimé à 4,05, ce qui montre l'irrégularité vénielle des débits interannuels.

### 3.2.5.3 Observations sur les débits extrêmes

Les débits extrêmes sont les phénomènes de crue, qui conditionnent dans une large mesure le potentiel hydrologique et ses variations, car il suffit d'une grande crue dans l'année pour que l'écoulement annuel soit important.

De ce fait, le suivi de cette forme d'écoulement, est important notamment pour la connaissance du potentiel hydrologique, mais aussi leurs conséquences sur le bilan annuel.

Les débits extrêmes ne peuvent être cernés que dans leur succession chronologique, allant de quelques heures à plusieurs jours. L'étude des crues permet de mettre en évidence la réaction du bassin versant pendant un pas de temps réduit à une averse ou séquence pluvieuse donnée. Cette réaction ou réponse du bassin, fonction des caractères propres des précipitations (hauteur, intensité et durée) est déterminée par la combinaison complexe des divers éléments caractérisant l'organisation fluviale: état de saturation des sols, importance des pentes, densité de drainage, taux de la couverture végétale, forme du bassin ect... (Paré, 2006).

#### 3.2.5.3.1 Le maximum interannuel

La crue est la réponse du bassin versant, pendant un pas de temps réduit, à une averse ou séquence pluvieuse donnée, notamment puissance de la crue, leur amplitude, leur fréquence, et leur variation spatio-temporelle.

#### 3.2.5.3.2 Les débits mensuels

La station de Bechar (ANRH) a enregistré des débits mensuels de la série 1997 jusqu'à 2006 ; La fig 3.12 montre les différentes variations des crues.

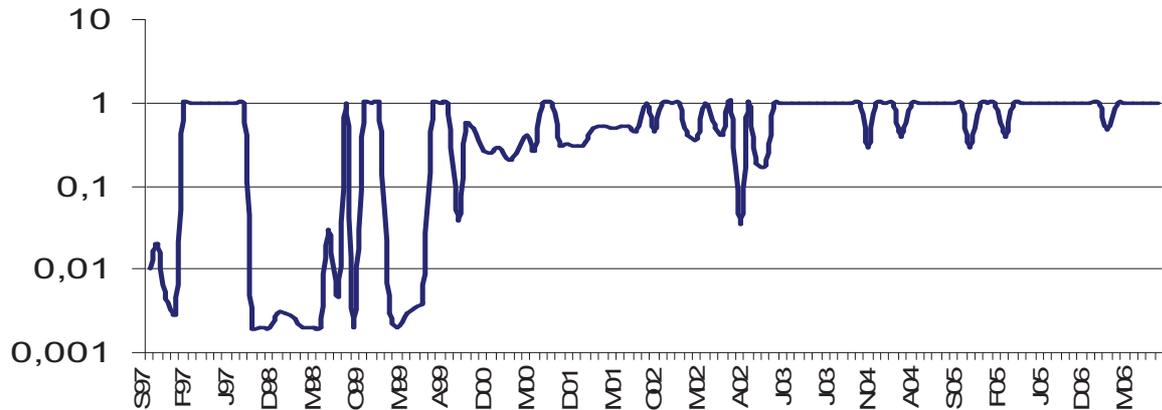


Fig 3.12 Débit mensuel ( $m^3/s$ ) à la station de Bechar (1997-2006).

La diminution de la puissance de la crue de l'amont à l'aval du bassin de l'oued Bechar, est due à la répartition des précipitations, ainsi que la faiblesse ou la variabilité de la pente, l'importance des dépôts alluvionnaires perméables et l'augmentation de la température et donc une évaporation intense.

L'écart entre les débits instantanés ainsi qu'entre les maximums mensuels, pour la station du bassin, est très important et témoigne de la variété des réponses du bassin (la morphologie du lit, les caractéristiques physiques notamment, la lithologie, et les conditions météorologiques ayant engendré la crue).

L'allure des hydrogrammes relatives à ces crues, donne une image suggestive de la rapidité et la brutalité caractérisant la montée et la descente des crues (fig 3.12), ou les variations plus accusées dues essentiellement à l'importance de l'évaporation et à la perméabilité des formations alluvionnaires traversées par l'oued, qui engendrent une descente très rapide de la crue (temps de concentration = 26,5 h). La variabilité des débits fait appel à la relation pluie-débit.

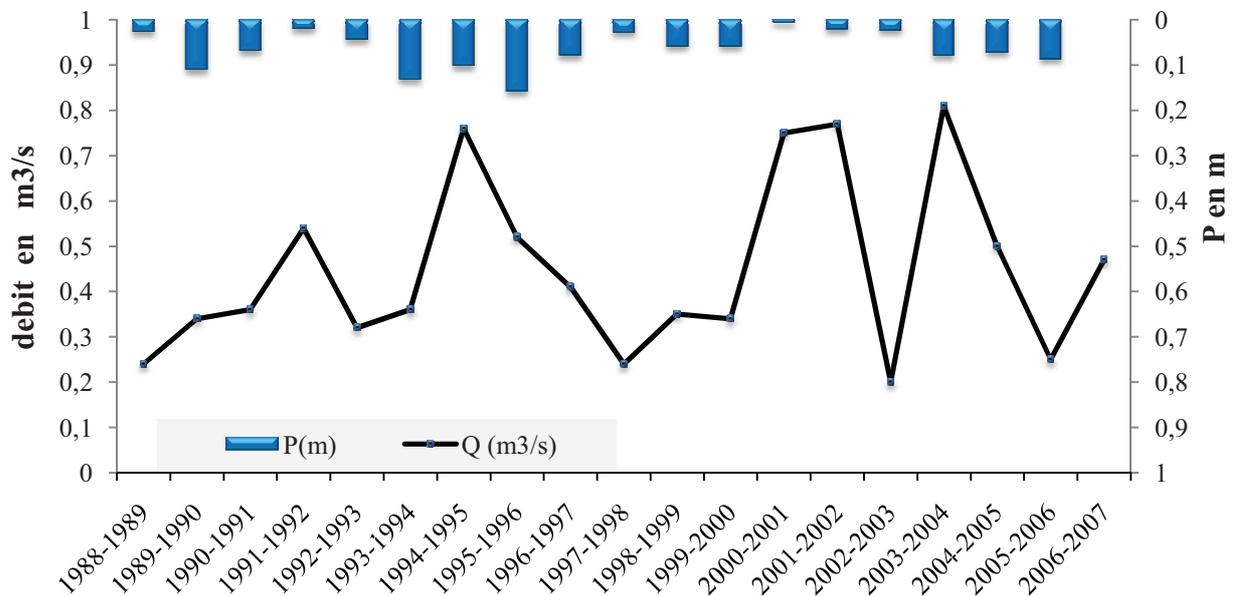
#### 3.2.5.3.4 Les débits moyens interannuels

Sur le tableau 3.14 et la figure 3.13 on remarque que les débits à la station de Bechar varient de 0,2 à 0,81 ( $m^3/s$ ), et les maximums sont enregistrés au cours des années 2001, 2002 et 2004 avec respectivement 0,75, 0,77, et 0,81  $m^3/s$ , et les minimums, de l'ordre de 0,24  $m^3/s$  en 1998 et 0,20  $m^3/s$  en 2003. La moyenne est de 0,45  $m^3/s$ .

**Tab 3.14 Débits moyens et précipitation moyenne interannuels à la station de Bechar**

Années	Q (m <sup>3</sup> /s)	P(m)	Années	Q (m <sup>3</sup> /s)	P(m)
1988-1989	0,24	0,0287	1998-1999	0,35	0,0607
1989-1990	0,34	0,1125	1999-2000	0,34	0,0607
1990-1991	0,36	0,071	2000-2001	0,75	0,0097
1991-1992	0,54	0,0215	2001-2002	0,77	0,0229
1992-1993	0,32	0,0455	2002-2003	0,20	0,0255
1993-1994	0,36	0,1345	2003-2004	0,81	0,081
1994-1995	0,76	0,104	2004-2005	0,50	0,0739
1995-1996	0,52	0,1595	2005-2006	0,25	0,0887
1996-1997	0,41	0,0801	2006-2007	0,47	0,1268
1997-1998	0,24	0,0305			

### 3.2.5.4 Débits en fonction des précipitations



**Fig 3.13 Pluie-Débit (moyenne interannuelle) à la station de Bechar (1988-2007)**

On remarque sur la figure 3.13 de la station de Bechar une légère anomalie due probablement au temps de concentration assez lent ( $T_c = 26,5$  h).

### **3.2.6 Conclusion**

Le bassin versant d'oued Bechar s'étale sur une superficie de 3575 km<sup>2</sup>, et présente un relief modéré, d'après la classification de l'ORSTOM. La pente assez forte du lit de l'Oued confère aux écoulements de surface un régime hydrologique particulier aux zones arides. L'écoulement en période de crues de l'oued Béchar se caractérise par un régime hydrologique torrentiel.

Le bassin montagneux de Béchar présente des caractéristiques morphométriques favorables à la genèse et à la propagation des crues. Mis à part les secteurs de piémonts et les secteurs de plaines, qui sont le siège d'une accumulation des dépôts alluvionnaires où les conditions d'écoulement sont moins favorables au ruissellement.

Les crues sont assez rares, l'analyse de la relation pluie-débit montre qu'à la station de Béchar il y a une légère anomalie (de réponse du débit à la pluie), qui est due au temps de concentration  $T_c = 26,5$  h.

## CHAPITRE IV

### Hydrogéologie

---

#### 4.1 Introduction

L'étude géologique de la région de Béchar a permis de progresser dans la connaissance du cadre hydrogéologique, ainsi que l'identification des différentes nappes et leur répartition dans l'espace et permet de dégager une interprétation sur l'hydrodynamisme des eaux souterraines de ce système aquifère (Kabour, 2008 ; 2009).

#### 4.2 Les nappes aquifères de la région Béchar

On peut considérer, d'une part, les formations non plissées, tabulaires, de l'Eocène supérieur, de l'oligocène continental, du Hammadien (Néogène), du Pliocène et du Quaternaire, où l'eau circule dans les niveaux perméables ou fissurés et, d'autre part, les terrains plissés, plus ou moins arasés en pénéplaine, où la circulation des nappes n'a lieu que dans une zone dont la profondeur varie suivant la perméabilité et la fissuration des terrains de nature grès ou calcaires (fig 4.1) (Deleau, 1951; Idrotecneco, 1979).

Les dépôts non plissés ou tabulaires de l'Eocène supérieur affleurent au Nord de Béchar, ils comprennent les calcaires lacustres de la seconde Barga surmontant un horizon très constant de grès et de poudingues bruns (Deleau, 1951; Idrotecneco, 1979).

L'oligocène continental et le Hammadien, marnes gréseuses rouges et calcaires supérieurs de l'Oum es Seba et de la Gara Ziar, ne jouent ici aucun rôle du point de vue hydrogéologique. Les atterrissements, les terrasses d'alluvions, les cônes de déjection de l'époque quaternaire, constitués en général de sables, de graviers, ou s'intercalent des niveaux de marnes imperméables et des poudingues cimentés et souvent fissurés, forment par contre un groupe aquifère, principalement dans la zone de piedmont (Deleau, 1951; Idrotecneco, 1979).

Les dépôts tabulaires reposent sur les terrains plissés du synclinorium au Nord de Béchar. Voici leur suite stratigraphique de haut en bas (fig 4.1) (Deleau, 1951; Idrotecneco, 1979).

Sous les horizons tabulaires des grès bruns viennent des marnes gypsifères et du sel gemme (500 à 600 m.) qui se sont accumulés dans un bassin salifère post cénomano-turonien. Les assises du bassin salifère reposent sur les calcaires fissurés cénomano-turonien, d'origine marine, qui affleurent sur le bord Sud du synclinorium houiller et cénomano-turonien de Kénadza à Béchar et vers le NE, vers Métired, en formant une cuesta (annexe 6),

caractéristique ou première Barga. Les calcaires de la première Barga, à Béchar, plongent ainsi au Nord et au NNW de 15° à 20°W, tandis que ceux de la seconde Barga (Eocène supérieur) sont tabulaires.

Sous les calcaires cénomaniens se subordonnent d'autres marnes rouges plus ou moins gypsifères, attribuables au crétacé inférieur. Cet ensemble plissé, d'âge secondaire Post-turonien, cénomano-turonien et anté-cénomaniens, repose en discordance au Nord et au NE de Béchar sur les terrains carbonifères.

Les terrains carbonifères comprennent une alternance de barres de grès de 1 m à 20 m d'épaisseur et de stampes de marnes schisteuses (10 à 50 m.) qui, à Kénadsa et à Béchar, plonge au Nord et au NW de 20° à 35°.

La direction des strates carbonifères fait en général un angle de 10° avec celle des calcaires cénomaniens. L'imperméabilité des terrains carbonifères est presque totale en profondeur. Les marnes au-dessous de 20 m sont compactes, bleues et sèches. Dans les grès, l'eau ne circule au-dessous de 20 à 25 m que dans les fissures. Elle est plus ou moins captive et se trouve rarement à plus de 100 m de profondeur. Les nombreux sondages dépassant 100 m, exécutés pour les recherches houillères, sont restés en terrains parfaitement bleus et secs. Les anciennes fissures, quand elles existent, sont emplies de quartz ou de calcite secondaire (Idrotecneco, 1979).

Dans la série plissée, l'alternance de marnes imperméables et de grès ou de calcaires fissurés et aquifères jusqu'à une profondeur limitée déterminée, dans les grès et les calcaires, des nappes aquifères relativement indépendantes sur des allongements de plusieurs kilomètres. L'écoulement d'une nappe amont vers une nappe aval n'a lieu que lorsqu'une faille transversale recoupe l'ensemble des assises, lorsque le Carbonifère est recouvert par une vallée alluviale dont le niveau hydrostatique s'équilibre avec celui des assises sousjacentes ou lorsqu'une assise aquifère vient recouvrir en discordance une autre assise, également perméable ou fissurée (cas de la superposition des calcaires cénomaniens aux grès houillers en de l'Ain Cheikh, à 4 km à l'Est de Kénadza) (Idrotecneco, 1979).

#### 4.2.1 Aquifères Superficiels

Les nappes d'infero-flux et du quaternaires, sont liées aux alluvions des oueds et aux différents dépôts du Quaternaire

##### a) -Nappe Infero-flux de l'oued Guir

La profondeur du niveau statique est d'environ 5 mètres dans le bas Guir et dans la plaine d'Abadla.

##### b) -Nappe Infero-flux de l'oued Zousfana

La nappe a une profondeur minimale de 7 m à l'Ouest de djebel Mezarif, de 10 mètres au Sud et en amont de Taghit, elle devient subaffleurante.

##### c) -Nappe Infero-flux de l'Oued Béchar:

Cette partie sera détaillée dans la section § 4.3.

#### 4.2.2 Aquifères tertiaires

##### a)- Nappe du Grand Erg Occidental

La vallée de la Zouzfana-Saoura représente la limite occidentale de la nappe qui se prolonge au Nord jusqu'à l'accident Sud-Atlasique, au Nord-Est vers les pays des Dayas, au Sud-Est jusqu'au synclinal de Tadmiat où elles s'équilibrent avec la nappe du continentale intercalaire. La Surface totale de la nappe est de l'ordre de 100.000 km<sup>2</sup> (Idrotecneco, 1979).

##### b)-Nappes du continental terminal

Ces nappes sont situées dans l'aquifère calcaire de l'éocène supérieur qui s'étend au Nord-Ouest de Béchar.

##### c) Nappe de l'Eocène

L'éocène supérieur est caractérisé par une série continentale rouge, visible de Béchar à Meridja dont l'épaisseur maximum connue est de 60 m.

#### 4.2.3 Aquifère du Crétacé : Nappe du Turonien

Cette nappe a fait l'objet de diverses études du fait, de son intérêt, aux objectifs d'exploitation pour satisfaire les besoins en eau de la ville de Béchar, elle est bien identifiée par des études effectuées pour des recherches minières dans le cadre de la reconnaissance des dépôts salins des formations évaporitiques du bassin de Béchar-Kenadsa.

Les calcaires de cette nappe constituent un aquifère à caractère important juste en extension (> 450 km<sup>2</sup>), bien que son épaisseur soit faible, elle fournit néanmoins un débit appréciable, qui contribue à l'alimentation de la ville (Merzougui, 2007).

Les coupes hydrogéologiques mettent en évidence la composante de la circulation de l'eau de l'Est vers l'Ouest jusqu'à Djorf Torba et de l'Ouest vers l'Est à l'Ouest de Djorf-Torba (Idrotecneco, 1979).

Les valeurs de sorties de la nappe sont de 100 à 110 l/s, d'autre part, la valeur d'entrée est de 50 l/s avec un déficit d'environ 60 l/s (Merzougui, 2007).

#### 4.2.4 Aquifères Jurassiques

Dans la région de Mougheul, les calcaires du jurassique sont aquifère et plusieurs points d'eau sollicitent cette nappe, la source d'Ain-Merah constitue l'un de ses exutoires ; trois forages de 150 à 180 m ont donné un débit de 30 l/s. L'eau est de très bonne qualité chimique, elle est peu minéralisée à prédominance bicarbonatée magnésienne et très chlorurée, sulfatée et très faiblement sodique (DHWB, 2004).

#### 4.2.5 Aquifère Carbonifère

##### a)Nappe des grés du carbonifère

L'écoulement des eaux de ces nappes se fait du Nord-Est au Sud-Ouest avec une alimentation dans les affleurements de Djebel-Béchar.

L'alimentation des nappes des grès carbonifères peut se produire par l'infiltration des pluies dans la zone Montagneuse d'affleurement des grès et à travers les crues des oueds qui traversent ces affleurements (Idrotecneco, 1979).

**b) Nappes des calcaires du carbonifère**

Le flux des eaux de cette nappe a une composante non négligeable vers l'Oued Guir, où celui-ci coupe l'aquifère de Djenien vers le Sud. En fonction de cela ces zones peuvent être considérées comme étant les exutoires de cette nappe.

L'alimentation de la nappe se localise aux affleurements de cet aquifère dans la partie occidentale l'anticlinale de la Zousfana (Idrotecneco, 1979).

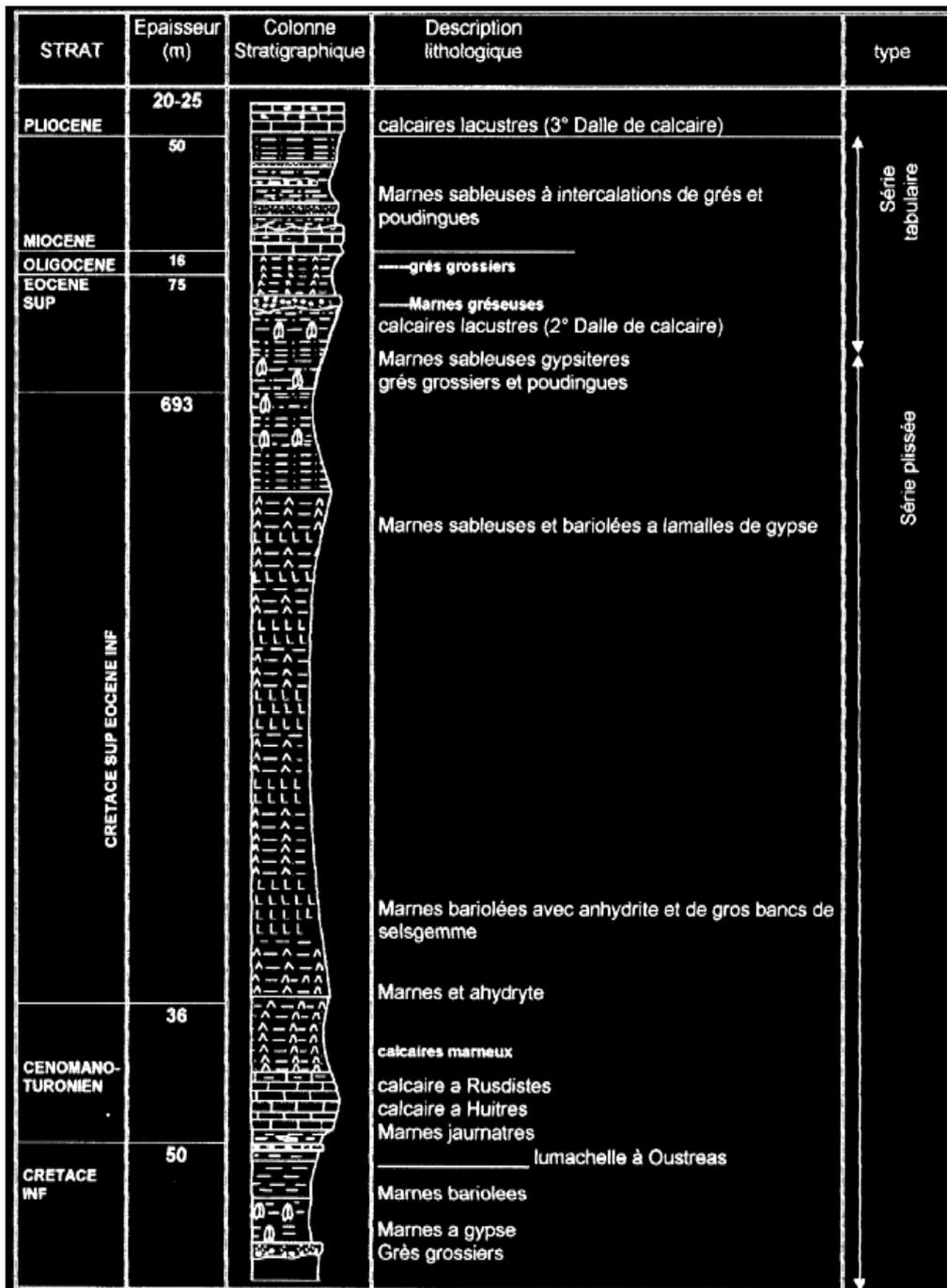


Fig 4.1 Description litho-stratigraphique de la région de Béchar (Deleau, 1951).

### **4.3 La zone d'étude**

#### **4.3.1 Etude hydrogéologique de la ville de Bechar**

Ce chapitre a pour but de montrer la complexité du système aquifère de cette région et, en faisant le point sur nos connaissances, de constituer une base pour la mise à jour et l'utilisation des nappes aquifères dans cette région du climat aride où le problème de l'eau a une importance primordiale.

#### **4.3.2 Les nappes aquifères de la ville de Bechar (Deleau, 1951; Idrotecneco, 1979).**

##### **4.3.2.1 Nappes libres provenant des formations tabulaires de la Hammada**

Le type de ces nappes est représenté par celle qui alimente la station de pompage au Nord de la gare des Chemins de Fer Algériens, à la cote 778 m. Elle est incluse dans les conglomérats fissurés d'un cône de déjection reposant sur des marnes rouges gypsifères, post-turonniennes, ici compactes et pratiquement imperméables. Ce cône de déjection d'un ancien oued dévalant de la Hammada de l'Oum Es Seba drainé par le col situé au Nord de Béchar ou «Foum ed Defla ». L'eau provenant des nappes libres, contient à la base :

1- des calcaires tabulaires plus ou moins fissurés de la seconde Barga ;  
2- des poudingues et des grès bruns subordonnés à cette Barga. Le bassin d'alimentation peut s'étendre jusqu'au pied du Djebel Horrèit. Les courbes isopiézométriques montrent que cette nappe, venant du Foum ed Defla, s'écoule au SW de la station actuelle de pompage suivant une vallée sèche appelée à Bechar : « le Chabat ». Les puits du Chabat ont des débits de 30 à 35 m<sup>3</sup>/heure avec un très faible rabattement.

Le niveau hydrostatique de cette nappe dans le puits de la gare est à la cote 778 m. L'eau contient 1,38 g de sels par litre dont 0,58 g de chlore.

La nappe de la station de pompage de la gare et du Chabat est ainsi différente de la nappe alluviale de la rive droite de l'Oued Bechar dont le niveau hydrostatique est à 2 m, à l'Est de la gare, est à la cote 775 m et dont l'eau titre une minéralisation de plus de 2 gr/ litre, avec 1 gr de chlore.

La nappe descendant de la Hammada d'Oum es Seba par le Foum ed Defla a donc ses propriétés chimiques propres et elle est bien individualisée. Une autre nappe provenant également des formations tabulaires de la Hammada s'écoule à mi-distance entre Bechar et Kenadza par le cône de déjection du «Col des Gazelles » ou de l'Hassi Ennous.

##### **4.3.2.2 Nappes libres des alluvions de l'Oued Bechar**

1- Dans Béchar même et son oasis, les courbes isopiézométriques montrent que l'oued alimente la nappe des alluvions en amont des barrages, tandis que la nappe des alluvions alimente l'oued en aval des barrages (le terme Barrage désigne des digues mise en place par les collants, pour stocker l'eau des crues ; de hauteur 1,5 m, actuellement envaser d'alluvions).

2- En amont de Bechar, la rive droite et la rive gauche sont nettement individualisées.

### **Rive droite**

Les alluvions de la rive droite contiennent une nappe aquifère relativement salée et les courbes isopiézométriques indiquent que cette nappe s'écoule du NW vers le SE en alimentant l'oued Béchar. Les eaux se chargent en sels dans les alluvions de la rive droite principalement formées de marnes gypsifères et salées, post-turoniennes, plus ou moins remaniées. Ces marnes affleurent au pied de la seconde Barga jusqu'au Nif er Reha.

### **Rive gauche**

La rive gauche de l'oued Béchar à 2 km, en amont de la ville est dominée, de 10 à 15 mètres, par une terrasse quaternaire allant jusqu'à Ouakda. Cette terrasse est formée d'alluvions anciennes, non salées, déposées dans une zone d'épandage de l'oued Béchar quand la Barga cénomanienne, non érodée, formait un barrage naturel sur l'emplacement actuel de la ville. Ces alluvions reposent donc au Sud sur les calcaires cénomaniens. L'eau suinte au pied de la terrasse à la cote 787 m, c'est-à-dire à 7 et 8 m au-dessus du niveau actuel de l'oued et les nombreux puits d'Ouakda atteignent une nappe d'eau relativement douce (moins de 1 gr. de sel par litre). La question qui se pose est : d'où provient cette nappe ainsi curieusement suspendue par rapport au niveau de l'Oued Béchar ? Les courbes isopiézométriques indiquent manifestement un écoulement Est-Ouest de la barre calcaire cénomano-turonienne vers l'oued Béchar. Le niveau hydrostatique dans les calcaires cénomano-turonien, dans le sondage exécuté en 1941 en ce point, est supérieur (côte 789 m) à celui de la nappe de la terrasse d'Ouakda (côte 787 m). Les calcaires cénomano-turonien, reposant sur des marnes imperméables infra-cénomaniennes, contiennent, donc leur propre nappe qui s'écoule d'Est en Ouest, dans les alluvions de la terrasse d'Ouakda (Deleau, 1951 ; Idrotecneco, 1979 ; Merzougui, 2004).

#### **4.3.2.3 Alimentation de la nappe, plus ou moins captive, des calcaires cénomaniens) (fig4.2)**

A 12 km en amont de Béchar, au NE d'Ouakda, la vallée de l'oued Béchar se resserre considérablement. L'oued Béchar prend naissance, à vrai dire, en cet endroit. Il est formé par la réunion de tous les oueds descendant les Djebels Horieit et Antar et d'une partie du revers Sud du Djebel Grouz (Deleau 1951).

La vallée, large de 10 km dans la région de Haouari, se resserre au NE d'Ouakda pour ne pas dépasser 1200 m entre Nif er Reha et les monts de Bézazil el kelba. Ce resserrement correspond à un bombement en profondeur des calcaires Cénomaniens et leur substratum quasi imperméable. Ce seuil calcaire forme un barrage souterrain naturel retenant en partie et tendant à régulariser l'inféoflux des alluvions Quaternaire salées, constituées en majeure partie au dépend des terrains carbonifères. Ce barrage souterrain n'est pas absolument étanche puisqu'il est formé, à sa partie supérieure, de calcaire fissurés Cénomano-Turonien et ces derniers drainent vers Béchar une certaine quantité d'eau provenant à l'origine des alluvions situées en amont du seuil des monts de Bézazil el kelba et qui échappe ainsi à l'évaporation et à la sursalure (Deleau, 1951).

Les calcaires Cénomano-Turoniniens forment une cuesta ou barga dont l'altitude décroît de Métired à Béchar ; Rappelons qu'ils reposent sur des marnes imperméables, marnes à Huîtres du Cénomaniens, et qu'ils sont subordonnés à d'autres marnes, également imperméables, s'intercalant entre les deux bargas. L'écoulement général de leur nappe aquifère a lieu de Métired vers Béchar puis vers Kénadsa. Le niveau piézométrique est à Métired à la côte 945 m, à Béchar à 789 m et Kanadsa à 758 m (Deleau 1951).

La nappe d'eau rencontrée à 44 m de profondeur indiquait une pression supérieure à celle de la première nappe située à 30 m. Ces nappes sont donc plus ou moins captives.

Si l'alimentation de la nappe des calcaires Cénomaniens a lieu en grande partie à la hauteur du seuil des monts Bezazil el kelba, elle doit également avoir lieu plus en amont, vers Métired, et le rôle hydrologique de la barre de calcaires Cenomano-Turoniens de la région de Béchar apparaît important (Deleau 1951; Idrotecneco 1979).

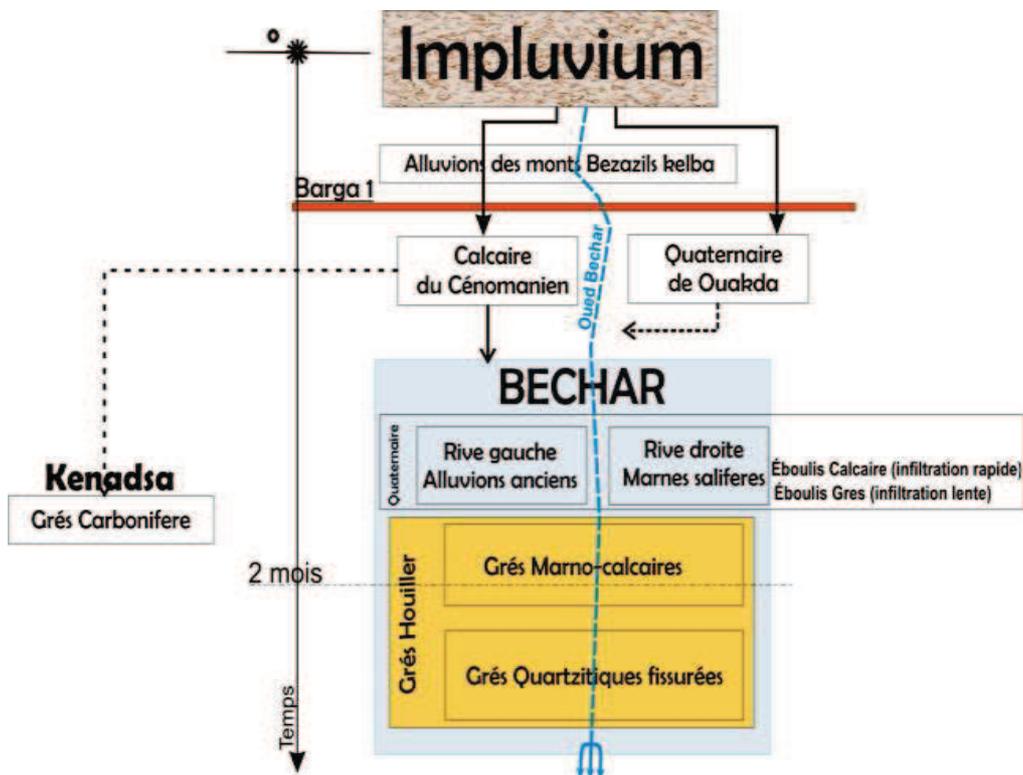


Fig 4.2 Fonctionnement hydrogéologique du système aquifère de la ville de Béchar (Deleau P., 1951)

#### 4.3.2.4 Nappes des grès houillers

Les nappes des grès houillers sont plus ou moins captives comme celles des calcaires Cénomano-Turoniens.

Les grès houillers présentent, en gros, deux faciès : Les grès marno-calcaires et les grès quartzitiques fissures.

Les premiers sont lités en bancs de 20 à 40 cm, intercalés par groupe de 5 à 15 bancs dans les marnes schisteuses du Houillier. Ils sont altérés jusqu'à 25 et 30 m de profondeur ; le

ciment marno-calcaires est alors plus ou moins dissous et les vides entre les grains de quartz homométriques, d'un diamètre de 1/3 à 1/2 de mm. Permettent la formation de nappes fournissant 3 à 10 litres/seconde par puits en aval de Bechar (puits des recherches houillères et Puits de la grande centrale). Les nappes de ces grés marneux, au Sud de Béchar, sont plus ou moins en relation avec la nappe alluviale de l'Oued Bechar et participent avec elle à la constitution de réserves après chaque crue, mais elles peuvent être également alimentées latéralement suivant leur allongement vers le NE ainsi que pour les grés quartzites.

Des essais de pompage ont été réalisés pour l'alimentation de la grande centrale de Bechar par l'entreprise des « Travaux souterrains ». Deux puits distants de 100 mètres et profonds de 22 mètres ont été creusés dans les grés marneux. Ils étaient séparés par une masse de marne rouge imperméable. Les essais de pompage ont montrés que ces puits n'avaient aucune influence réciproque et que l'eau circulait dans les grés marneux d'Est vers l'Ouest.

Les grés Quartzites sont compacts et pratiquement imperméables sous un volume restreint, mais ils sont fissurés et les nombreux sondages qui les ont traversés jusqu'à 80 à 100m de profondeur ont montrés que la circulation de l'eau y est abondante.

Un exemple tout à fait probant a donné, en 1940, à la cote 716 m dans les travers-bancs de recherches miniers à Bechar Ouest, en traversant un banc de grés quartz épais de 40 à 80 m sous le niveau de la vallée de l'Oued Bechar le débit, au début des travaux, atteignit 3000 m<sup>3</sup>/jour. En 1942, à la reprise des travaux, ce débit s'est stabilisé à 1800 m<sup>3</sup>/jour.

Tous les travaux de mines dans cette région montrent que l'eau venait manifestement de l'ENE.

On pourrait admettre que la zone d'alimentation comprend uniquement la zone d'imbibition de la nappe alluviale de l'Oued située à 3 km à l'ENE, mais dans les mêmes bancs de grés, aux monts Bezazil el kelba, à 15 km à l'ENE, les sondages ont rencontré d'importantes nappes dans les grés quartzites fissurés. Le niveau piézométrique s'établissait à la cote 835 m plus haut qu'à Bechar.

Les crues de l'oued Bechar ne sont donc pas en cause et le décalage de deux mois correspond à l'acheminement de l'eau dans les bancs de grés sur plusieurs dizaines de km (fig 4.2). Ceci confirme l'hypothèse de l'alimentation des nappes de grés houillers suivant leur allongement vers la région amont de l'impluvium (Deleau, 1951).

#### 4.4 Conclusions

Les grés quartzites du Houiller et les calcaires cénomaniens, tous deux fissurés et intercalés entre des niveaux de marnes imperméables, jouent le même rôle du point de vue hydraulique. Ils drainent vers Bechar des eaux plus ou moins profondes recueillies dans la région s'étendant au NE de Bechar. Les débits ne sont importants qu'avec un rabattement important. En général, pour les grés, on n'atteint les 10 l/s qu'à partir de 25 m de profondeur. Ainsi, par leur situation topographique et la constitution géologique du sol, les environs de Bechar sont alimentés par des nappes aquifères très diverses et relativement nombreuses qui convergent vers Béchar. Les nappes les plus riches sont celles des grés houillers et des calcaires cénomaniens, toutes deux fissurées (Deleau 1951; Idrotecneco 1979).

#### 4.5 Nouvelles données hydrogéologiques sur le système aquifère de la ville de Bechar

L'hydrogéologie de la région de Bechar (SW Algérien) a fait l'objet d'études à grandes échelles, par plusieurs auteurs, citons entre autres : Delau, 1951 ; Chavaillon, 1964 ; Roche, 1967 ; Guerre, 1974 ; Idrotecneco, 1979.

Les études réalisées par ces auteurs indiquent les grands traits de la géologie et de l'hydrogéologie de la région de Bechar-kenadsa, en mettant la lumière principalement sur la nappe du turonien, vue son importance qualitative et quantitative, et la possibilité de son exploitation pour l'alimentation en eau potable (AEP) des deux villes.

Cette partie consiste à faire un zoom sur l'hydrogéologie de la ville de Bechar, dans une perspective de détail, et un objectif de détermination et de protection de ces ressources hydriques. L'accent est particulièrement mis sur le fonctionnement hydrodynamique de son système aquifère.

Les nouvelles observations, réalisées sur la base des descriptions stratigraphiques (fig 4.3), et de coupes hydrogéologiques (fig 4.4), réalisées par des logs d'anciens forages (fig 4.7 annexe 8). Pour mieux apprécier l'information, ces observations montrent que le sous sol de la ville de Bechar abrite six formations aquifères, nettement individualisées (Namurien, Westphalien, Turonien, Eocène, Quaternaire ancien, et l'ifero-flux)

L'oued Bechar par son tracé partage la ville en deux parties ; le quartier populaire de Debdaba et le centre ville, et aussi par le même trajet recoupe les différents affleurements des formations aquifères, ce qui affecte la possibilité d'un grand impact, soit d'alimentation, de déversement ou de contamination.

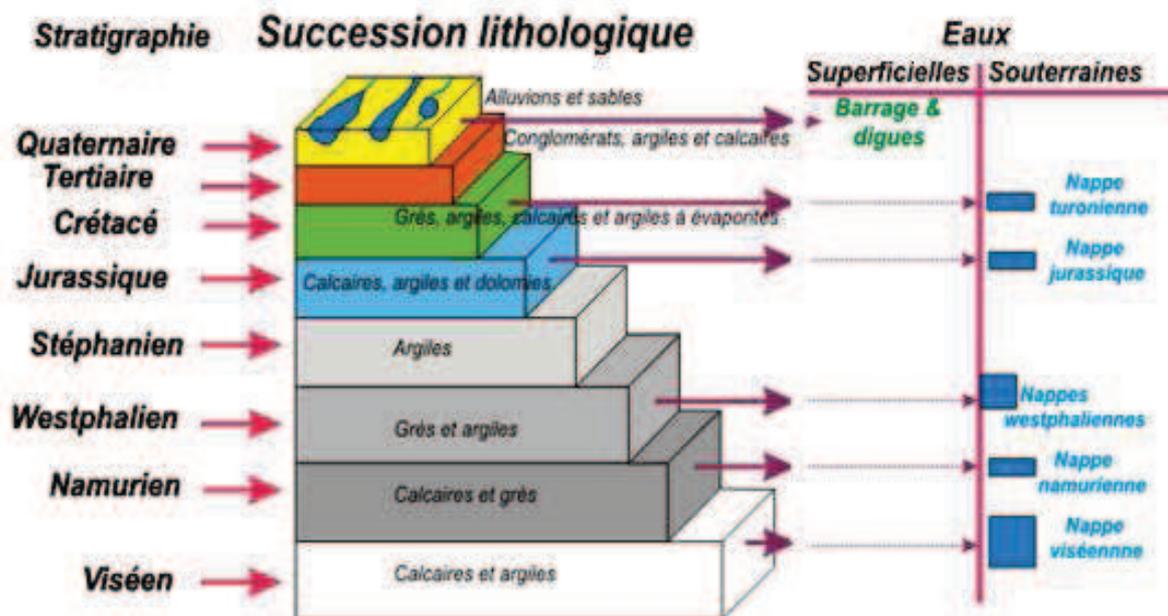


Fig 4.3 Stratigraphie et distribution des aquifères dans la région de Béchar (Inédit Mekkaoui, 2010)

#### 4.5.1 Description du système aquifère

Le système aquifère est composé de six formations (nappes) nettement individualisées (fig 4.3, 4.4 et annexe 8), décrivant une intercommunication assez complexe (fig 4.5), qui se décrit, du Sud au Nord, comme suit :

Le Namurien (6), situé au Sud de la ville, est alimenté par les formations carbonatées de Dj Bechar, et par l'influx de l'Oued Bechar.

Le Westphalien (5) affleure au niveau de l'oued et reçoit une alimentation de ce dernier.

Le Turonien (Crétacé) (4) présente un contact orthogonal avec l'oued et une pente qui lui permet de déverser un certain débit dans l'oued, sous forme d'écoulement souterrain, qui se développe en source, dès que les conditions nécessaires se présentent. Cette source existait, d'après les autochtones, sous le nom de «El'aine».

L'Eocène (3) affleure au niveau de l'Oued, ce contact permet une alimentation réciproque.

Le Quaternaire ancien (2) se présente aussi de façon perpendiculaire à l'infero-flux de l'oued et aux formations carbonifères, ce qui lui offre une alimentation réciproque du premier et une alimentation simple du deuxième.

Et enfin l'infero-flux (1) traverse toutes ces formations, en plus de ses relations décrites, il bénéficie d'une alimentation par l'impluvium, situé au Nord, et formé par un espace hydrographiquement rempli de chaabats, avec un écoulement temporaire, pendant les rares jours de pluie dans l'année.

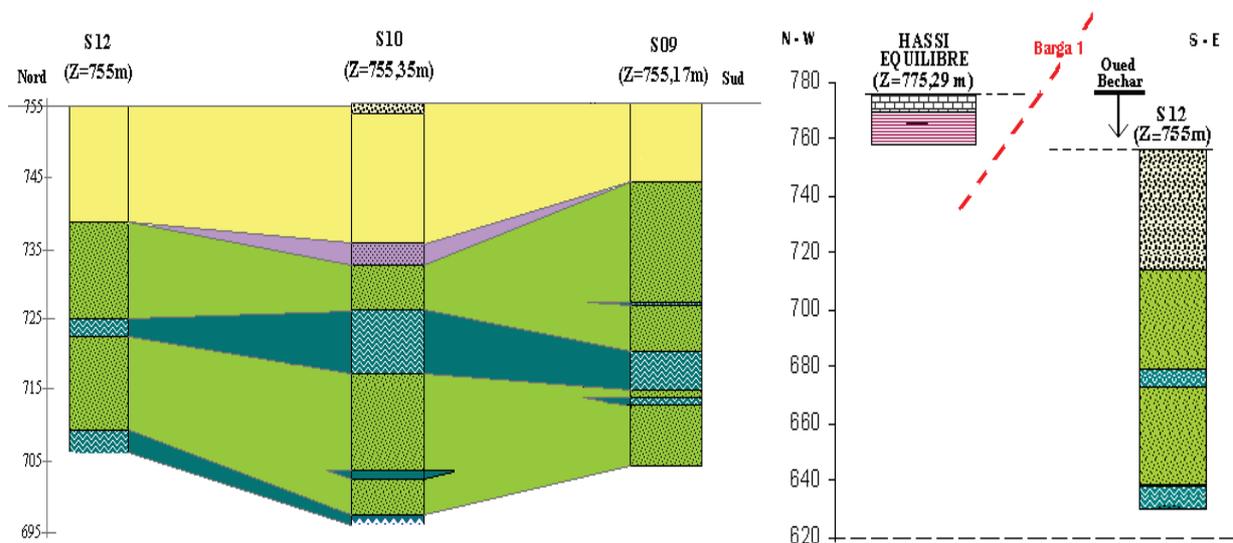


Fig 4.4 Coupe entre les forages S12-S10-S09, et Hassi équilibre-S12

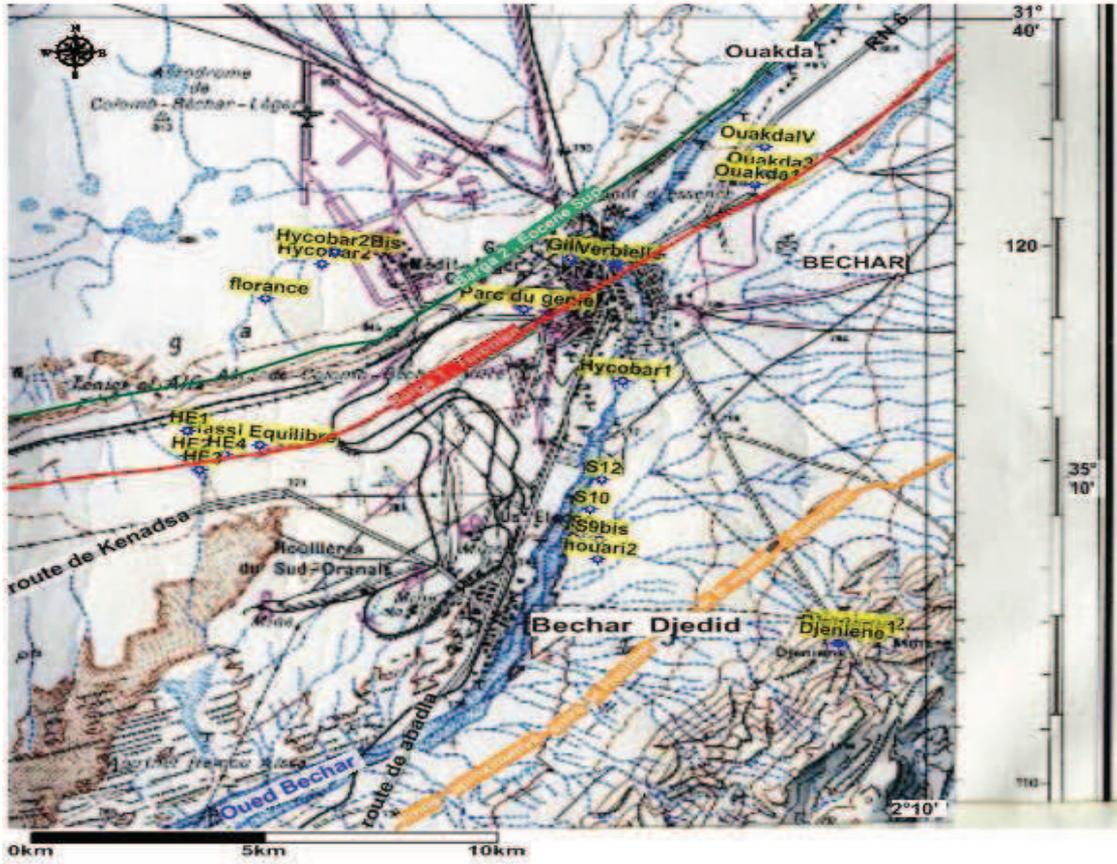


Fig 4.7 Localisation des anciens forages au niveau de la ville de Bechar (Kabour *et al.*, 2010)

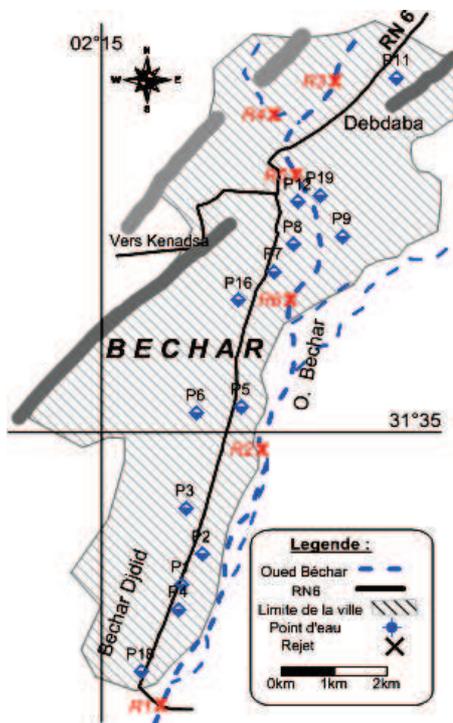


Fig 4.6 Carte de l'inventaire des points de mesure de la piezométrie (puits et rejets) au niveau de la ville de Béchar

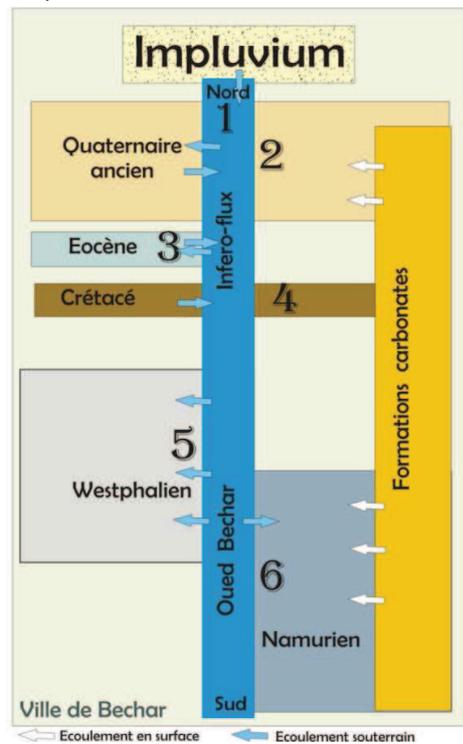


Fig 4.5 Intercommunication dans le système aquifère de la ville de Bechar (Kabour *et al.*, 2010)

#### 4.5.2 Piézométrie

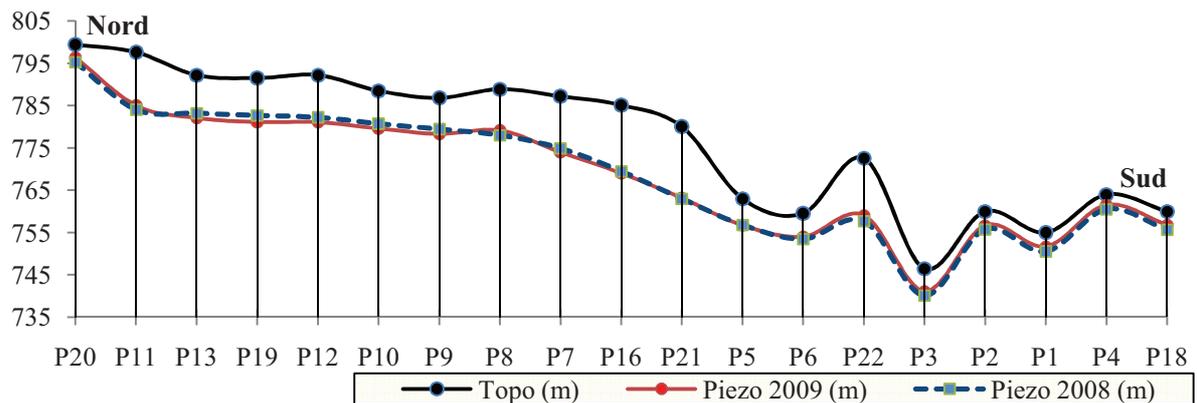
A partir des relevés des niveaux statiques sur 22 puits en 2008 et en 2009 (Avril) (fig 4.6), un graphe de l'évolution hydrodynamique, sur un axe d'orientation Nord Sud (fig 4.8), ainsi que deux cartes piézométriques (4.9) des eaux souterraines de la ville de Béchar ont été établis.

Sur la figure 4.8, l'évolution du niveau piézométrique des eaux souterraines de la ville de Béchar entre Avril 2008 et Avril 2009 permet d'émettre les remarques suivantes :

- Une variation du niveau de 0,5 à 1,6 m ;
- Une augmentation du niveau dans les puits (0,5 à 1,1m) : P20, P11, P8, P22, P3, P2, P1, P4, P8, c'est-à-dire dans la région Sud ;
- Une diminution du niveau dans les puits : P13, P19, P12, P10, P9, P7, P16, situés dans la région Nord ;
- Au centre (P21, P5, P6) le niveau est relativement constant.

L'aspect d'écoulement apparent sur les deux cartes (fig 4.9 A et B) présente les mêmes observations :

- La dépression au Sud (P3) est due à une influence topographique (fig 4.8) ;
- L'oued constitue un axe d'écoulement principal;
- Au Nord, le Quaternaire ancien alimente l'oued, un peu plus bas c'est l'inverse.
- Au centre, l'oued alimente les deux rives droite et gauche ;
- Dans une partie du centre et tous le Sud de la ville, l'écoulement se dirige de l'ENE vers l'WSS, autrement dit : le namurien alimente l'oued, et l'oued à son tour alimente le Westphalien.



**Fig 4.8 Evolution du niveau piézométrique des eaux souterraines de la ville de Béchar (2008 - 2009)**

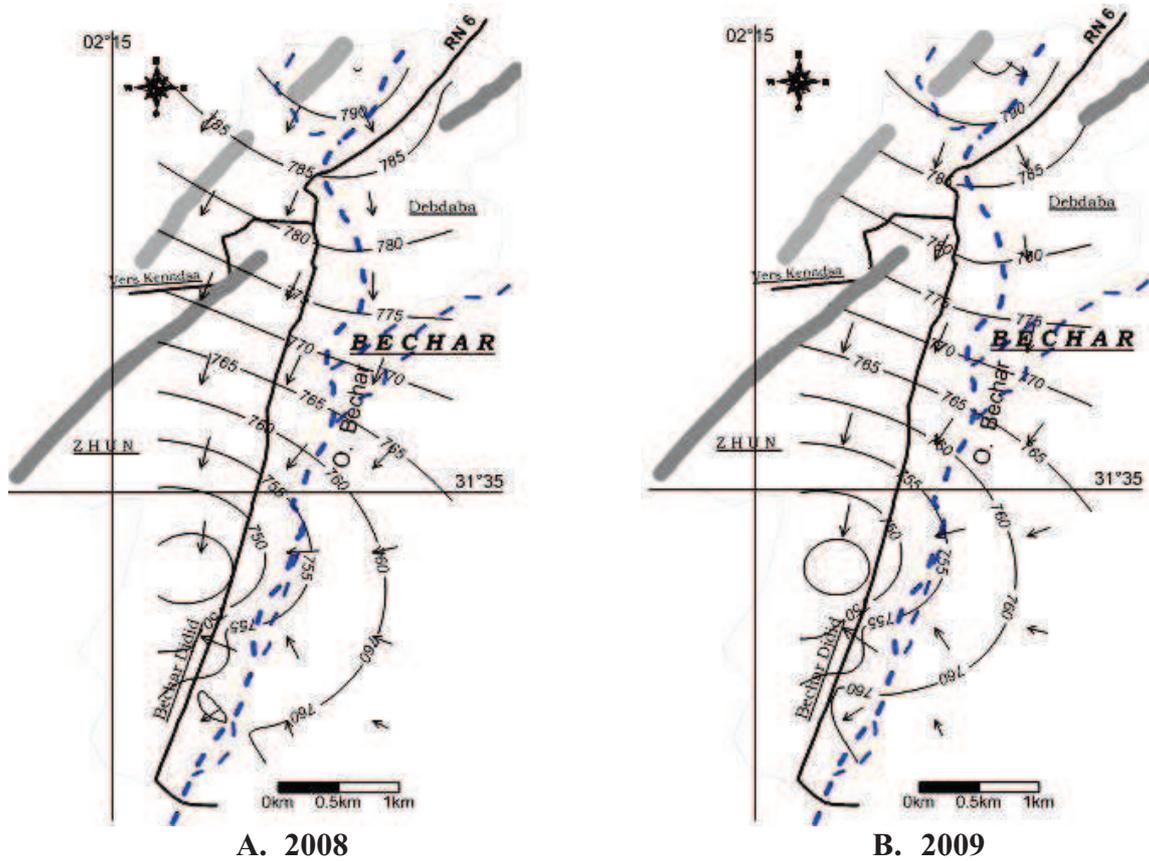


Fig 4.9 Carte piézométrique de la ville de Béchar (2008 et 2009)

#### 4.5.3 Conclusion

L'étude hydrogéologique de la ville de Béchar a permis de déterminer les principales caractéristiques hydrodynamiques du système aquifère en place, et aussi de conclure que :

Le système aquifère est composé de six formations (nappes) nettement individualisées, présentant une intercommunication assez complexe, ou la nappe de l'inferoflux de l'Oued joue un rôle important dans l'hydrodynamisme souterrain, ce qui favorise leur recharge et décharge, et éventuellement le déplacement des différents éléments chimiques.

Cette interconnexion rend aussi tous le système vulnérable à la pollution soit d'origine naturelle, soit d'origine anthropique. Les rejets des eaux domestiques dans l'Oued parviennent naturellement aux eaux souterraines et provoquent une contamination rapide des ces nappes.

## CHAPITRE V

### Évaluation et gestion des ressources hydriques de la ville de Béchar

---

#### 5.1 Introduction

Il apparaît que les problèmes liés à la gestion de l'eau deviennent une préoccupation majeure. Les besoins ne cessent d'augmenter alors que les ressources sont limitées. Ainsi, de nombreuses régions connaissent, dès à présent, des pénuries quantitatives et qualitatives (*Valiron, 1990*).

Au Sahara, les évolutions culturelles et l'explosion démographique du 20<sup>ème</sup> siècle ont cependant engendré de graves conséquences sur le fonctionnement et l'équilibre de cet environnement fragile. Si rien n'est entrepris, la ressource en eau et le milieu naturel risquent de se dégrader, ce qui affectera le développement des êtres humains, de la faune et de la flore. A l'origine des pénuries, on trouve les aléas climatiques, mais également des lacunes dans la gestion et l'exploitation des ressources. Afin d'y remédier, il faut prendre les mesures nécessaires et suffisantes en considérant l'ensemble du système « eau » et ses relations avec les éléments tiers, tels que la disponibilité et la gestion, comme un patrimoine global à sauvegarder pour les générations futures.

Notre zone d'étude connaît divers problèmes d'eau dus à des lacunes de gestion et la méconnaissance des ressources souterraines exploitées.

La ville de Bechar située dans le Sud Ouest algérien, se caractérise par un climat aride à tendance saharienne, avec une température moyenne de 28,80°C et une précipitation moyenne de 72,97 mm, (série 1985-2006). Elle subit comme toutes les villes algériennes, une forte demande en eau, proportionnellement à l'augmentation du nombre de la population, et au taux d'accroissement de 3,6 %, qui est de 192909 hab en 2007, estimée à 348415 hab en 2027 (*Benkadour, 2007*).

L'eau dans le réseau d'AEP (alimentation en eau potable) de la ville de Bechar (737 km), provient principalement du barrage de Djorf Torba (80%), et secondairement de l'aquifère du Turonien de Ouakda (20%), avec des débits, respectivement de 358,72 l/s et 97 l/s.

La ville de Bechar est raccordée avec un taux de 96 %, et une dotation réelle de 139 litre / habitant/ jour, et un taux de satisfaction de 58%, ce qui est très satisfaisant pour une situation pareille.

Le présent travail consiste à dresser un bilan sur la situation des différentes ressources hydriques, dont la ville de Bechar puise son potentiel hydrique, pour subvenir à la demande croissante en AEP (alimentation en eau potable) et AEI (2 400 000 m<sup>3</sup>/an) (alimentation en d'irrigation), et analyser le schéma de la gestion de ces ressources.

#### 5.2 Evolution de la population

La commune de Bechar présente presque 62% de la population totale de la wilaya. En 2007, elle compte environ 192 909 habitants. La population projetée est calculée à la base d'un taux d'accroissement annuel de 3.0%, elle s'élèverait à 348415 habitants en 2027,

(Benkedour, 2007). Cette population est répartie sur plusieurs quartiers avec des proportions variables dans le temps et dans l'espace, liées au développement socioéconomique de la ville, et l'extension par la construction de nouveaux pôles urbanisés vers le Sud (Zhun, Zone Bleu...etc.). Toutefois, le centre ville et le quartier de Debdaba demeurent encore peuplés (Fig 5.1).

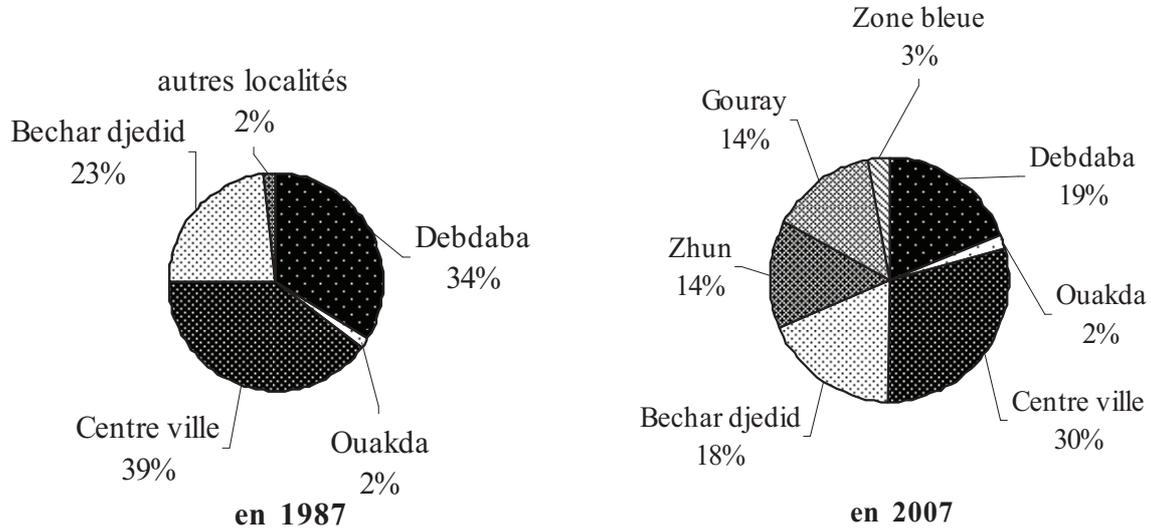


Fig 5.1 Répartition de la population de la ville de Bechar par quartier

## 5.3 Évaluation des ressources hydriques

### 5.3.1 Les ressources

Les ressources hydriques au niveau de la ville sont représentées par :

#### 5.3.1.1 Eaux de surface

- Barrage Djorf Torba : d'une capacité théorique de 360 millions de m<sup>3</sup>, est un ouvrage important, situé à 70 km à l'Ouest de Béchar, réalisé en 1969 dans le cadre du programme de la mise en valeur de la plaine d'Abadla, ([www.anb-dz.com](http://www.anb-dz.com)). En 2005, sa capacité réelle était de 190 millions de m<sup>3</sup>, avec un volume régularisé de 100 hm<sup>3</sup>/an, dont 16 millions de m<sup>3</sup> sont destinés à l'alimentation en eau potable de la ville de Béchar et environ 50 millions de m<sup>3</sup>/an pour l'irrigation du périmètre agricole d'Abadla, ([www.anb-dz.com](http://www.anb-dz.com)).

- Digue de Ouakda : Située au Nord Est de la ville de Bechar, elle a été construite en 1993 sur le cours de l'Oued Bechar, et rénovée en 1995. Sa capacité est de 400.000 m<sup>3</sup>, destinée principalement à l'irrigation des périmètres agricoles de la plaine de Ouakda, (Lefkir, 2005 ; Djelouli, 2003).

### 5.3.1.2 Eaux souterraines

En dehors du système multicouche du Carbonifère, on note l'existence d'autres aquifères qui sont :

- Nappe turonienne de Ouakda : Les calcaires turoniens représentent un aquifère à caractère important par son extension de 2018 km<sup>2</sup>, malgré son épaisseur relativement faible de 25 à 45 mètres, (*Idrotecneco, 1979*).

Le champ de captage de cette nappe se situe au niveau de Ouakda et compte 5 forages (*Hassi 20 ; Ouakda V ; HycobarIII ; OuakdaII ; Ouakda III*), produisant un débit total de 97 l/s en 2005 (*Benkadour, 2007 ; Benoudjafar, 2003*).

- Nappe du Quaternaire de Ouakda : Par sa lithologie le Quaternaire renferme une nappe, alimentée par son impluvium et par l'Oued Bechar. Elle est actuellement exploitée par 211 points d'eau dont 186 puits et 25 forages. Le volume d'eau extrait de cette nappe est de 784.574,08 m<sup>3</sup>/an (un débit de 24,85l/s en 2007), (*Benkadour, 2007 ; Benoudjafar, 2003*).

- Nappe jurassique de Mougheul : Le champ captant de Mougheul, situé au Nord à 70 km de la ville de Bechar, est formé de quatre forages de profondeur variant entre 45 à 95 m. Ces forages, implantés dans le Jurassique, produisent un débit d'exploitation de 75 l/s, (*DHWB, 2004*).

On note que le barrage de Djorf Torba assure un rôle prépondérant dans l'alimentation en eau potable de la ville de Bechar (fig 5.2). Le barrage fournit deux à quatre fois le volume exploité d'Ouakda, pour atteindre les 80% en 2007.

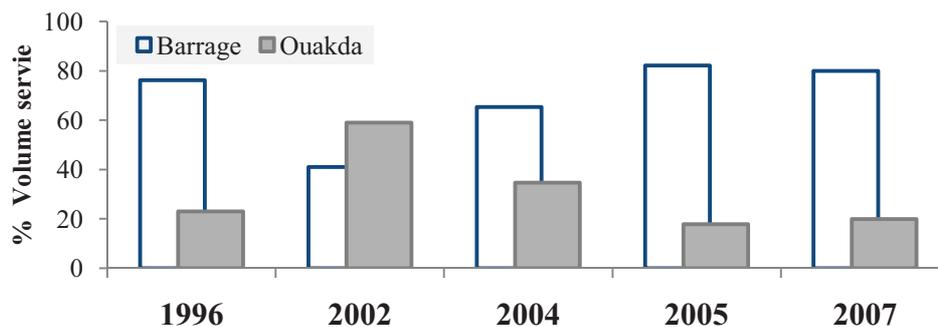


Fig 5.2 Évolution du pourcentage du volume servie des deux ressources de la ville de Bechar.

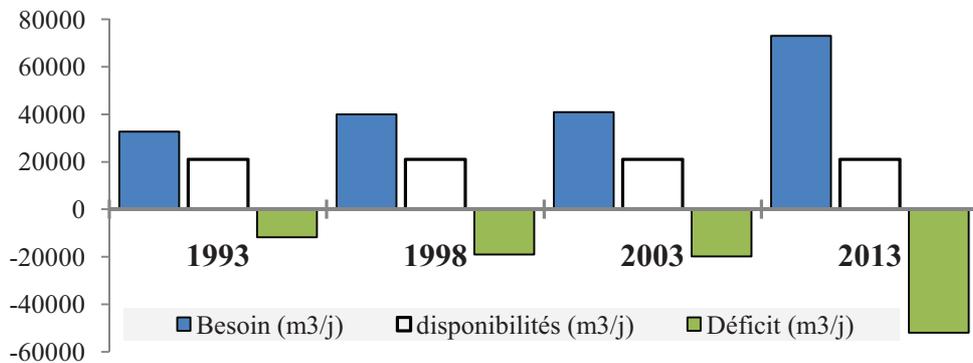
### 5.3.2 Les besoins

Les besoins sont fonction de la population (tab 5.1, fig 5.3). Ils sont estimés sur la base d'une dotation de 240 l/h/j, desservie 10h/24h. Le tableau 2 regroupe les besoins et les disponibilités (considérées comme constantes), ainsi que les déficits en eau. Par conséquent,

l'augmentation des déficits et la diminution des débits de consommation fournis engendrent la réduction du taux de satisfaction (DHWB, 2004).

**Tab 5.1 :** Evolution des besoins en fonction des disponibilités et du déficit

Années	Besoin (m3/j)	disponibilités (m3/j)	Déficit (m3/j)	Débit de Consommation (L/h /j)
1993	32724	21000	-11724	154
1998	39986	21000	-18986	126
2003	40860	21000	-19860	103
2013	72954	21000	-51954	69



**Fig 5.3** Évolution des disponibilités, besoins et déficit.

#### 5.4 Schéma d'évaluation et de gestion des ressources en eau

Il synthétise l'état de connaissances des ressources et leur gestion au niveau de la ville de Bechar (fig 5.4), il se résume en :

- Les ressources de la ville de Bechar, en l'occurrence le barrage Djorf Torba et l'aquifère de Ouakda, ne peuvent plus satisfaire l'AEP. L'aquifère de Mougheul, caractérisé par un débit de 73 l/s, représente une perspective en réalisation pour remédier au problème du déficit.

- La gestion est assurée par des structures étatiques à savoir : le barrage par l'ANBT, l'AEP par l'algérienne des eaux, l'assainissement par l'office national d'assainissement. Les eaux usées sont rejetées dans l'Oued Bechar (428,67 l/s). (DHWB, 2002).

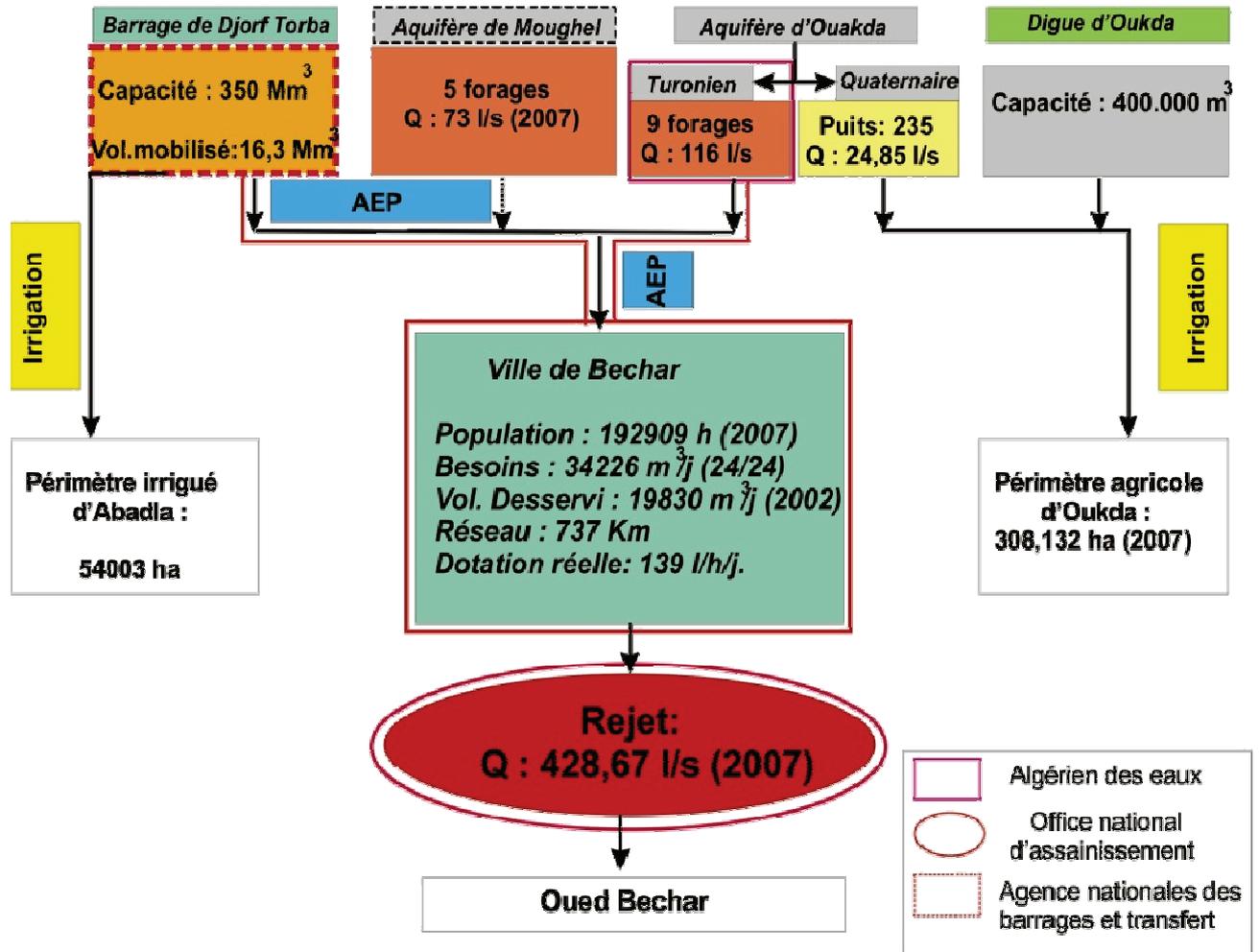


Fig 5.4 : Ressources et gestion des eaux de la ville de Bechar (2007)

## 5.5 Les contraintes

1. Les ressources en eau souterraines et superficielles demeurent limitées.
2. Le climat : été chaud prolongé sur cinq mois (du 01 juin au 30 octobre) avec une température qui atteint 43°C, et un hiver froid et sec. Cette situation engendre une augmentation de la consommation en eau.
3. Nous remarquons sur la figure 5.5 que les valeurs de l'évaporation du barrage de Djorf El Torba (Bechar) sont les plus élevées de l'Algérie, compte tenu de la situation géographique de l'ouvrage (zone saharienne). Le volume évaporé dépasse même la quantité d'eau destinée à l'AEP et à l'irrigation durant la période 1992- 2002, (Remini, 2005).

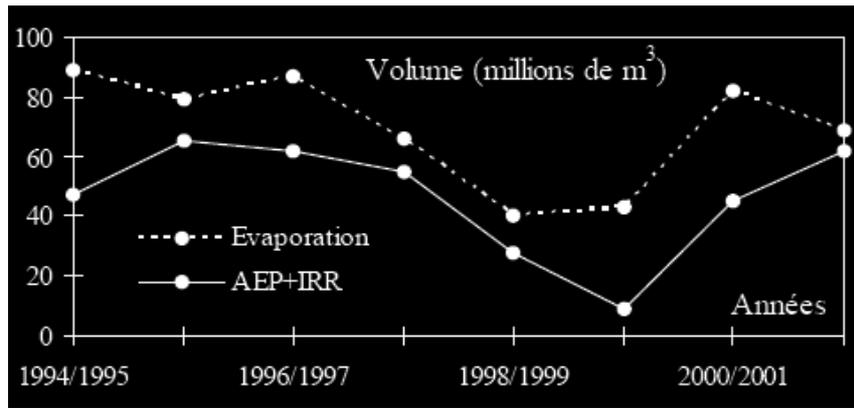


Fig 5.5 Evolution de l'évaporation dans le barrage Djorf Torba. (Remini, 2005).

4. La population : elle augmente de manière continue (taux d'accroissement 3%), (Ettabet, 2005), en raison principalement de l'exode rural.

5. Absence d'inventaires exacts du potentiel hydrique des aquifères exploités.

6. Tendance au stockage par les consommateurs.

7. Le retard dans le règlement des redevances de la consommation par les clients (pour améliorer le service et les infrastructures).

8. Les fuites et les pertes au niveau du réseau, estimées à 10% des volumes desservis, (URBAT, 1999) (vieillessement du réseau, mauvaise connexion).

9. La variabilité du volume mobilisé au niveau du Barrage Djorf Torba est fonction de plusieurs facteurs, principalement la quantité de précipitation qui varie dans le temps.

10. Etat du Barrage et problème d'envasement, estimé à 30% en 2007, ([www.anb-dz.com](http://www.anb-dz.com)).

11. Mutation dans l'utilisation d'eau par la population (développement de l'urbanisme : taches de manages).

12. Protection quantitative (surexploitation) et qualitatives (pollution) des ressources.

13. La progression de la superficie agricole de la plaine de Ouakda qui passe de 200 Ha en 1991 à 281 Ha en 2007 (Benkadour, 2007).

Cette extension alourdit les besoins en eau d'irrigation (augmentation de l'exploitation des eaux souterraines).

## 5.6 Conséquences

1. Augmentation continue des besoins en eau à satisfaire avec des ressources constantes (tendance à la surexploitation).

2. Diminution de la dotation réelle.

3. Diminution du temps de distribution.

4. Diminution du taux de satisfaction.

5. Tendance au stockage par les consommateurs. A titre indicatif, en 1993 le nombre de logements était de 4858 à raison de 6 personnes par logement (DHWB, 2002). Chaque logement est doté d'une citerne de 1000 litres en moyenne, ce qui engendre un volume stocké de 4858000 litres.

6. L'abandon des eaux usées sans traitement constitue un gaspillage et une menace directe des eaux souterraines de l'inféoflux et du Carbonifère.

## 5.7 Résultats et discussion

La gestion actuelle de l'eau potable pour la ville de Bechar a été exposée en se basant sur les différents documents établis par la DHWB, AE, ANRH, URBAT, IDROTECNECO...etc. Les problèmes rencontrés tout au long de ce travail étaient de caractères humain et technique d'un côté et la non exhaustivité des données qui n'a pas permis d'atteindre certains objectifs. On constate par exemple que pour la même année, les données, au niveau des différentes structures de gestion de l'eau, sont différentes.

*Cheelan* en 1954 (in *Idrotecneco*, 1979), après un essai de pompage au niveau du champ captant de Ouakda avec un débit de 65,5 l/s, a constaté que la nappe s'est rabattue de plus de 4m, et il a conclu que le débit d'exploitation ne devrait en aucun cas dépasser les 52,08 l/s en été. Cette hypothèse a été confirmée par *Guerre* (1979) et par l'étude hydrogéologique réalisée par *Idrotecneco* qui affirme que les prélèvements ne devraient pas dépasser un débit de 70 l/s en moyenne. Mais cette consigne n'est pas respectée, car le débit atteint les 115 l/s en certaines périodes de l'année (*Lefkir*, 2005).

La gestion durable de l'eau peut être atteinte, d'une part, à l'aide d'une intégration horizontale entre l'offre et les besoins et d'une intégration verticale entre les différentes échelles de gestion et à l'aide d'une prise de conscience des différents acteurs d'autre part (gestion patrimoniale). Ainsi, une meilleure connaissance des ressources exploitées est essentielle. Les nombreux paramètres qu'il faut prendre en considération nécessitent la collecte d'énormes volumes de données qui seront échangées à de multiples reprises, en raison des différents niveaux (Structures) impliqués localement dans la gestion de l'eau. Des outils spécifiques répondant à ces besoins sont nécessaires. L'utilisation des SIG est devenue une nécessité absolue, car ils permettent entre autres de digitaliser, stocker, analyser, gérer, représenter, rechercher et modéliser des données. Leurs fonctionnalités peuvent être adaptées en fonction des besoins des utilisateurs et contribuent à améliorer l'état des connaissances afin de favoriser la prise de bonnes décisions.

La dotation journalière réelle assurée en été est de 90 l/h/j et en hiver elle est de 120 à 139 l/h/j, avec un rythme d'un jour sur deux à trois et une durée moyenne de 6 heures/ jour (*DHWB*, 2002). L'apport du champ captant de Mougheul (75 l/s) (*DHWB*, 2004) devrait soulager l'exploitation des eaux de Ouakda, à condition de respecter l'équilibre du bilan hydrique de la nappe.

## 5.8 Conclusion et recommandations

Comme bilan, nous pouvons dire que l'alimentation en eau potable de la ville de Bechar a subi plusieurs mutations qui sont fonction principalement de l'équilibre entre les ressources disponibles et les besoins, et secondairement du climat et de la population, face à ce bilan, on se doit d'émettre certaines recommandations:

1. Approfondir l'état de connaissances sur les ressources en eau et élaborer un document technique fondamental, permettant d'arriver à une gestion intégrée de ces ressources (SIG).

2. Une étude démographique poussée à l'échelle des zones de consommation pourrait être nécessaire afin de comprendre l'évolution de la consommation en eau et mieux l'anticiper.

3. Donner une priorité à l'organisation et à la concertation entre les différentes structures locales impliquées dans la gestion de l'eau, afin d'aboutir à une véritable gestion patrimoniale et partagée de la ressource en eau.

4. Etablir un programme incluant des mesures pour améliorer la gestion quantitative.

5. Améliorer les équipements de prélèvement, de distribution et leur utilisation.

6. Maintenir l'équilibre entre les prélèvements et leur renouvellement pour toutes les ressources (éviter la surexploitation).

7. Obligation de recycler les eaux usées et les utilisées à des fins d'irrigation (arrosage des espaces verts).

8. Limiter les constructions (l'urbanisme) en zone de périmètre de protection des ressources.

9. Mener des campagnes de sensibilisation pour les structures professionnelles et pour le grand public.

## **PARTIE II :**

### **Résultats et discussion**

#### **Hydrochimie des eaux souterraines de la ville de Bechar et impact des rejets urbains sur l'environnement et sur la santé publique**

## CHAPITRE I

### Hydrochimie des eaux souterraines de la ville de Bechar

---

#### 1. Evolution de la qualité des eaux souterraines

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...etc.). Dans la ville de Bechar, la chimie des eaux souterraines est influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques et les eaux de l'oued (rejets ou eau de précipitation). Et, en raison de l'utilisation multiple de ces eaux, cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel de la chimie des eaux, son évolution dans le temps et dans l'espace.

Des campagnes d'échantillonnage ont été réalisées durant les mois de Avril de 2007, 2008, 2009 et 2010, pour identifier la physico-chimie de ces eaux. Cette caractérisation est effectuée par une analyse graphique et cartographique des paramètres physiques et chimiques.

Une analyse des paramètres physiques (pH, CE, Eh, O<sub>2</sub>) et des éléments chimiques a été effectuée pour les éléments majeurs (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), le cycle de l'azote (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), les éléments mineurs en traces (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) et les éléments métalliques en traces (Mn<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>).

Les résultats ont montré une grande variation des concentrations des éléments chimiques. Ces dernières dépassent les normes de potabilité dans certains cas.

Afin de bien montrer et comprendre ces variations, trois représentations des données ont été réalisées :

- Une statistique, présentant les valeurs maximales, moyennes, minimales et les écarts types ;
- Une graphique, présentant la variation spatiotemporelle de ces concentrations au niveau de la ville. Les graphes ont été réalisés suivant une direction Nord Sud, sur l'axe de l'oued, afin de mieux analyser cette variation.
- Et une cartographie, pour évaluer la variabilité de la contribution anthropique dans le chimisme des eaux souterraines de la ville.

#### 1.1 Matériels et Méthodes d'analyse

On prélève dans des flacons un volume de 1,5 l, destiné aux analyses physicochimiques, entre 14 et 18 puits noté ( $P_i$ ) (fig 1.1), ainsi que six points de rejets d'eaux usées notés ( $R_i$ ), ont été sélectionnés.

Les paramètres physiques (pH, CE, Eh, O<sub>2</sub>) ont été mesurés *in situ* au moyen d'un multi paramètre (Consort 861). Au laboratoire, Les méthodes et le matériel (tab 1.1) de dosage (Rodier, 1996) utilisées sont les suivants :

- Les teneurs en calcium et magnésium des échantillons sont déterminées par (volumétrie) titrage complexométrique, avec le sel disodique de l'acide éthylène-diaminetétracétique (EDTA) NFT90-003 ;
- la spectrophotométrie d'absorption moléculaire a été utilisée pour le dosage des sulfates, nitrates, et nitrites.
- la spectrophotométrie à flamme pour la détermination de la teneur du sodium et du potassium;
- Méthodes d'incorporation en gélose pour la recherche et dénombrement des germes.

**Tab 1.1 Appareillages utilisés**

Paramètres	Types d'appareils
Conductivité (m.S/cm), Salinité, TDS et pH	Conductimètre CONSORT 861, Multiparamètre WTW197i
Ammonium	Multi paramètre de paillasse HI83200
Sodium et Potassium	Spectrophotomètre à flamme JENWA CLINICALPFP7
Sulfates, Nitrate et Nitrites	Spectrophotomètre UV-Visible type: (Helios)

**Tab 1.2 Statistiques descriptives du chimisme des eaux souterraines de la ville de Bechar (2007/2008/2009/2010)**

	N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.
<b>pH</b>	58	7,75	6,95	8,24	0,33
<b>CE</b>	58	3,28	1,01	8,47	1,60
<b>Eh</b>	45	- 41,33	-80,00	2,00	19,88
<b>O<sub>2</sub></b>	45	3,30	0,34	6,89	1,70
<b>Ca</b>	45	132,17	28,00	364,73	74,53
<b>Mg</b>	45	120,63	21,60	332,66	81,30
<b>Na</b>	50	235,58	31,51	439,29	132,69
<b>K</b>	47	5,84	2,18	13,14	2,53
<b>Cl</b>	32	640,00	71,00	1597,50	388,28
<b>SO<sub>4</sub></b>	45	470,68	51,51	1286,59	260,53
<b>HCO<sub>3</sub></b>	57	353,01	120,00	689,50	136,26
<b>NO<sub>3</sub></b>	45	61,38	9,75	261,09	62,30
<b>NO<sub>2</sub></b>	45	1,19	0,00	8,00	2,22
<b>NH<sub>4</sub></b>	14	0,68	0,20	4,40	1,17

Le résumé des résultats des analyses chimiques de l'eau souterraine de la ville de Bechar, en fonction d'une statistique descriptive (tab 1.1), permet d'avoir un premier aperçu sur l'état de sa qualité. On remarque que pour les valeurs moyennes il y a une nette dominance des éléments Cl, SO<sub>4</sub>, Na, HCO<sub>3</sub> sur les autres paramètres. Les détails sur chaque élément seront décrits individuellement dans les paragraphes qui suivent.

## 1.2 Paramètres physiques

Il s'agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination de l'état chimique de l'eau.

### 1.2.1 Conductivités électriques (CE)

Elle est liée à la présence des espèces ioniques en solution. Les valeurs sont mesurées par rapport à une température standard de 25°C. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 1.2 et 1.3 qui montrent que :

- La conductivité présente une forte valeur moyenne (3280  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), qui dépasse la norme recommandée pour les eaux d'alimentation en eau potable (AEP), ainsi que des valeurs extrêmes de 1010 et 8470  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .
- La carte de la répartition spatiale de la CE des eaux souterraines de la ville de Bechar (2010) (fig 1.2) illustre trois zones bien distinctes : la première de 1 à 2,5 mS/cm (de couleur verte) observée au Nord et au centre. Ces valeurs sont influencées par l'alimentation directe de l'impluvium ; la deuxième avec une CE de 2,5 à 4 mS/cm, relativement forte (de couleur jaune claire) située au niveau des quartiers de Debdaba et Bechar Djedid. Elle est influencée par les apports des rejets urbains des deux quartiers. Enfin, la troisième zone de CE supérieure à 4 mS/cm, localisée, en majeure partie, au Sud et est directement en contact avec les eaux de l'Oued.

Le graphe de la figure 1.3 expose la variation de la conductivité électrique des eaux souterraines de la ville de Bechar, sur un axe Nord Sud, et permet de remarquer que :

Le puits P18, situé au Sud, présente la valeur la plus forte en 2009 (8.47 mS/cm) et 2010 (6.33 mS/cm).

Les valeurs moyennes de la CE sont classées par ordre croissant comme suit : 2007, 2010, 2009, 2008, qui est principalement lié à l'ordre de l'année la moins pluvieuse.

Les valeurs sont relativement faibles au Nord, moyennes au centre et fortes au Sud.

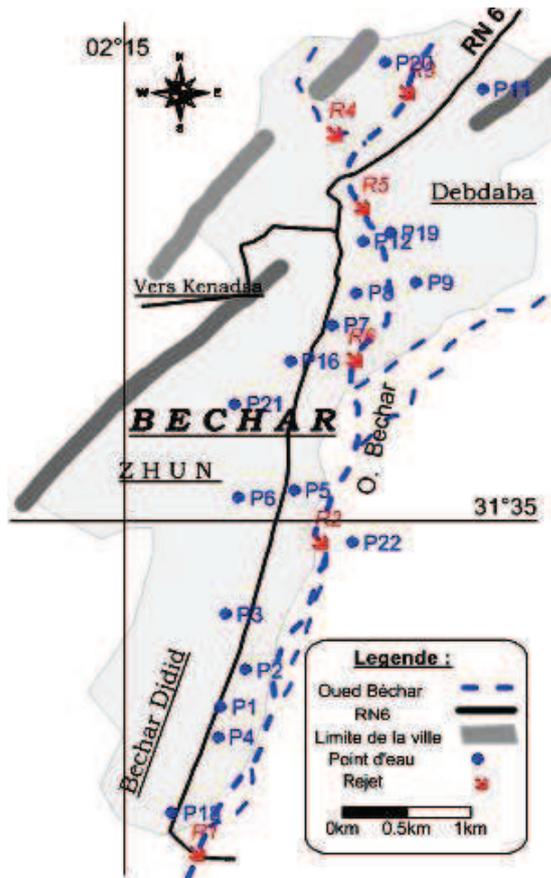


Fig 1.1 Carte de l'inventaire des points d'échantillonnage (puits et rejets) au niveau de la ville de Béchar

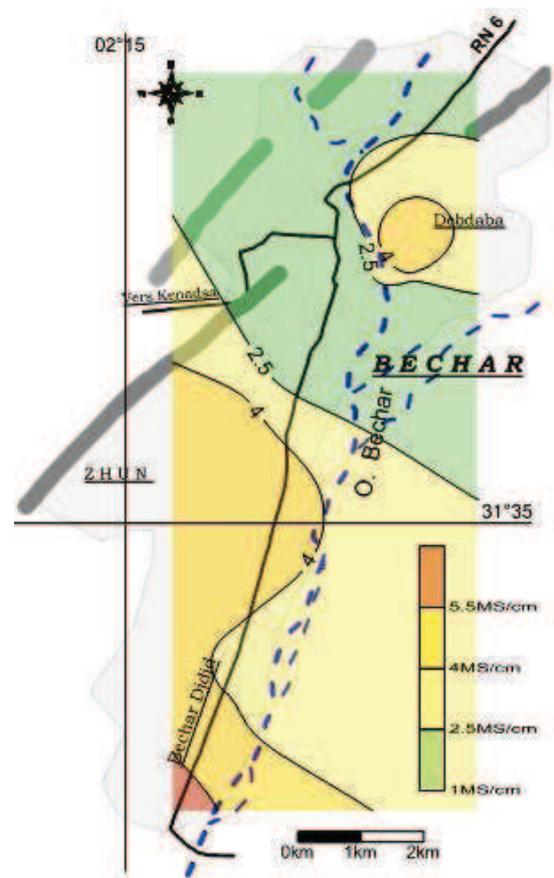


Fig 1.2 Carte de la répartition spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines de la ville de Bechar (2010)

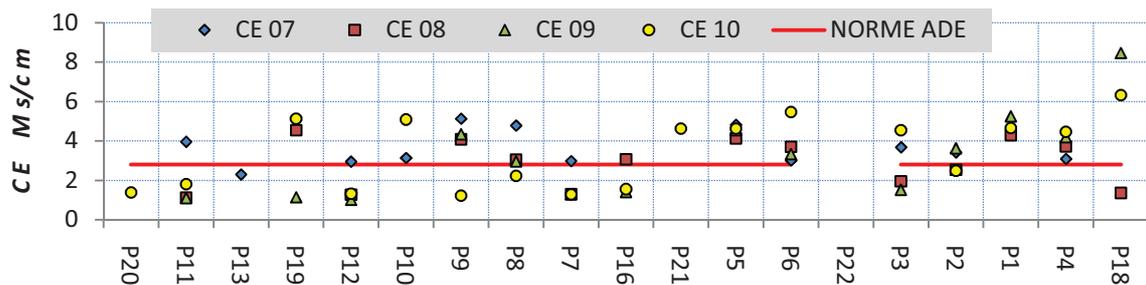


Fig 1.3 Variation de la conductivité électrique (CE)  
Légende : CE 07 : conductivité électrique 2007

### 1.2.2 Potentiel d'Hydrogène (pH)

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques dans les diagrammes Eh-pH (Debieche, 2002). Les mesures du pH montrent (fig 1.4) :

Une variation des valeurs de 6.95 à 8.24, avec une moyenne de 7,75 ;

La valeur la plus forte est au niveau du P12 (2007), sa distance du rejet et sa relation souterraine favorise cette influence.

Les valeurs du pH au nord sont plus faibles par rapport à celles du Sud, celles du centre sont relativement moyennes.

La valeur moyenne du pH de 2007 est plus élevée que celle des autres années (2008, 2009, 2010)

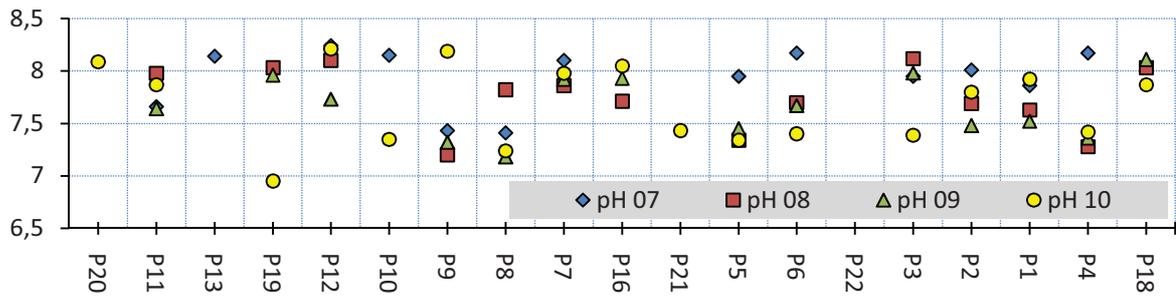


Fig 1.4 Variation du Potentiel d'Hydrogène (pH)

### 1.2.3 Potentiel d'oxydoréduction (Eh)

Ce paramètre nous permet de prévoir l'état des ions chimiques dans l'eau et la direction des réactions chimiques (oxydation ou réduction) (Debieche, 2002). Les résultats des mesures présentent (fig 1.5) les variations du Eh (en mV) des eaux souterraines de la ville de Bechar (2008, 2009, 2010) ou on constate que:

Le potentiel d'oxydoréduction varie entre -80 et 2 mV avec une moyenne de -41 mV. La répartition spatiale du Eh dans la ville se traduit par des valeurs fortes au Nord, milieu oxydant (P10, P19), due à la présence d'alluvions, au Sud, milieu réducteur (P3, P4, P1, P2), par contre elles sont relativement faible au centre de la ville (P7, P16).

La distribution dans le temps montre que la valeur moyenne de 2008 est supérieure à celles de 2009 et 2010.

La comparaison entre les données montre que là où la moyenne est supérieure à la valeur naturelle, indiquant un caractère plus oxydant. Par contre dans les eaux qui ont la moyenne inférieure à la valeur naturelle indique un milieu plus réduit (Debieche, 2002).

La variation du potentiel d'oxydoréduction est très liée à l'effet des pluies, les valeurs sont élevées pendant l'année pluvieuse et basses pendant l'année sèche.

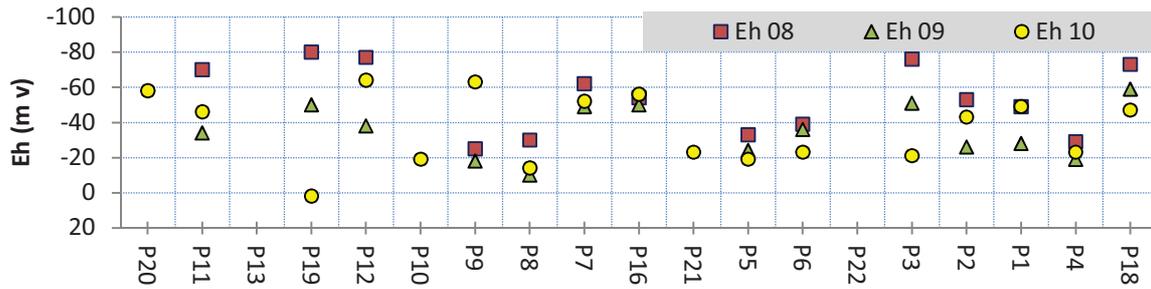


Fig 1.5 Variation du Potentiel d'oxydoréduction (Eh)

### 1.2.4 Oxygène dissous (O<sub>2</sub>)

La quantité d'oxygène en solution dans une eau régit les réactions d'oxydoréduction et présente une évolution identique à celle du Eh.

Les teneurs observées ont un maximum de 6.89 mg/l, et une moyenne de 3,30 mg/l, qui est proche de la valeur naturelle (3 mg/l) (Debieche, 2002), indiquant un état naturel des eaux. Les valeurs les plus basses sont de l'ordre de 0,34 mg/l, cela est dû à l'effet des rejets qui font diminuer les teneurs en O<sub>2</sub>.

Par contre, dans les alluvions, les teneurs sont importantes dans les endroits où l'aquifère est constitué par des formations perméables. A l'inverse dans les endroits où il y a une couverture protectrice (géologique), on observe une diminution des teneurs en oxygène.

Les points de mesure (fig 1.6) en 2008 présentent une eau plus oxygénée (moyenne = 5.33 mg/l) est nettement plus importante que celle des autres années 2009 (3,28 mg/l) et 2010 (1,64 mg/l). Cette variation est aussi fonction de l'alimentation de ces puits par l'apport de l'inferoflux, soit par les eaux de crue ou les eaux des rejets.

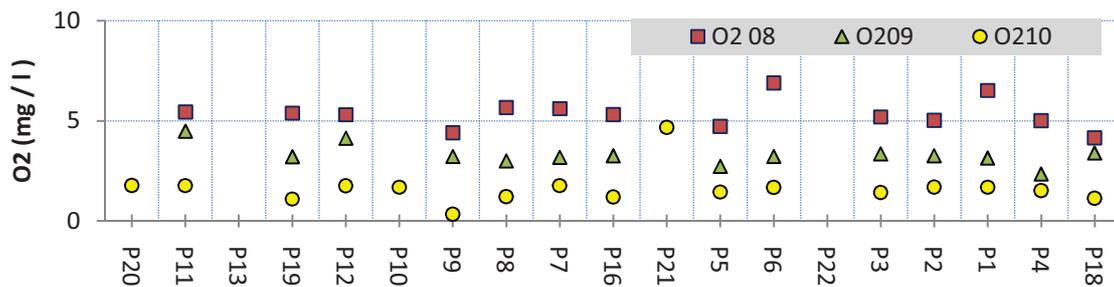


Fig 1.6 Variation de l'Oxygène dissous (O<sub>2</sub>)

## 1.3 Les paramètres chimiques (éléments majeurs)

### 1.3.1 Calcium (Ca<sup>2+</sup>)

La présence des ions Ca<sup>2+</sup> dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles (BRGM, 2006) : Soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO<sub>3</sub>), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO<sub>4</sub>).



Les résultats montrent un minimum de 28 mg/l, un maximum de 364,73 mg/l et une moyenne de 132,17 mg/l. La valeur moyenne augmente de 72,27 mg/l en 2007, puis 145.00 mg/l en 2008, et enfin à 165,44 mg/l en 2010, cette variation est en étroite relation avec la présence d'eau chargée en minéraux.

La figure 1.6 permet de décrire le comportement spatiale du Ca au niveau de la ville, où on observe des concentrations fortes au centre (P16, P21, P5, P6), moins fortes au Sud (P22, P3, P2 - 18) et faible au Nord (P7 - 20), à l'exception des puits P10 et P19.

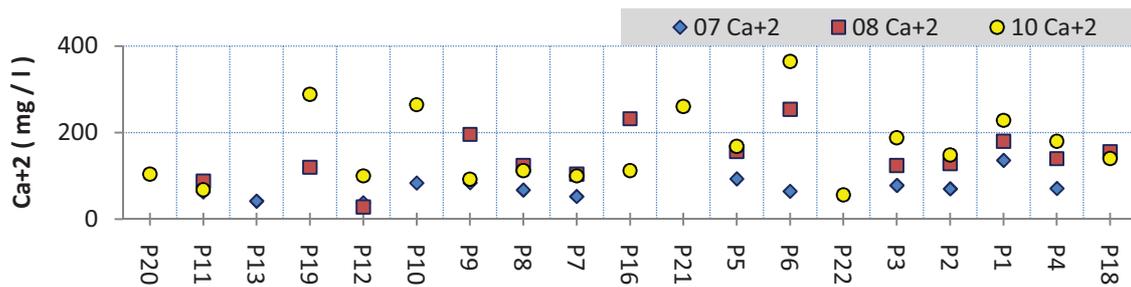
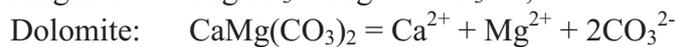


Fig 1.7 Variation du Ca<sup>2+</sup>

### 1.3.2 Magnésium (Mg<sup>2+</sup>)

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite). (Debieche, 2002)



Les teneurs en Mg varient de 31,51 à 439,29 mg/l, et ont une moyenne de 235,58 mg/l.

L'évolution des teneurs est identique à celle du calcium (fig 1.8), les teneurs les plus élevées sont observées au centre de la ville et les plus faibles au Nord.

La valeur moyenne de 2007 (155,32 mg/l) est la plus forte par rapport aux autres années, 2008 (100,54 mg/l) et 2010 (111,20 mg/l).

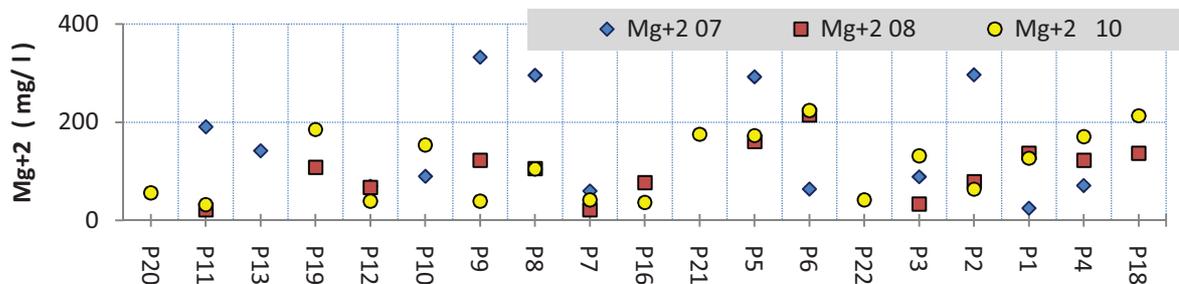


Fig 1.8 Variation de Mg<sup>2+</sup>

### 1.3.3 Sodium ( $\text{Na}^+$ )

Les teneurs en sodium présentent une variation entre 31,54 et 439,29 mg/l et une moyenne de 235,58 mg/l ; traduisant l'existence de forts apports salifères à partir des formations évaporitiques.

La figure 1.9 montre que, les teneurs observées en 2008 sont nettement plus faibles (moyenne = 52.91 mg/l) que celles de 2009 (moyenne = 317.54 mg/l) et 2010 (moyenne = 295.69 mg/l). La répartition spatiale est presque homogène durant toute l'année.

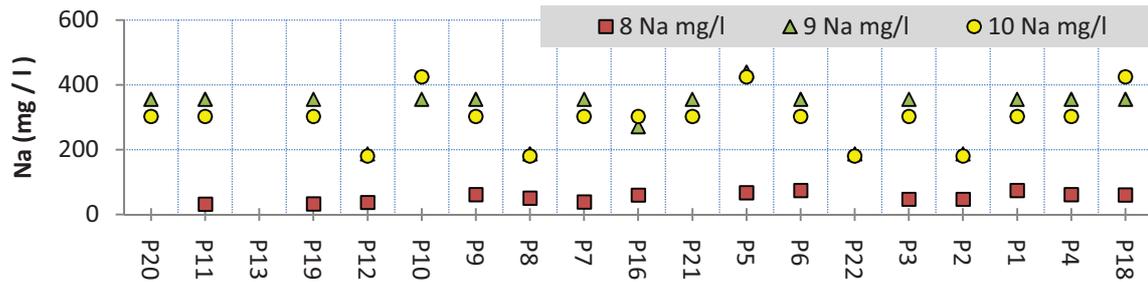


Fig 1.9 Variation de  $\text{Na}^+$

### 1.3.4 Potassium ( $\text{K}^+$ )

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) (Debieche, 2002).

Les teneurs oscillent entre 2,18 et 13,14 mg/l, alors que la moyenne est de 5,84 mg/l, pour l'ensemble des valeurs.

Les valeurs les plus élevées sont observées au centre de la ville (P8, P7, P16), les moins fortes au Sud (du P5 au P18) et les plus faibles au Nord (du P9 au P20) (fig 1.10).

La comparaison des valeurs moyennes de chaque année donne l'ordre suivant : 2009 avec 6,96 mg/l, 2010 (5,69 mg/l) et enfin 2008 avec 4,84 mg/l.

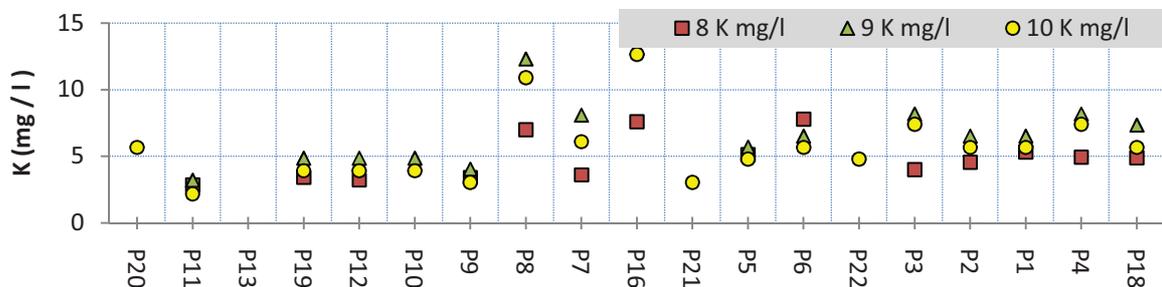


Fig 1.10 Variation de  $\text{K}^+$

### 1.3.5 Chlorure (Cl)

L'origine de ces éléments est liée principalement à la dissolution des formations salifères. La dissolution des minéraux salifères se fait selon la relation suivante :  $\text{NaCl} = \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$

Les teneurs naturelles en chlorures présentent des valeurs plus importantes que celles du sodium, à cause des caractéristiques particulières de cet élément qui ne rentre pas dans les phénomènes de précipitation chimique, ne s'adsorbe pas par les formations géologiques et qui est très mobile (Debieche, 2002).

Les teneurs en chlore varient de 71 à 1597,50 mg/l, et une moyenne de 640 mg/l, pour l'ensemble des observations. Les valeurs des concentrations en 2008 (moyenne = 595 mg/l) sont inférieures à celles de 2010 (675 mg/l).

La figure 1.11 expose la répartition des concentrations en chlorure dans les eaux souterraines de la ville de Béchar, et permet d'en déduire :

Les valeurs les plus fortes sont localisées au Sud, à l'exception du puits P22, celles plus faibles sont au Nord, excepté les P9 (2008), P10 et P19 (2010).

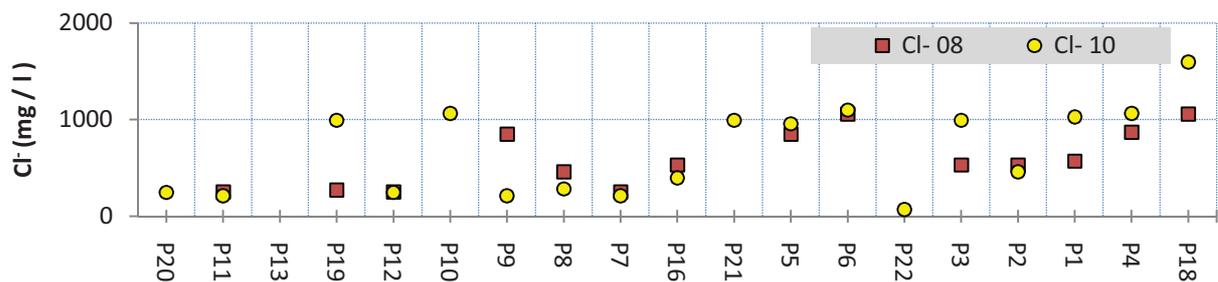


Fig 1.11 Variation du Cl

### 1.3.6 Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

La présence des ions sulfate dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses selon la relation :  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$  ; (Debieche, 2002)

Les valeurs de l'ion SO<sub>4</sub> dans les eaux souterraines de Béchar varient entre 51,51 et 1286,59 mg/l. La moyenne est de 470,68 mg/l, l'écart type est de 260,53 mg/l exprime une variation spatiotemporelle assez importante.

Les concentrations observées (Fig 1.12) indiquent la localisation des valeurs faibles au Nord (du P21 au P20) et les fortes valeurs au Sud (du P5 au P18).

La variation des moyennes des teneurs en sulfates dans le temps décrit l'ordre suivant : 2009 (523,78 mg/l), 2008 (474,52 mg/l) et enfin 2010 (429,34 mg/l).

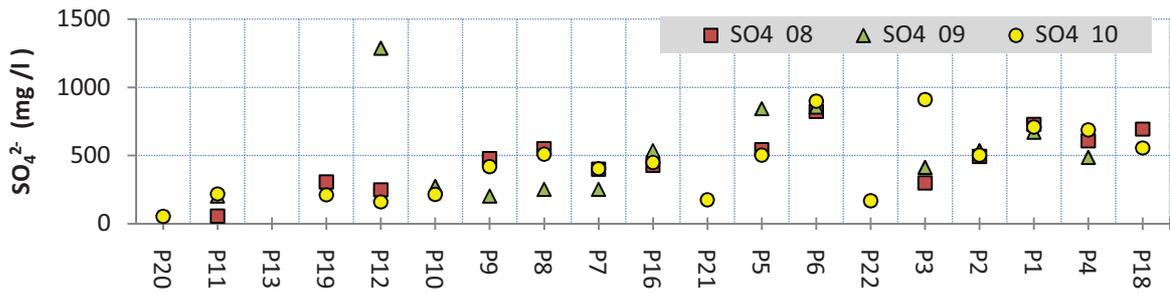


Fig 1.12 Variation du SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

### 1.3.7 Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :  $\text{CaCO}_3 (\text{S}) + \text{H}_2\text{O} (\text{L}) + \text{CO}_2 (\text{g}) = 2\text{HCO}_3^{2-} + \text{Ca}^{2+} (\text{aq.})$  (Debeiche, 2002).

Les tenures en HCO<sub>3</sub> varient de 120 à 689,5 mg/l (P19 en 2010), et une moyenne de 353,01 mg/l, la représentation des résultats des quartes campagnes suit presque la même répartition spatiale, où les valeurs faibles sont au centre (P7, P16) et à l'extrême Nord (P20, P11) et les valeurs fortes sont localisées au Sud de la ville (du P21 au P18).

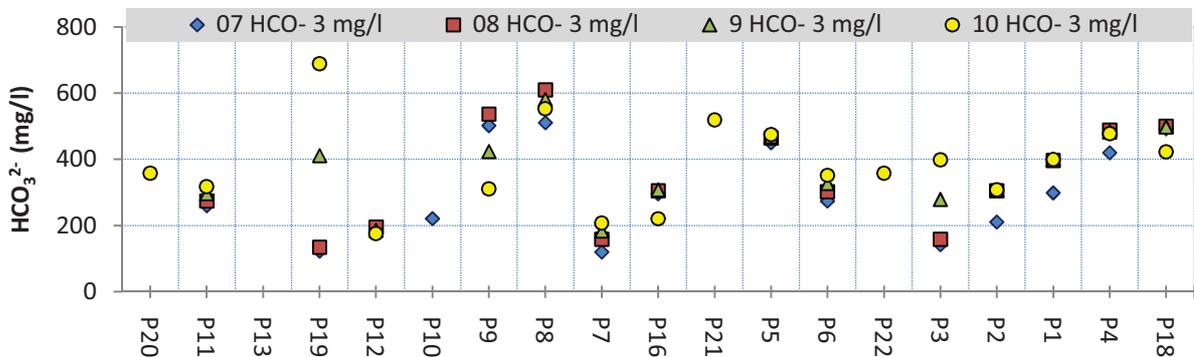


Fig 1.13 Variation du HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>

### 1.3.8 Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) et ammonium NH<sub>4</sub>

L'azote est présent au niveau de la plaine sous trois formes chimiques (nitrate, nitrite et l'ammonium). Les valeurs représentées dans la figure 1.14 sont significatives.

#### 1- Les nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,

Représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée au contact direct avec les eaux usées. Les concentrations varient entre 9,75 et 261,09 mg/l, la moyenne est de 61,38 mg/l. Les teneurs maximales sont

observées au Sud, sauf pour le P3, par contre au Nord, les concentrations sont moins élevées, à l'exception du P8 (2008, 2010), P9 (2009) et P10, P19 (2010).

Les concentrations moyennes sont de 100,99 mg/l (2010), 45,44 mg/l (2008) et de 23,71 mg/l (2007).

## 2- Les nitrites $NO_2^-$ ou azote nitreux,

Représentent une forme moins oxygénée et moins stable, elle représente la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique (Debieche, 2002). Les teneurs sont comprises entre 0 et 8 mg/l, avec une moyenne de 1.19 mg/l. Les valeurs élevées ( $> 0,9$  mg/l) sont dues à l'effet de l'oxydation de la forme ammonium. Par contre les teneurs les moins importantes ( $< 0,1$  mg/l) sont liées à la réduction de la forme du nitrate.

Dans l'ensemble, les eaux souterraines de la ville présentent une répartition assez homogène du  $NO_2^-$ . Les valeurs des concentrations sont élevées ( $>1$  mg/l) en 2008, et faibles ( $< 0,2$  mg/l) en 2007 et 2010.

## 3- L'ammonium ( $NH_4^+$ )

Est la forme d'azote la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains et industriels, soit à la réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en conditions réduites. (Debieche, 2002). Ce phénomène est observé au niveau de la partie amont où les concentrations atteignent 4,4 et 2,0 mg/l, respectivement pour P19 et P5 (2008).

Les concentrations observées en 2008 dans l'ensemble sont entre 0,2 et 4,4 mg/l, et la moyenne est de 0,68 mg/l.

Le transfert de la forme ammonium vers les nitrites et les nitrates se fait par oxydation, cette réaction est rapide en présence de l'oxygène. La forte teneur en  $CO_2$  et la faible teneur en oxygène accroissent la concentration en ammonium dans l'eau (Debieche, 2002).

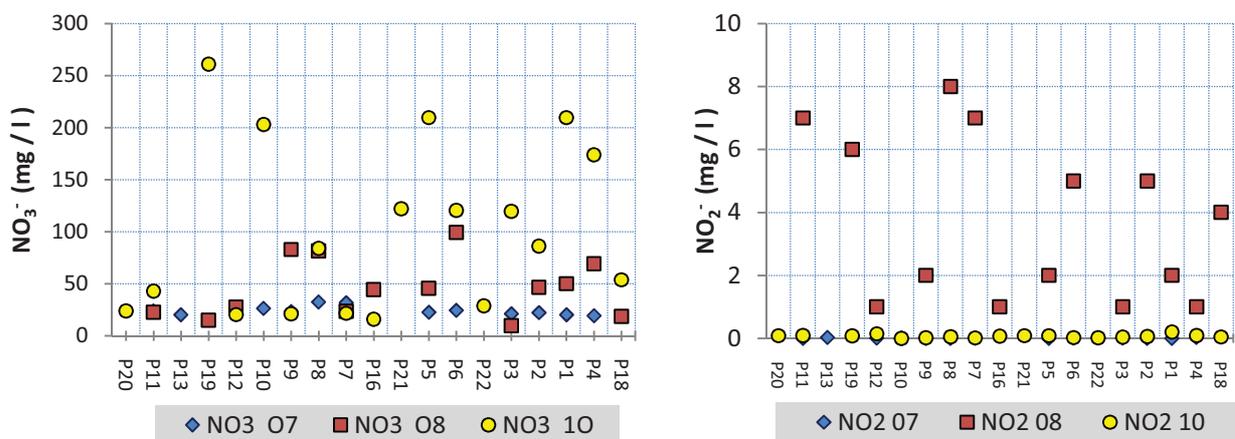


Fig 1.14 Variation des  $NO_3^-$  et des  $NO_2^-$

## 1.4 Autres éléments (mineurs)

### → Phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Le phosphate peut se trouver sous différentes formes oxydées, méta  $\text{HPO}_3$ , pyro  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$  et ortho  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , en milieu aqueux, les formes méta et pyro tendant vers la forme ortho pour des pH de 5 à 8. Les réactions chimiques entre les différentes formes de phosphate sont données par :



Les concentrations observées (seulement pour 2008) sont en moyenne de l'ordre de 0,21 mg/l, les valeurs limites sont 0 et 0,5 mg/l (tab 1.1).

Dans les eaux souterraines, les fortes concentrations sont dues à l'infiltration des eaux résiduaires de l'oued vers la nappe (Debieche, 2002).

**Tab 1.3 Autres éléments (mineurs et métalliques en traces (2008) en mg/l )**

	P	Br	PO4	Zn	Mn	Pb	Cu
N	14	14	14	14	14	14	14
<b>Moy</b>	0,21	0,27	1,84	3,38	3,16	0,19	0,44
<b>Min</b>	0,00	0,02	0,90	0,80	0,00	0,16	0,34
<b>Max</b>	0,50	1,53	4,50	4,40	8,00	0,28	0,84
<b>Ecart type</b>	0,13	0,37	0,88	1,12	3,07	0,03	0,13

### → Eléments métalliques en traces

#### Manganèse ( $\text{Mn}^{2+}$ )

Cet élément chimique est souvent rencontré dans la nature. La présence du manganèse généralement est liée à l'industrie chimique. Dans les eaux bien aérées, les concentrations sont souvent faibles. En revanche dans les eaux peu aérées (nappe captive), on observe de fortes concentrations. Le manganèse peut apparaître dans l'eau à un potentiel Redox plus élevé que celui du fer (Debieche, 2002).

Les concentrations observées pour ces eaux varient de 0 à 8 mg/l et la moyenne est de 3,16 mg/l (tab 1.1).

Les fortes concentrations (8 mg/l) sont observées au niveau des puits P12 et P5. Leur origine est : soit naturel, dans le cas de l'existence d'une couverture argileuse, soit anthropique indiquant une pollution.

#### Zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ )

Le zinc est un métal très répandu sur le globe. Il entre dans les alliages, la galvanisation des pièces métalliques et dans la fabrication des pigments pour la teinture (Debieche, 2002).

Les concentrations de cet élément au niveau des eaux souterraines de la ville de Bechar sont limitées entre 0,8 et 4,4 mg/l, alors que la moyenne est de 3,38 mg/l (tab 1.1).

Les concentrations élevées (4.4 mg/l) sont observées au niveau des eaux du P1, P2, P5, P12, sous l'effet des rejets.

### **Plomb (Pb<sup>2+</sup>)**

Le plomb se présente sous la forme de sulfures (galène), de carbonates (cérusite) et phosphates (Pyrophosphite). Dans l'industrie, on le trouve dans la fabrication des accumulateurs acides, de la soudure, des pigments (Debieche, 2002).

Dans les eaux souterraines de la ville de Béchar, les valeurs des concentrations sont comprises entre 0.16 et 0.28 mg/l, avec une moyenne de 0.19 mg/l (tab 1.1).

Dans certains sites locaux on observe des concentrations élevées (> 0.19 mg/l) ce qui présente un danger pour les plantes lors de l'irrigation.

Par contre les concentrations atteignent 0,28 mg/l au niveau du puits P6. Ces concentrations sont probablement dues aux équipements des forages ou des puits (Debieche, 2002).

## **1.5 Analyses microbiologiques**

L'analyse microbiologique des eaux utilisées à des fins de consommation permet d'apprécier le risque dû à des microorganismes pathogènes, Ces microorganismes ont pour habitat normal les intestins de l'homme ou de certains animaux à sang chaud (Rabiet, 2006 ; Alhou, 2007).

Sur le plan biologique, les eaux usées contiennent divers microorganismes. Parmi eux, on retrouve de nombreux organismes pathogènes, habituellement d'origine humaine. Comme leur identification est complexe et fastidieuse, on se sert des coliformes et streptocoques fécaux, organismes plus nombreux et donc plus facile à évaluer, comme indicateurs de la présence d'organismes pathogènes et donc d'eaux usées (Rabiet, 2006).

L'évaluation de la qualité microbiologique des eaux souterraines de la ville de Bechar a été réalisée sur 18 points d'eau réparties des deux cotés de l'Oued (fig 1.1), échantillonner au mois d'Avril 2010 (Annexe 4). Les résultats sont représentés sur des graphes, dont l'axe des abscisses est orienté Nord – sud, par rapport à la ville, pour mieux visualiser la répartition spatiale des différents paramètres.

Les analyses microbiologiques des eaux souterraines de la ville de Bechar montrent une charge microbienne importante et révèlent qu'il y a des signes de contamination par les eaux des rejets urbains (dans l'Oued) dans la majorité des prélèvements où le nombre des germes recherchés dépasse la norme.

### **1.5.1 Les germes totaux**

C'est la flore englobant tous les germes naturels ou de contamination qui vivent en présence d'oxygène (Rabiet, 2006 ; Alhou, 2007).

Les résultats montrent que le taux des germes (en NPP (nombre plus probable) à 20 °C et 37°C) est très élevé (fig 1.15). Il dépasse la norme Algérienne (NA 6360-1992), les concentrations sont limitées entre 8 NPP (à 37°C), 28,67 NPP (à 20°C) et 1110 NPP (à 37°C), 1308 NPP (à 20°C), avec une moyenne de 292,22 NPP (à 37°C), 382,09 NPP (à 20°C).

La répartition spatiale (fig 1.15) montre des valeurs relativement faible au centre et au Nord (< 200 NPP) (P22-20), sauf le P12, et des valeurs fortes (> 500 NPP) au Sud du P3 au P18. Des concentrations très importantes peuvent entrainer des risques d'ordre sanitaire (Bonnart, 2001 ; Bontoux, 1993).

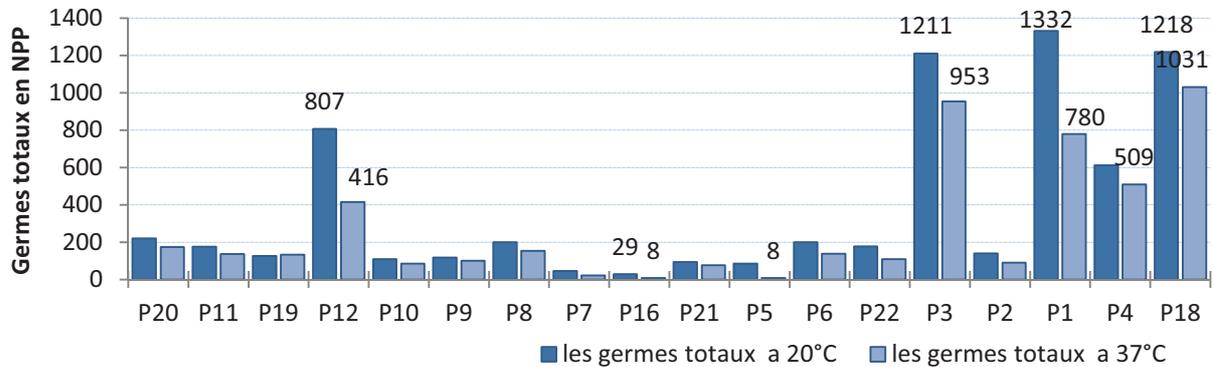


Fig 1.15 Germes dans les eaux souterraines de la ville de Bechar (2010)

### 1.5.2 Les Coliformes Totaux

L'expression « Coliformes totaux » regroupe plusieurs espèces bactériennes de la famille des entérobactéries qui sont aérobies et anaérobies facultatives, à Gram négatif, sporulées, en forme de bâtonnet.

Les résultats obtenus (fig 1.16) montrent que la majorité des prélèvements dépasse la norme (Annexe 9).

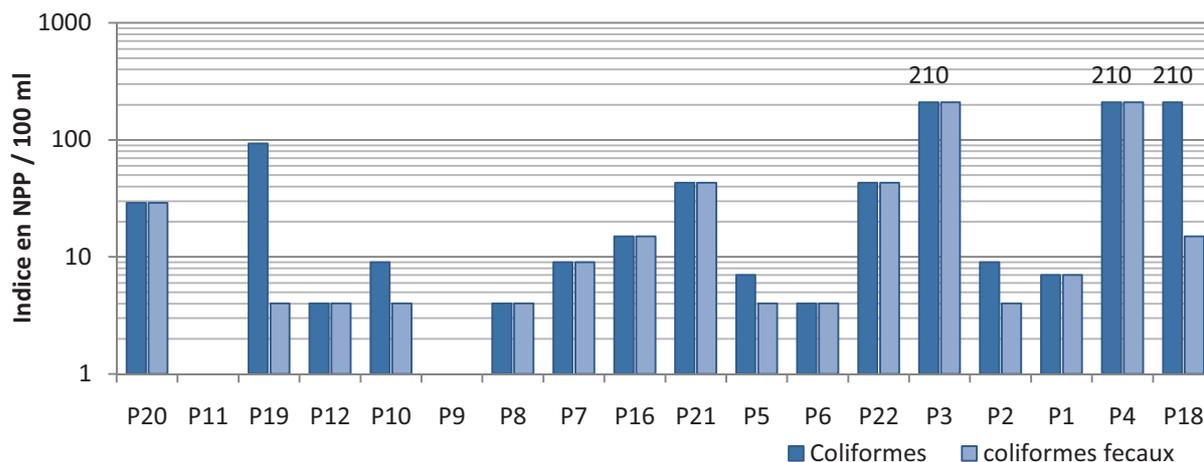
Les valeurs sont comprises entre 0 et 210 NPP, alors que la moyenne est de 30.38 NPP ; les fortes concentrations sont localisées au Sud de la ville (P3, P4, P18) ; seules les P9 et P11 présentent une absence totale de coliformes.

### 1.5.3 Les coliformes fécaux

La recherche et le dénombrement des coliformes fécaux est un examen proposé en raison d'une concordance statistique entre leur présence et l'existence d'une contamination fécale quasi certaine (Gaujous, 1995 ; Rodier, 1996).

Coliformes fécaux ou l'espèce *Escherichia coli* est une espèce bactérienne appartenant au groupe des coliformes totaux. Cette bactérie est toujours trouvée dans les matières fécales des animaux à sang chaud, mais, à la différence des coliformes totaux, elle n'est pas présente de manière naturelle dans l'environnement (Alhou, 2007 ; Jestin, 2005).

La figure 1.16 expose les résultats des analyses, ou les valeurs sont limitées entre 0 et 210 NPP, et une moyenne de 33,83 NPP ; Les valeurs les plus fortes sont situées au Sud de la ville (P3, P4) ; Les puits P11 et P9 présentent une absence totale de coliformes fécaux.

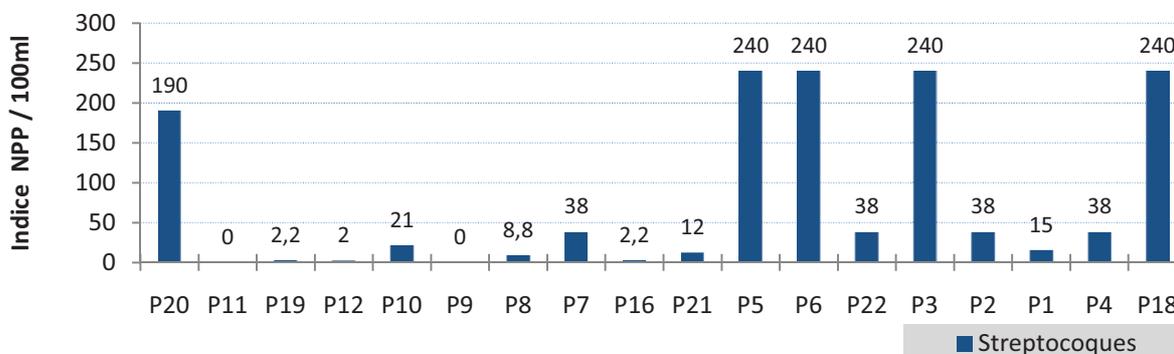


**Fig 1.16 Les Coliformes et les Coliformes Fécaux dans les eaux souterraines de la ville de Bechar (2010)**

### 1.5.4 Streptocoques

Ce sont des streptocoques du group sérologique D de Lance Fiel, thermophile à psychrotrophthe, anaérobie facultatif, associés aux coliformes fécaux, ils sont des bons indicateurs de pollution, Ils sont des témoins de contamination fécale assez résistant, y compris dans les milieux salés (Gaujous, 1995). Ils peuvent aussi se multiplier dans les milieux présentant des pH allant jusqu'à 9,6 NPP/100 ml, on peut par conséquent les utiliser comme indicateurs d'organismes pathogènes qui ont une résistance similaire au pH élevé (OMS, 1979).

Dans tous les échantillons analysés (Fig 1.17) le nombre de germe est compris entre 2 et 240 Streptocoques pour 100 ml, avec une moyenne de 80,30 NPP/100 ml, cela traduit une contamination dans la majorité des échantillons ; les concentrations les plus élevées sont situées au Sud de la ville, au niveau des puits P5, P6, P3, et P18 ; au Nord seul le P20 présente une valeur de 190 NPP/100ml, les autres présentent des valeurs faibles (P19, P12, P10, P8, P7, P16, P21) voir Nulles (P11, P9).

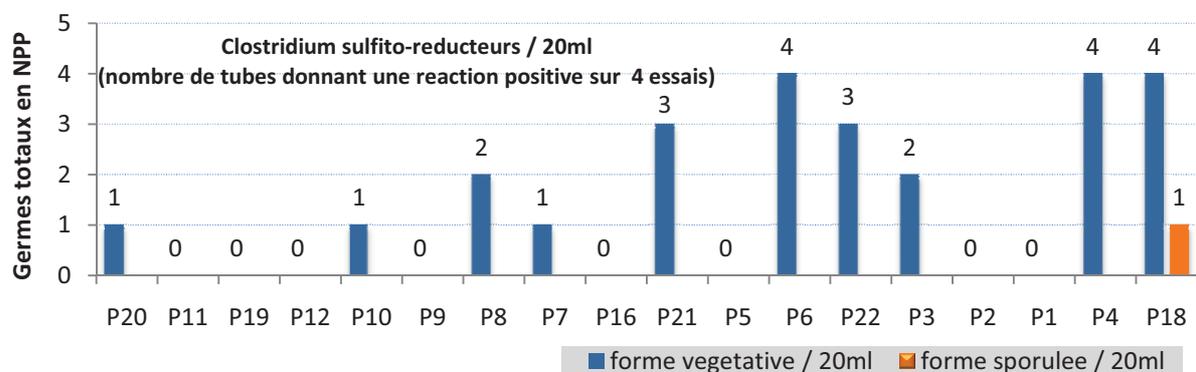


**Fig 1.17 Les Streptocoques dans les eaux souterraines de la ville de Bechar (2010)**

### 1.5.5 Clostridium Sulfito-réducteur

Ce sont des formes de résistance d'organismes anaérobies. Elles sont normalement présentes dans les matières fécales mais en plus petite quantité que *Escherichia coli* ; La recherche des *Clostridium Sulfito-réducteurs* est un indicateur d'une contamination ancienne, elles se présentent de deux forme végétative et sporulée (Jestin, 2005 ; Gaujous, 1995 ; Alhou, 2007).

On remarque (Fig 1.18) l'absence de ce germe dans certains prélèvements (P11, 19, P12, P9, P16, P5, P2, P1), alors que les autres présentent la forme végétative (P20, P10, P8, P7, P21, P6, P22, P4), seul le P18 contient les deux formes sporulée et végétative, probablement due a sa situation a l'extrême Sud de la ville et sont contact direct avec les eaux des rejets.



**Fig 1.18 Les Streptocoques dans les eaux souterraines de la ville de Bechar (2010)**

### 1.6 Conclusion

Les résultats obtenus de l'analyse physicochimique et microbiologique des eaux souterraines de la ville de Bechar permet d'émettre certaines constatations :

Les concentrations en Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, Na (dans cet ordre) dominent la composition chimique de ces eaux.

Les concentrations les plus fortes sont localisées au Sud de la ville, suivant le sens de l'écoulement de l'oued, donc l'accumulation des eaux du rejet urbain.

La variation temporelle suit une certaine logique climatique, c.à.d. les concentrations sont plus fortes durant les années les moins pluvieuses (2008, 2009) (milieu concentré), a l'inverse des années pluvieuses (2007, 2010) (milieu de dilution).

La présence des éléments indicateurs de pollution (NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>), avec des teneurs assez représentatives.

Les éléments mineurs et métalliques en traces (P, Br, PO<sub>4</sub>, Zn, Mn, Pb, Cu) sont présents dans les eaux souterraines avec des valeurs remarquables et confirme la contamination par les eaux usées.

L'analyse microbiologique a permis de déterminer une certaine charge microbienne importante, composée de plusieurs germes (coliformes, streptocoques, clostridium sulfite-réducteur), qui confère à l'eau souterraine de Béchar un aspect de non potabilité, et qui constitue une vraie menace pour l'environnement et notamment un réel risque sur la santé des consommateurs de cette eau.

La présence d'éléments chimiques d'origine industrielle ne forme pas un élément de grande inquiétude, pour la simple raison que la ville de Béchar, n'est pas porteuse de grande industrie.

## CHAPITRE II

### Evaluation et évolution de la charge polluante des eaux usées d'Oued Bechar

#### 2.1 Introduction

L'accroissement démographique qu'a connu la ville de Béchar génère des quantités considérables d'eaux usées déversées dans le milieu récepteur naturel : Oued de Béchar, qui divise la ville en deux rives d'agglomération importante où les ressources hydriques sont fortement sollicitées pour diverses activités. La dégradation de la qualité des eaux de la nappe est provoquée, d'une part, par la nature du sol à dominance grès calcaire fissuré et alluvionnaire, qui permet une infiltration facile, et d'autre part par les rejets liquides.

La charge polluante de ces rejets est de plus en plus croissante en fonction du développement démographique de la ville de Béchar.

Le déversement de ces rejets constitue une source de pollution pour les terrains agricoles limitrophe de la ville et les puits riverains ; L'éloignement d'un point d'eau par rapport à la source de pollution et la profondeur de la nappe constituent deux critères prépondérants dans la détermination de la qualité de l'eau souterraine.

L'approche est faite par une étude physicochimique des rejets pour montré la possibilité d'une contamination des eaux souterraines par les infiltrations des eaux usées ; cette étude est menée sur six stations notées (Ri) (Fig 2.1) d'eaux résiduaires localisées sur le parcours de Oued de Béchar au niveau de la ville, sur un profil Nord - Sud, effectués en avril 2008, 2009 et 2010 révélant des teneurs alarmantes, principalement les composées organiques (nitrates, nitrites, azote kjeldahl (TNK) et l'ammonium); la présence du chrome et l'iode est aussi détecté.

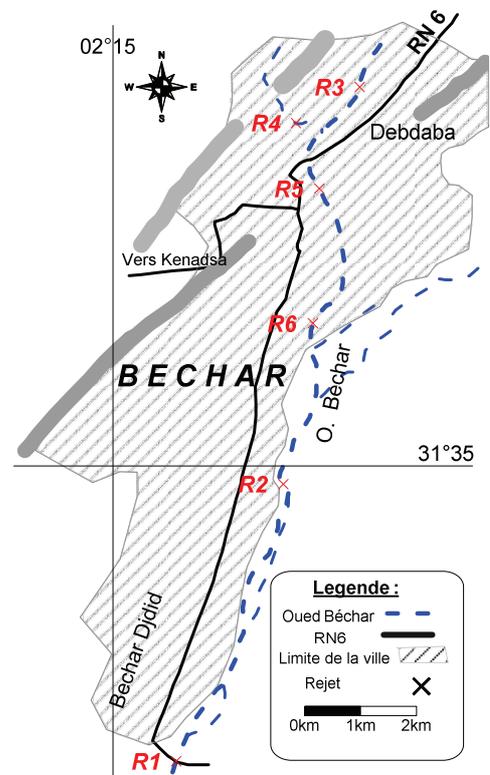


Fig 2.1 Carte d'inventaire des rejets dans la ville de Bechar (2010)

### 2.2.1 Évaluation du débit :

Les volumes d'eau ont été calculés sur la base d'une dotation hydrique de 240 l/j/hab, cette dotation communiquée par les services technique de la D.H.W de Béchar est censée couvrir tous les besoins domestique, équipements sociaux éducatifs, activités diverses, le taux de rejet est estimé a 80% ; donc pour une population estimée à 348415 habitants à l'an 2027 (DPAT 2007), le volume d'eau usée journalier rejeté sera de l'ordre de :

$$\bar{Q} = 348415 * 240 * (80/100) = 66895680 \text{ l/j} \Rightarrow \boxed{\bar{Q} = 6.69 \cdot 10^7 \text{ l/j}}$$

Le débit de pointe sera calculé comme suite :

$$\text{Coefficient de pointe : } K_p = 1.5 + (2.5/\sqrt{\bar{Q}})$$

$$\bar{Q} = 66895680 \text{ l/j} = 66895680/86400 \approx 774.25 \text{ l/s (débit moyen journalier en 2027)}$$

$$K_p = 1.5 + (2.5/\sqrt{774.25}) \Rightarrow \boxed{K_p = 1.58}$$

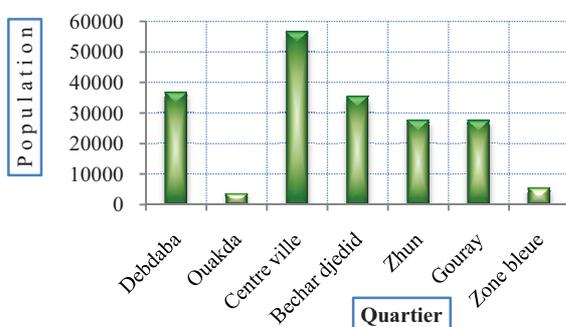
Le débit de pointe :

$$Q_p = K_p * \bar{Q} = 1.58 * 774.25 \Rightarrow \boxed{Q_p = 1223.31 \text{ l/s}} \text{ (débit de pointe en 2027)}$$

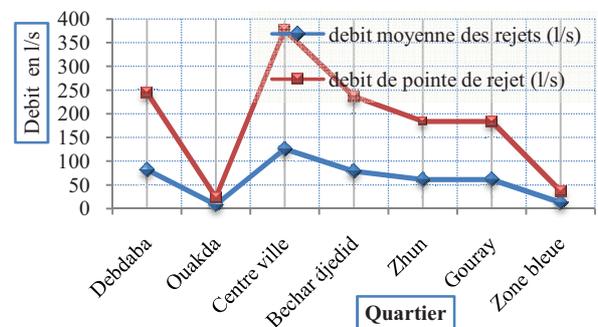
Le débit des eaux usées industrielles est négligeable dans la ville de Béchar (faible activité industriel) ; Le débit des eaux pluviales indisciplinées de la ville est estimé à 88 mm/an (URBAT 2007).

**Tab 2.1 Répartition des débits de rejet des eaux usées en fonction des différents quartiers de la ville de Bechar en 2007 (URBAT 2007)**

Quartier	Population	Débit moyenne des rejets (DMR) (l/s)	Débit de pointe des rejets(DPR) (l/s)	Débit de pointe des rejets effectifs (l/s)
Debdaba	36730	81,623	244,87	81,62
Ouakda	3500	7,78	23,33	7,77
Centre ville	56570	125,71	377,13	125,71
Bechar djedid	35450	78,78	236,33	78,78
Zhun	27600	61,33	184	61,33
Gouray	27550	61,22	183,67	61,22
Zone bleue	5509	12,24	36,73	12,24
<b>Total</b>	<b>192909</b>		<b>Total</b>	<b>428,67</b>



**Fig 2.2** Graphe de répartition de la population en fonction des différents quartiers dans la ville de Bechar (2007).



**Fig 2.3** Graphe de répartition des débits de rejets des eaux usées en fonction des différents quartiers de la ville de Bechar (2007).

Le tableau 2.1 et les figure 2.2 et 2.3 représentent la répartition des débits de rejet des eaux usées en fonction des différents quartiers de la ville de Béchar, ainsi on remarque que:

- La plus grande concentration de population est localisée (au sens décroissant) au centre ville (ancien quartier), Debdaba (le plus grand quartier populaire), et la fin du classement en retrouve la zone bleu (le nouveau pole d'habitation) et Ouakda (constituer principalement d'ancien Ksour entouré de petits terrains agricoles).
- La courbe des débits moyens (DMR) et de pointe des rejets (DPR) des eaux usées suit logiquement celle de la population, ou les valeurs des pics sont enregistrées au centre ville avec un DMR de 125,71 (l/s) et un DPR de 377,13 (l/s).

### 2.2.2 Matériel et méthodes

Les paramètres physiques mesurés sont : le pH, la salinité, MES et la conductivité.

Les paramètres chimiques déterminés sont : la teneur en calcium, magnésium, sulfates, chlorure, nitrate, nitrite, brome, iode, zinc, manganèse, sodium, potassium, et phosphates, selon la technique standard d'analyse et Les méthodes de dosage (Rodier 1996) utilisées sont les suivantes (Annexe 1) :

Le pH, la salinité, TDS et la conductivité, méthode potentiométrique (Consort 861)

L'azote de kjeldahl après minéralisation Norme AFNOR T 90-110

La volumétrie est appliquée à l'analyse quantitative du calcium et du magnésium. Les teneurs en calcium et magnésium des échantillons sont déterminées par titrage complexométrique, avec le sel di-sodique de l'acide éthylène-diaminetétracétique (EDTA) ; NFT90-003 ;

Les nitrates sont dosés par la méthode potentiométrique (HI 121) grâce à une électrode spécifique ;

La spectrophotométrie a été utilisée pour le dosage des sulfates;

La colorimétrie pour la détermination de la teneur en : Chrome et iode ;

La spectrophotométrie à flamme pour la détermination de la teneur du sodium et du potassium.

### 2.2.3 Campagnes de prélèvements

Entre avril 2008 ,2009 et 2010, des prélèvements d'échantillons de rejet a été réalisées (Fig 2.1). Le choix des sites a été fixé en fonction des points de déversement de rejets des eaux usées dans l'Oued (voir photos a la fin du chapitre), ainsi que le sens d'écoulement amont – aval des eaux résiduaires, afin de donner une bonne vision sur l'évolution spatiotemporelle des concentrations des différents paramètres, On prélève, dans des flacons de polyéthylène un volume de 1,5 l destiné aux analyses physico-chimiques ; Les paramètres physiques (température, conductivité et pH) ont été mesurés in situ au moyen d'un multi paramètre (Consort 861).

## 2.3 Résultats et discussion

Les résultats sont exposés sous formes statistiques (tab 2.2) et graphique, en discutant les paramètres analysés, notamment les mesures effectuées *in situ* et celles effectués au laboratoire.

Le suivi de la qualité des eaux résiduaires de l'Oued Béchar (tab 2.2) est réalisé de façon différente pour les trois campagnes de mesure ; ou les paramètres avec un nombre (Valid N) 18 sont analysées durant les trois années, le nombre 12 pour ceux ayant deux analyses (2008, 2010), et enfin le nombre 6, ou une seule analyse est effectuée pour ces éléments (2008 ou 2010).

Les statistiques descriptives (tab 2.2) exposent des valeurs assez importantes des différents paramètres, ainsi qu'une dominance des éléments (par ordre décroissant) Cl, Na, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, Ca. Les valeurs de la conductivité qui atteint un maximum de 6,9 mS/cm.

**Tab 2.2 Statistiques descriptives des analyses (mg/l) des rejets des eaux usées de la ville de Bechar (2008, 2009, 2010)**

	Valid N	max	min	moy	Std.Dev.	Normes de rejets
CE(mS/cm)	18	6,9	1,38	3,28	1,8	-
ph	18	<b>9,11</b>	7,3	7,95	0,42	6,5à8,5
MES	18	2,86	0,74	1,47	0,63	35
Sal	12	3,8	0,5	2,08	1,03	-
O <sub>2</sub>	12	5,18	0,18	2,67	2,00	-
Ca <sup>2+</sup>	18	<b>340</b>	68	164,42	66,99	-
Mg <sup>2+</sup>	18	294	43,2	<b>120,49</b>	67,71	01
Na	18	<b>1645,85</b>	23,54	666,88	509,3	-
K	18	9,76	1,91	5,65	2,38	-
NO <sub>3</sub>	12	53,6	4,43	23,3	13,11	-
Cl <sup>-</sup>	18	<b>3013,25</b>	110	804,39	645,78	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18	<b>756,95</b>	71,84	339,36	194,38	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6	<b>634,2</b>	195,2	365,97	202,33	-
NO <sub>2</sub>	6	22	5,00	13,17	6,97	-
I	12	2,7	0,2	0,92	0,93	-
Br	12	0,5	0,14	0,34	0,14	-
PO <sub>4</sub>	6	36	2,3	<b>11,48</b>	12,88	02
P	6	8	0,1	2,03	2,95	10
Zn	6	6	1,6	<b>3,2</b>	1,48	03
Mn	6	3,2	0	0,62	1,28	-
NH <sub>4</sub>	6	33	3,5	9,05	11,77	-
TNK	6	21,6	5,4	12,3	7,67	30
Cr	6	0,04	0	0,01	0,02	0,5

### 2.3.1 Estimation de la charge polluante des eaux usées domestique d'Oued Béchar

#### 2.3.1.1 Conductivité, MES (Matières en Suspension) et pH

Représenté sur les figures 2.4A, B et C, montrent que les conductivités électriques des eaux résiduaires d'Oued Béchar sont plus importantes en 2008 qu'en 2010 (fig 2.4A), et augmente du Sud au Nord (2008), elle est relativement régulière (moyenne de 1,4 mS/cm) en 2010, a

l'exception du rejet R6 (3,45 mS/cm), notant une même allure des sels dissous (MES) charriés par ces eaux (fig 2.4C), ce qui prouve que les échantillons analysés sont chargés. Les eaux résiduaires de l'oued Béchar sont caractérisées par un pH peut alcalin, avec des valeurs supérieures à 7 en amont et supérieures à 8 en aval (fig 2.4B).

### 2.3.1.2 Oxygène dissous

La teneur en oxygène dissous dans les eaux résiduaires étudiées (fig 2.4D), varient de faible (< 2 mg d'O<sub>2</sub>/l) pour R1, à important pour R3 (> 3 mg d'O<sub>2</sub>/l) ce qui peut être un indicateur de la présence de la charge organique, qui est faible (matière organique) pour R1, dû à la dégradation de la charge organique par les micro-organismes qui consomment l'oxygène ; notant aussi que les valeurs sont nettement plus élevées en 2008 comparativement à celles de 2009, le paramètre apport fluvial peut être mis en cause.

### 2.3.1.3 Calcium et magnésium

La teneur en Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> des eaux résiduaires atteint un maximum de 340 mg/l de Ca<sup>2+</sup> pour R5 (2008) et 294 mg/l de Mg<sup>2+</sup> pour R5 (2008) vers le nord d'oued Béchar, où se rassemblent les rejets de Debdaba et du centre ville ; notant aussi que les teneurs en Mg dépassent de loin les normes de rejets (tab 2.2) (Annexe 3).

Pour l'ion Mg<sup>2+</sup>, une concentration plus importante est observée vers le sud (R6, R2, R1), atteignant les 157,95 mg/l au R1 (2010), Alors que pour le Ca<sup>2+</sup> le centre observe les valeurs les plus notables (R4, R5, R6 (2008)); Un échange de ces ions avec d'autres peut expliquer cette évolution Sud–Nord (Badri 2011).

Cette évolution semble suffisante pour mettre en cause l'infiltration des eaux résiduaires. La solubilité de CaCO<sub>3</sub> est augmentée en présence de protéines et d'acides faibles, résultant des oxydations des matières organiques (Badri 2011).

### 2.3.1.4 Sodium et Potassium

La teneur en sodium (Fig 2.2G) augmente du nord au sud pour atteindre un maximum de 1542,01 mg/l relevé dans R1 (2010), cette variation spatiale est due probablement au phénomène d'adsorption. La forte concentration peut être toxique à certaines flores (Gayoux, 1995), notant aussi une augmentation des teneurs (> 500 mg/l pour Na, > 2 mg/l pour K) entre 2008 et 2010.

Les résultats des analyses du potassium montrent que les teneurs oscillent entre 1,91 et 9,76 mg/l (R2 en 2010), et présente une évolution spatiale assez variable.

### 2.3.1.5 Sulfate, Chlorure et bicarbonate

Les sulfates (fig 2.4I) et les chlorures (fig 2.4J) présentent des concentrations très importantes de moyenne, respectivement 331,50 mg/l et 821,84 mg/l, ces teneurs peuvent être dues très probablement est puisque les rejets sont de nature urbaine à l'utilisation des détergents à base des sulfites (état métastable) qui se transforme (oxydation) en sulfate (Ahoussi, 2008) ; Une

évolution spatiale croissante des teneurs (pour Cl et SO<sub>4</sub>) s'observe de l'amont vers l'aval (fig 2.4I et J).

Les teneurs en HCO<sub>3</sub> (2008) sont relativement fortes, avec une valeur maximale de 365,96 mg/l, et suivent une évolution spatiale inverse au Cl et SO<sub>4</sub>, c.à.d. une diminution de Nord au Sud, cette diminution est fonction de l'éloignement des aquifères calcaires.

### 2.3.1.6 Nitrates, nitrites, azote kjeldahl (TNK) et l'ammonium

Les nitrates, les nitrites, l'azote kjeldahl (TNK) et l'ammonium ont des concentrations importantes, dont les moyennes sont respectivement 23,30 mg/l, 13,16 mg/l, 12,3 mg/l et 8,28 mg/l ; la répartition spatiale du NO<sub>2</sub>, TNK, NO<sub>3</sub> (2008) et du NH<sub>4</sub> est représentée comme une courbe croissante du Nord au Sud (fig 2.4M, N, O), alors que les nitrates de 2009 observent une diminution de l'amont vers l'aval.

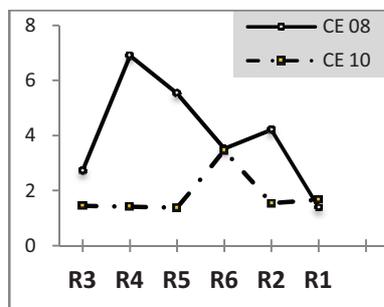
L'urine est le principal indicateur de la présence de l'azote dans les eaux résiduaires urbain, ainsi que les détergents à base d'amomum, des réactions d'ammonification peuvent avoir lieu transformant cet azote organique en ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (forme réduite de l'azote), en effet la demande en oxygène par l'ammonium est très élevés ce sont des molécules (composé azoté) odorante à l'origine des mauvaises odeurs (Ahoussi, 2008).

### 2.3.1.7 Phosphates et Phosphore

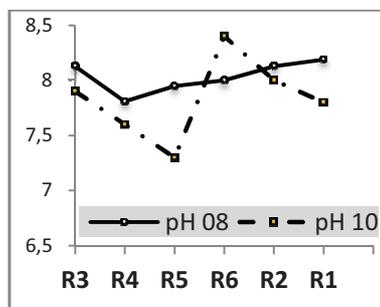
Les teneurs en phosphates (2008) sont importants, elles indiquent une assez forte variation croissante du nord au sud (2 à 36 mg/l) (fig 2.4Q), alors que les phosphores témoignent une faible variation (0.1 à 8 mg/l) et de même sens (fig 2.4P), comparativement au phosphate, la teneur moyenne en P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> de 50 µg/l est considérée comme un signal d'eutrophisation (Badri, 2008) ; ce qui permet de classer Oued Béchar parmi les milieux eutrophes (Badri 2011) ; les concentrations en PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> dépassent les normes de rejets (tab 2.2) (Annexe 3).

### 2.3.1.8 Iode et Chrome

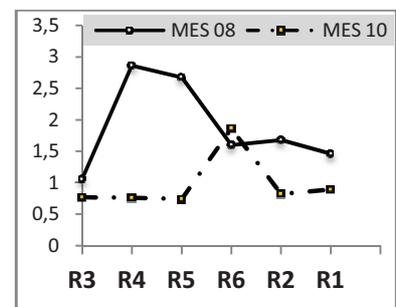
L'iode présent des concentrations (2008) variant de 0,2 à 2 mg/l, les teneurs fortes sont au Nord (fig 2.4R), à l'inverse du Chrome, qui présente une courbe ascendante (fig 2.4S) vers le Sud, avec des concentrations assez faibles, qui atteigne un maximum de 0,045 mg/l observé au R1 et un minimum de 0 mg/l au niveau de R3.



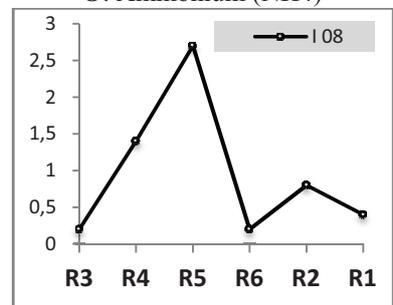
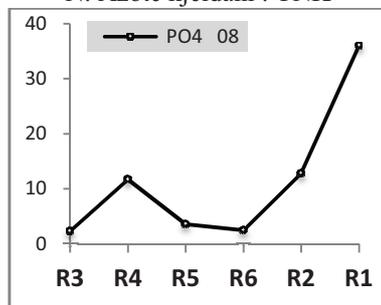
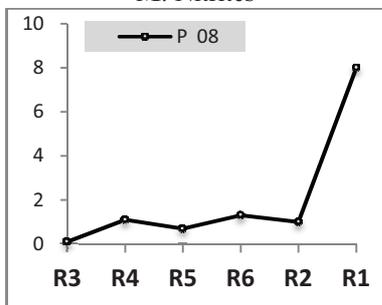
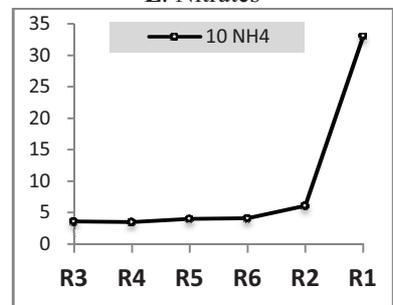
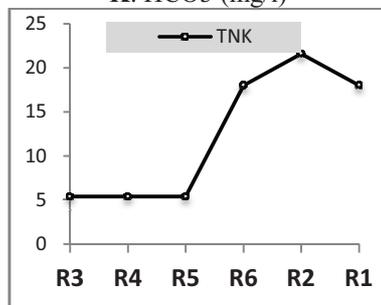
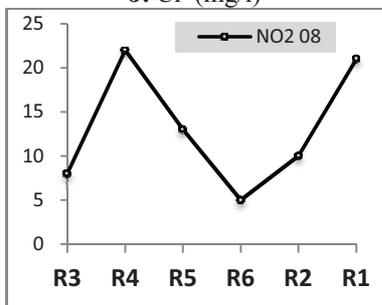
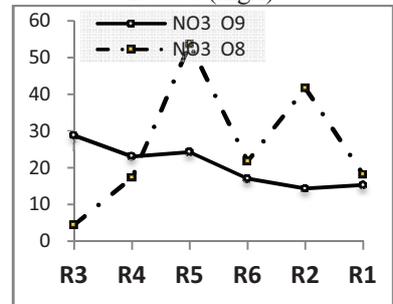
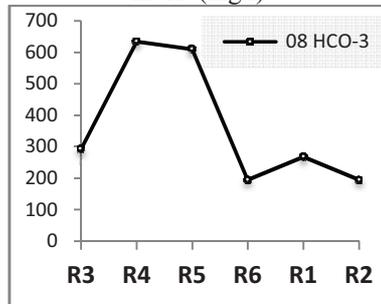
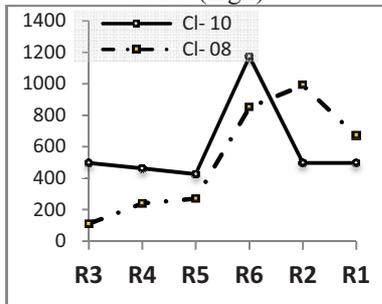
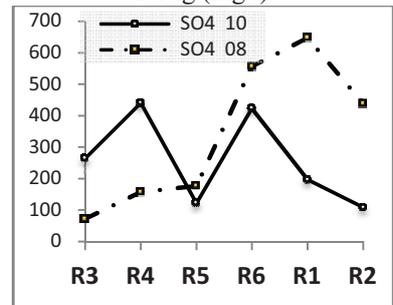
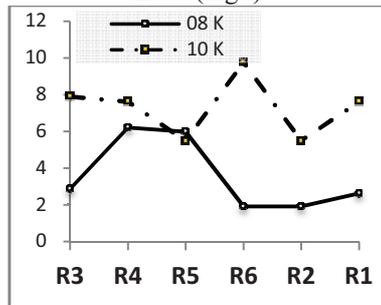
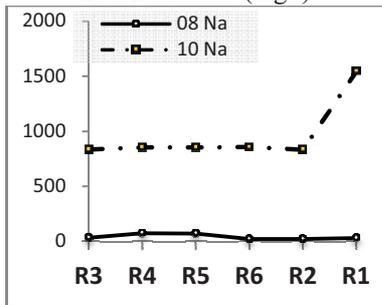
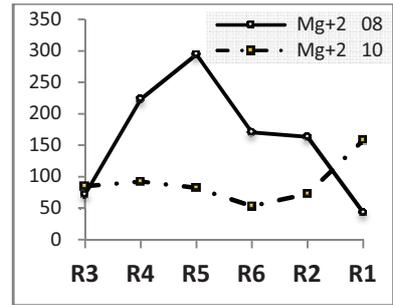
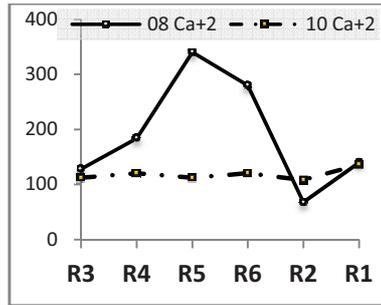
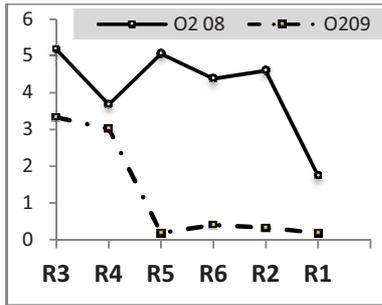
A. Conductivité électrique (MS/cm)

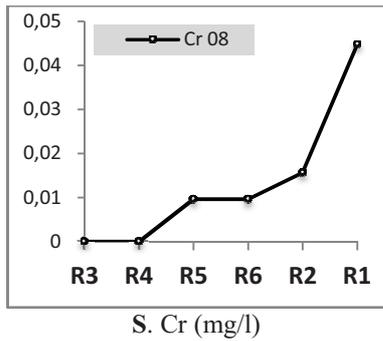


B. pH



C. MES (g/l)





**Fig 2.2 Variation des différents paramètres physicochimique des rejets urbains de la ville de Bechar**  
(Légende : Cr 08 = Cr 2008)

## 2.4. Conclusion

Les résultats obtenus par l'analyse physicochimique des eaux de rejet urbain de la ville de Bechar, témoignent dans leur majorité qu'une charge polluante assez importante est présente, et constitue une réelle menace de contamination pour l'environnement et notamment pour les eaux souterraines de la ville.

Avec des teneurs maximales de 53,60 mg/l en nitrates, 22 mg/l en nitrite, 21,60 mg/l en azote kjeldahl, 3013,25 mg/l en chlorures, 756,95 mg/l en sulfates, 340 mg/l de  $\text{Ca}^{2+}$  et 294 mg/l de  $\text{Mg}^{2+}$ , 1645,85 mg/l de  $\text{Na}^+$ , 9,76 mg/l de  $\text{K}^+$ , 36 mg/l des phosphates, 8 mg/l du phosphore, 2,70 mg/l d'iode, 0,045 mg/l de chrome et des teneurs faibles en oxygène dissous (1 mg d' $\text{O}_2$ /l).

les eaux usées de l'oued de Béchar s'avèrent globalement assez chargées en polluants ; notant aussi que pour la majorité des éléments les concentrations sont plus forte au Sud (aval) , ceci est le résultat de l'effet de l'accumulation progressivement des eaux (chargées) des effluents de l'amont (R3) vers l'aval (R1).



Photos hors text : Les rejets des eaux usées dans l'Oued Bechar (2008/2010)

## CHAPITRE III

### **Impact des rejets urbains sur la qualité des eaux souterraines de la ville de Béchar (SW algérien) : Approche par Corrélacion chimique**

---

#### **3.1 Introduction**

L'Oued Bechar traverse la ville de Bechar sur toute sa longueur, ou sont déversées les eaux usées en plusieurs points de rejets, le débit des rejets de la ville est estimé à 248,28 l/s (Kabour, 2009), ces eaux résiduaires en s'écoulant dans le lit de l'oued traversent plusieurs aquifères, dont les conditions hydrogéologiques sont très favorables à un contact, parfois direct, facilitant le transfert réciproque des éléments chimiques; les niveaux piézométriques (profondeur) mesurées varient de 3 m (P18) à 6 m (P8) avec une moyenne de 5 m, ce qui favorise une infiltration rapide des eaux de surface (Kabour, 2009).

Les eaux de ces nappes sont très sollicitées, malgré le faible débit, pour des besoins quotidiens; cette situation nécessite de mener une étude objective pour dégager un diagnostic de l'impact des eaux de ces rejets sur l'environnement et notamment du degré de pollution de la qualité des eaux souterraines de la ville de Bechar.

Des campagnes d'échantillonnages ont été effectuées durant les mois d'avril 2007, 2008, 2009 et 2010, sur 22 puits (14 sélectionnées) et 6 points de rejets, pour faire l'identification physico-chimique de ces eaux tant convoitées, cette caractérisation s'est faite par l'analyse des résultats sur des graphes de variation et de corrélation chimique.

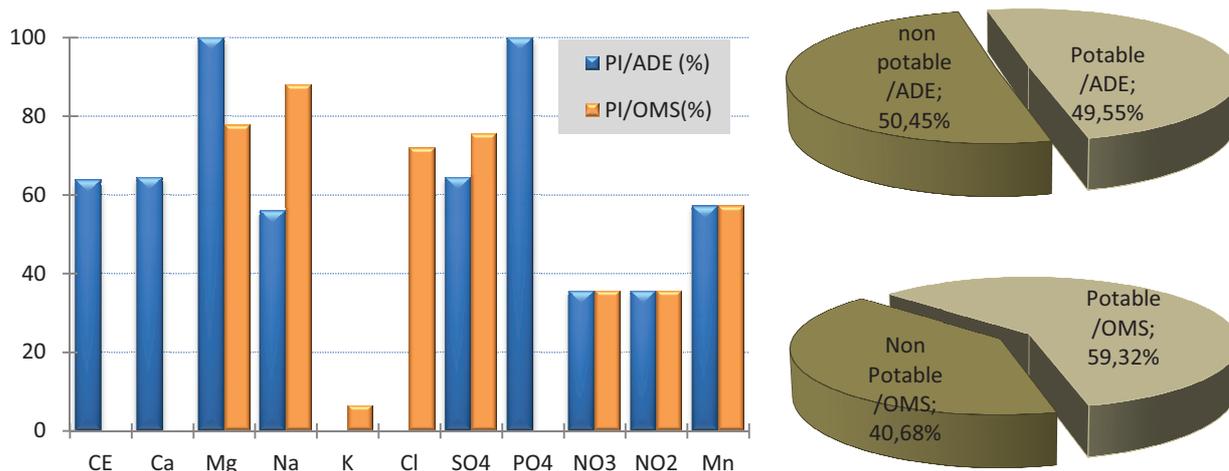
#### **3.2 Aptitude à la potabilité (par rapport aux normes Algériennes (ADE) et OMS)**

La comparaison des éléments physicochimiques avec les normes usuelles (6362-1995) de l'ADE (Algérienne Des Eaux) et les directives des JORA (journal officiel de la République Algérienne) N° 35 et 51, portant sur la qualité des eaux de boissons, ainsi que celles de l'OMS (organisation mondiale de la santé) (Annexe 2), montre que (fig 3.1) :

pour les paramètres CE, Ca, Mg, Na, SO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, Mn, respectivement, 63%, 64%, 100%, 56%, 64%, 100%, 35%, 35%, 57% des puits analysés dépassent la norme de potabilité de l'ADE; aussi pour les ions Mg, Na, K, Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, Mn, on a, respectivement, 77%, 88%, 6%, 71%, 75%, 35%, 35%, 57% des puits présentant des valeurs supérieures aux normes de potabilité de l'OMS.

Le pourcentage total (fig 3.1) des puits présentant des eaux non potables est de 50,45 % par rapport aux normes de l'ADE, et 40,68 % par rapport à celles de l'OMS.

La détermination de la potabilité de l'eau ne dépend pas seulement des paramètres comparés globalement aux différentes normes, mais aussi de la comparaison individuelle de la composition chimique des eaux de puits prélevés, ou on constate que cette composition présente au moins un paramètre qui dépasse soit l'une ou l'autre norme de potabilité ; ce qui permet de déduire que presque tous les puits sont non potables, ceci est confirmé par l'analyse microbiologique, ou la simple présence de germes (germes totaux §1.5-chap1-partie2) confère à ces eaux le qualificatif de non potable.



**Fig 3.1 Pourcentage des puits non potable par rapport aux normes Algériennes (ADE) et OMS.**

### 3.3 Aptitude à l'irrigation (diagramme de Wilcox)

Le diagramme de Wilcox permet de déterminer l'aptitude d'une eau à l'irrigation en fonction du pourcentage de sodium (még/l) en abscisse et la conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$  à  $25^\circ\text{C}$ ) en ordonnée.

Le  $\%Na^+$  est défini par la relation :

$$\%Na^+ = [ (Na^+ + K^+) / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+) ] \times 100 \quad (\text{Tous les ions sont exprimés en még/l.})$$

**Tab 3.1 Résultats obtenus après interprétation des diagrammes de Wilcox**

	2008	2010
Excellente	-	-
Bonne	28,57 %	-
Admissible	-	23,53 %
Médiocre	14,29 %	23,53 %
Mauvaise	14,29 %	-
Hors diagramme	42,86 %	52,94 %

L'application de cette méthode aux eaux souterraines de la ville de Béchar (Fig 3.2 et tab 3.1), permet les remarques suivantes :

- Pour la campagne de 2008 les échantillons sont repartis sur les classes : bonne (28%), médiocre (14%), mauvaise (14%) et plus de 42% sont hors diagramme.
- Pour les échantillons de 2010, la répartition est la suivante : 23% dans la classe admissible, 23% classées médiocres, et plus de 52% sont hors diagramme.

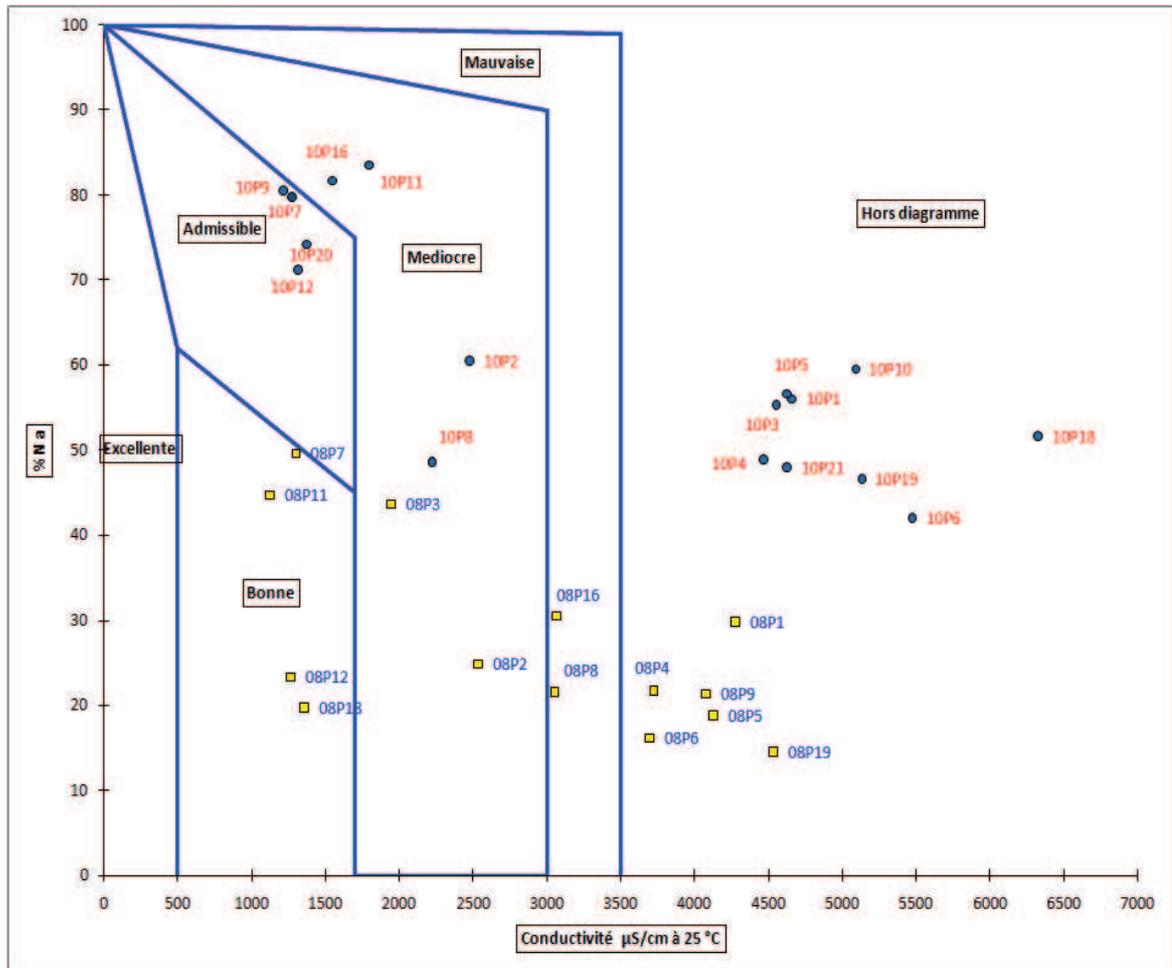


Fig 3.2 Diagramme de Wilcox des eaux souterraines de la ville de Béchar (2008, 2010)

### 3.4 Détermination des faciès chimiques

#### 3.4.1 Classification en fonction de la teneur chimique

La formule ionique consiste à classer de gauche à droite et par ordre décroissant les quantités en réaction des éléments chimiques en commençant par les anions puis les cations (Schoeller, 1959 ; Al Shaibani, 2008).

Le pourcentage pour chaque faciès chimique (Rouhana, 2006) est comme suit (fig 3.3):  
Pour les échantillons de la campagne 2008 :

- 1) Eaux chlorurées calciques 50% du nombre total d'échantillon analysés;
- 2) Eaux sulfatées calciques 22% ;
- 3) Eaux chlorurées magnésiennes 14%.
- 4) Eaux bicarbonatées calciques 14%.

Et pour les échantillons de la campagne 2010, il y a des variations notables :

Le faciès chlorurée sodique domine avec 50%, en suite bicarbonatée sodique et sulfatée sodique avec 22%, et en fin le faciès chloruré calcique 6%.

On peut dire que les faciès chimiques dominant des eaux souterraines de la ville de Béchar sont chlorurée calcique (2008) et chloruré sodique (2010).



Fig 3.3 Faciès chimique des eaux souterraines de la ville de Béchar (2008, 2010)

### 3.4.2 Classification selon le daigramme de Piper :

La représentation des données chimiques sur le diagramme de Piper montre que le faciès chimiques dépendent des conditions hydrogéologiques du système aquifère, et des activités anthropiques (Durant, 1999). Il permet de classer les échantillons analysés en 2008 dans une catégorie de faciès, qui est **Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne** (fig 3.4), et deux catégories pour les échantillons analysés en 2010, et qui sont :

- 1- **Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne**
- 2- **Chlorurée sodique et potassique**, et une tendance vers le pole nitrate ( $Cl+ NO_3$ ) lié à la pollution par les rejets ( fig 3.5).

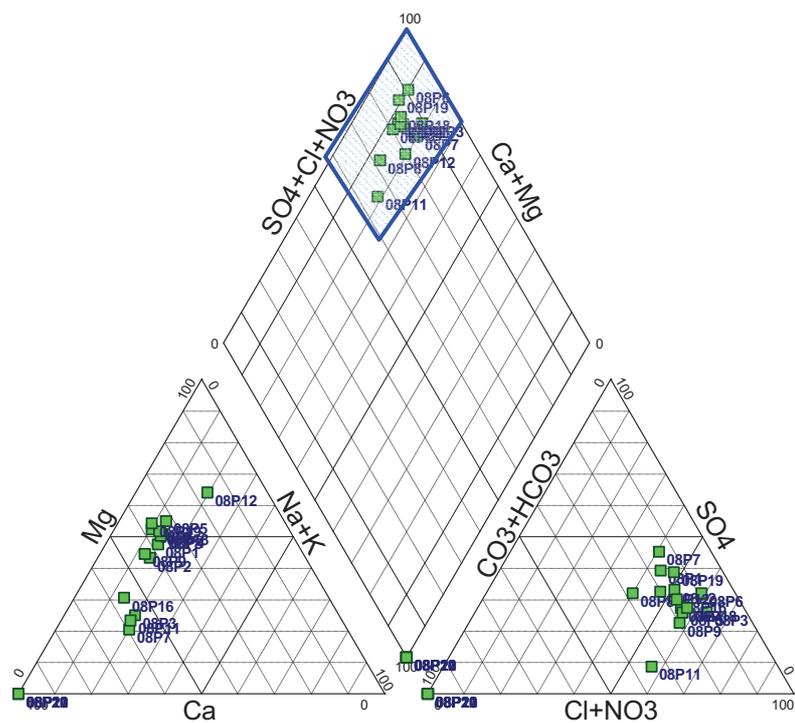


Fig 3.4 Diagramme de piper des eaux souterraines de la ville de Béchar (2008).

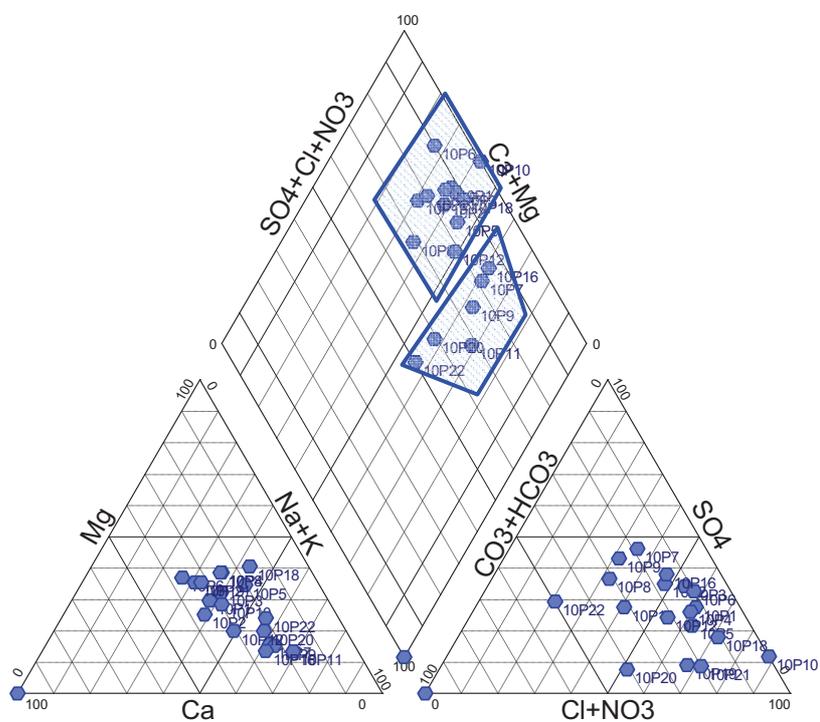


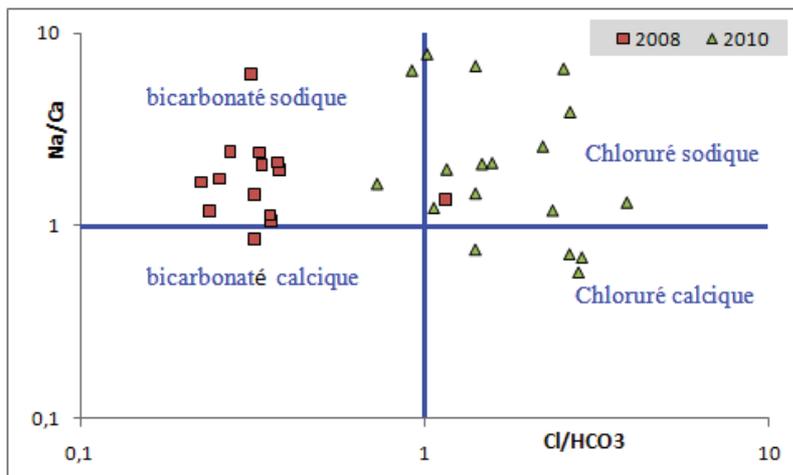
Fig 3.5 Diagramme de piper des eaux souterraines de la ville de Béchar (2010).

### 3.4.3 Classification selon les rapports

#### 3.4.3.1 $(Na^+ / Ca^{2+}) = f(Cl^- / HCO_3^-)$

La représentation des faciès chimiques dans le diagramme  $Na^+ / Ca^{2+}$  versus  $Cl^- / HCO_3^-$  (fig 3.6) montre la dominance de deux pôles caractéristiques des eaux souterraines de la ville de Béchar. Ces deux pôles sont représentés par les faciès bicarbonaté sodique (2008) et l'autre chloruré sodique (2010), un passage progressif s'observe du premier (2008) au deuxième (2010).

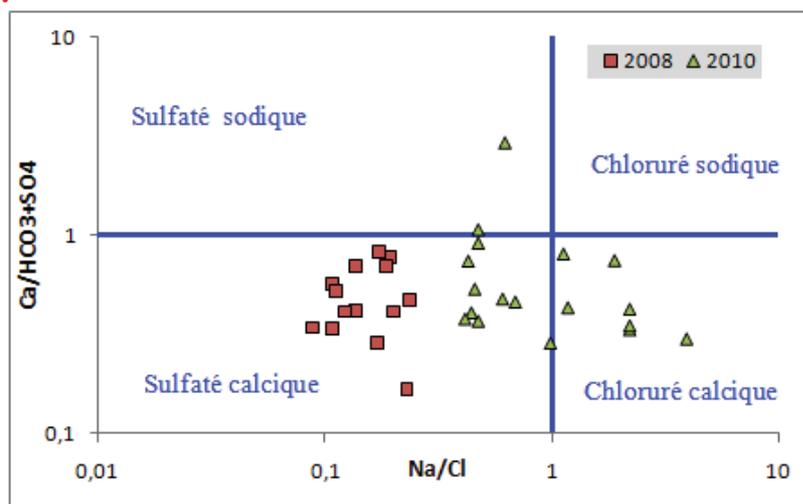
Le faciès chloruré calcique est aussi présent (2010) par quatre points.



**Fig 3.6** Utilisation du rapport  $(Na^+ / Ca^{2+}) - (Cl^- / HCO_3^-)$  pour déterminer la répartition des faciès chimiques

#### 3.4.3.2 $(Ca / HCO_3 + SO_4) = f(Na/Cl)$

La dominance des ions  $Ca^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  (Ghabouli, 2008), a permis la représentation de l'analyse des eaux souterraines de la ville de Béchar dans le diagramme  $(Ca^{2+} / HCO_3^- + SO_4)$  versus  $(Na^+ / Cl^-)$ , ou les points sont concentrés dans les pôles sulfaté calcique avec 100 % des échantillons de 2008 et 50 % des échantillons de 2010, et environ 38 % des points de 2010 sont localisés dans le pôle du faciès chloruré calcique.



**Fig 3.7** Utilisation du rapport  $(Ca^{2+} / HCO_3^- + SO_4) - (Na^+ / Cl^-)$  pour déterminer la répartition des faciès chimiques

### 3.5 Corrélation des éléments chimiques par méthodes statistiques

Les techniques statistiques multivariées, la classification ascendante hiérarchique (CAH, ou Dendrogramme) et l'analyse en composante principale (ACP), sont des moyens efficaces de manipulation, d'interprétation et de représentation des données chimiques des eaux souterraines et de la géochimie. Elles sont fréquemment utilisées pour caractériser la qualité des eaux souterraines. Elles sont aussi appliquées pour distinguer plusieurs signatures des eaux souterraines propres ou contaminées, les activités agricoles, les activités minières et la pollution des eaux usées (BRGM, 2006 ; Fehdi, 2009 ; Comte, 2006 ; Baali, 2007).

L'application des techniques statistiques multivariées à l'ensemble des données des eaux souterraines de la ville de Béchar a permis de dégager des observations importantes.

#### 3.5.1 Dendrogramme

Le regroupement des échantillons analysés, en tenant compte de leur qualité physicochimique (Fehdi, 2009; Heejun, 1999; Pathak, 2008), par l'expression du dendrogramme des eaux souterraines de la ville de Béchar (Fig 3.8 - 9), par la distance euclidienne, ou :

Pour 2008 (Fig 3.8A-B), au niveau 40, quatre classes (individus) se distinguent, ce qui se traduit par : l'influence de la minéralisation des puits P12, P3, P19, P7, P11, par l'ion  $\text{NO}_2$  ; les eaux des P8, P5, P4, P9, par le  $\text{PO}_4$  ; le P18 par les ions  $\text{NH}_4$  ; le P6 par l'ion  $\text{NO}_3$ , et les P1, P2, P16 par Cl et  $\text{SO}_4$ . Les éléments  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , sont considérés comme des indicateurs de pollutions d'origine anthropiques (Rabiet, 2006; Jalali, 2007; Ahoussi Kouassi, 2008; Navaro, 2007 ; Graniel, 1999 ; Cetindag, 2004).

Pour 2010 (Fig 3.9A-B), au niveau 10, quatre classes (individus) se distinguent, ce qui se traduit par : l'influence de la minéralisation des puits P12, P11, P20, P9, P22, P2, P7 par l'ion  $\text{NO}_2$  ; les eaux des puits P8, P16 par les ions K et  $\text{SO}_4$ ; les P21, P19, P5, P10 par l'ion  $\text{NO}_3$  et  $\text{HCO}_3$ , et les P1, P18, P6, P3, P4 par Cl, Na, Mg et Ca.

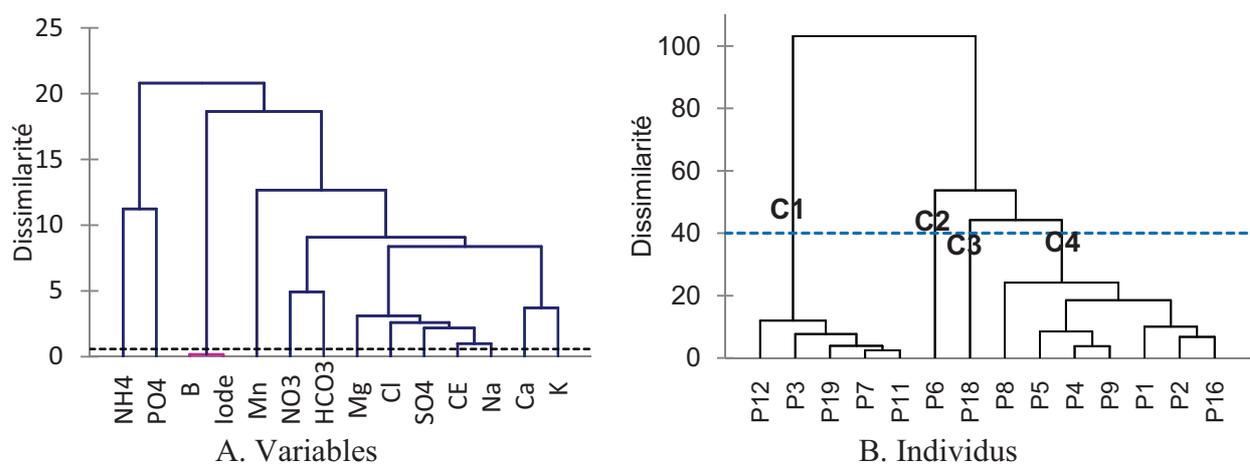
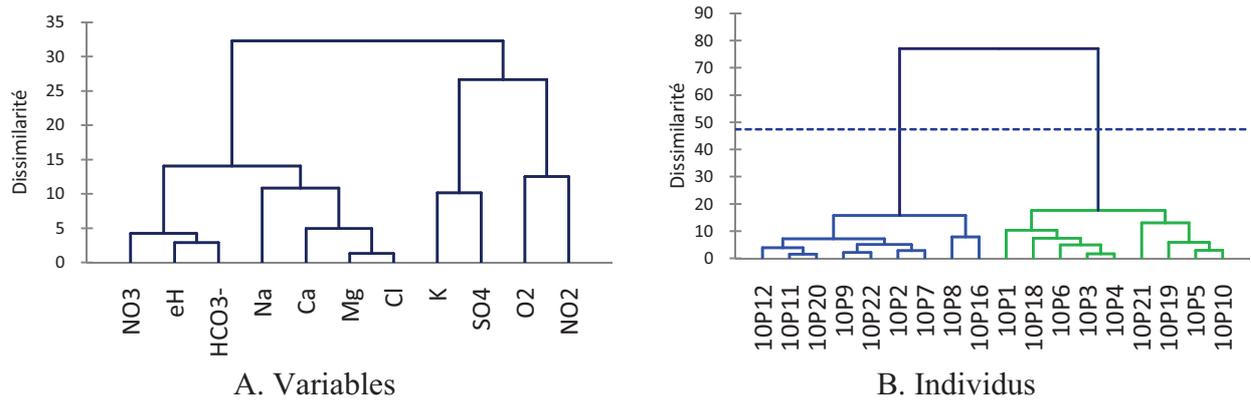


Fig 3.8 Dendrogramme des eaux souterraines de la ville de Bechar (2008)



**Fig 3.9 Dendrogramme des eaux souterraines de la ville de Bechar (2010)**

### 3.5.2 Analyse en composantes principales (ACP)

Une fois appliquée la méthode des composantes principales (Fehdi, 2009; Srivastava, 2008; Labbardi, 2005), (fig 3.10-11) permet de conclure ce qui suit :

- Pour 2008, les deux premiers axes ont été retenus pour la représentation graphique des résultats (fig 3.10), ces deux axes expliquent 60,92% de l'information contenue dans la matrice de données.

Le facteur F1 représente 43,86 % de la variance, il est déterminé par HCO<sub>3</sub>, CE, pH, TDS, SO<sub>4</sub>, Na, Ca, K, Eh, Cl, I, B, P, Mn et NO<sub>3</sub>, le regroupement de ces variables dans la majeure partie du cercle de communauté suivant l'axe F1 indique que ce facteur explique les mécanismes prépondérants d'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines de la ville de Bechar.

Le Facteur F2 représente 17,05 % de la variance exprimée, il est déterminé par les ions NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, les nutriments, c'est donc le facteur de la pollution azotée (liée principalement aux rejets), les eaux souterraines de la ville sont peu profondes et en contact avec l'oued ce qui facilite le déplacement de la pollution organique.

La bonne corrélation qui existe entre les différentes variables qui définissent le facteur F1 traduit une origine commune de ces ions (fig 3.10). L'analyse dans l'espace des unités statistiques permet l'identification des regroupements des eaux analysées. La minéralisation des eaux du puits P18 est influencée par la présence des ions NH<sub>4</sub>; l'échantillon P6 par le NO<sub>3</sub>; les points P8, P5, P4, P9, par le PO<sub>4</sub>; les P3, P1, P7, P19 par NO<sub>2</sub>, et P2, P1, P16 par une minéralisation liée à leur alimentation (Cl, SO<sub>4</sub>).

- Pour 2010 (fig 3.11) Les deux premiers axes F1 et F2 ont été retenus pour la représentation graphique des résultats, ces deux axes expliquent 59,82% de l'information incluse dans la matrice de données.

Le facteur F1 représente 44,04 % de la variance, il est déterminé par Cl, eH, Mg, Na, HCO<sub>3</sub> et NO<sub>3</sub>, le regroupement de ces variables dans une partie du cercle de communauté suivant l'axe F1 indique que ce facteur explique l'acquisition de la minéralisation de ces eaux.

Le Facteur F2 représente 17,05 % de la variance exprimée, il est déterminé par les ions K, SO<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, les nutriments, c'est le facteur de la minéralisation des eaux peu profonde (lies principalement à la présence d'oxygène).

La corrélation entre les différentes variables qui définissent le facteur F1 traduit une éventuelle origine commune de ces ions. Le regroupement des eaux analysées est identifié par l'analyse dans l'espace des unités statistiques. La minéralisation des eaux du puits P19 est influencée par la présence des ions NO<sub>3</sub> (apport anthropique : eaux usées); l'échantillon P21 par le O<sub>2</sub> ; les points P16, P8, P3 par le K et SO<sub>4</sub> ; les P3, P18, P4, P6, P5, P1, P19, P21 par une minéralisation liée à une alimentation par une eau influencée par les formations géologiques traversées (Cl, Na, HCO<sub>3</sub>, Ca).

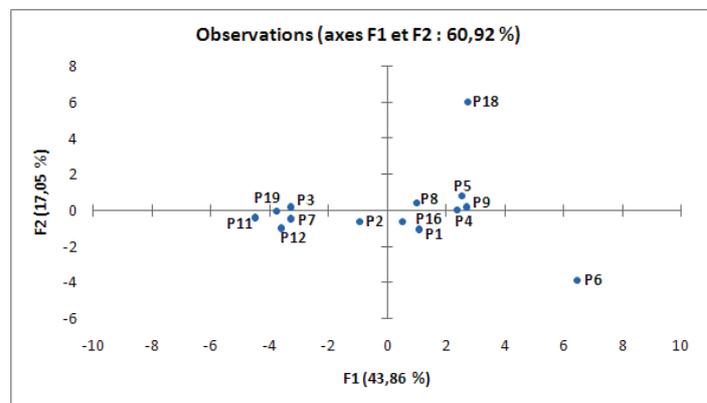
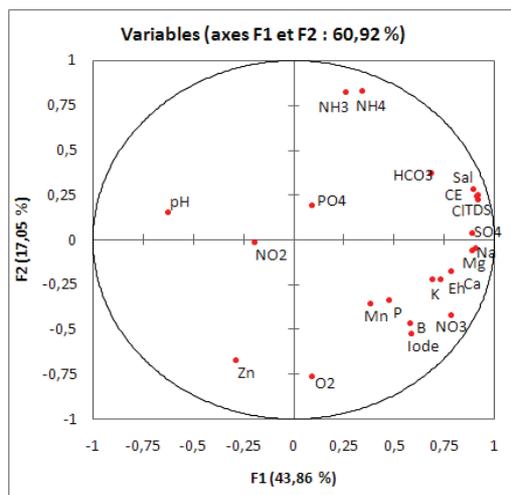


Fig 3.10 Plan factoriel F1 / F2 (2008).

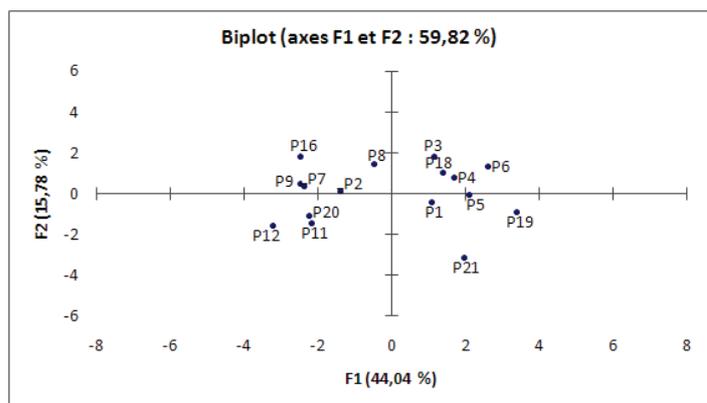
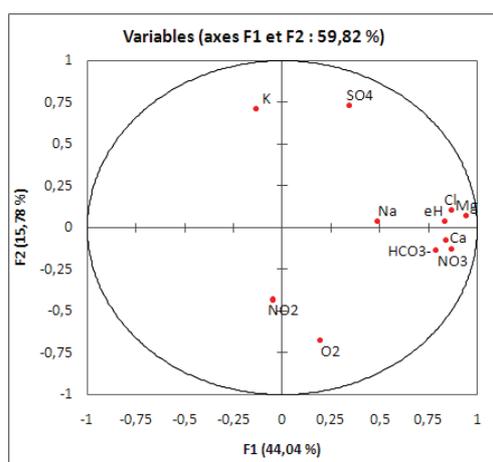


Fig 3.11 Plan factoriel F1 / F2 (2010).

### 3.6 Origine des éléments chimiques et identification des apports anthropiques

L'acquisition du chimisme des eaux souterraines de la ville de Bechar est fonction de plusieurs paramètres :

1. La nappe ou le puits est implanté :

Les puits pris en considérations pour l'évaluation de la qualité chimique des eaux souterraines de la ville de Béchar sont implantées comme suit :

Le P11 dans les calcaires, le P20 dans le Quaternaire ancien, les P12, P19, P9, P8, P7, P16, P21, P6, dans le quaternaire récent et marnes gypsifères ; P5, P3, P2, P1, P4 dans les intercalations des grés carbonifères des marnes et des argiles ; le P18 dans l'inferoflux ; et en fin le P22 dans les alluvions du Namurien.

2. La distance a l'axe de l'oued.
3. Le temps de séjours de l'eau dans l'aquifère.
4. Le sens d'alimentation
5. Les formations géologiques traversées par l'eau avant d'arrivée au puits.
6. Le flux d'alimentation durant la période pluviale.
7. L'évolution hydrochimique est influencée par hydrodynamisme des puits, sous l'effet de l'évaporation (période de basses eaux), et sous l'effet de la recharge par les pluies (période de hautes eaux). (Debieche, 2002)
8. L'apport anthropique est aussi source non négligeable d'ions chimiques.
- 9.

On peu décrire le Mécanisme d'acquisition du chimisme des eaux souterraines de la ville de Bechar (fig 3.12) par le déplacement des éléments chimiques tel que le  $\text{HCO}_3^-$ , Ca des formations calcaires carbonifères, et les ions  $\text{SO}_4$ , Mg des formations gréseuses et argileuses, le Na des formations marneuses et gypsifères, le Cl provient de plusieurs origine : l'oued, l'évaporation, formations marneuses et gypsifères ; le  $\text{NO}_3^-$  provient des eaux résiduaires de l'oued. Les mécanismes sont principalement activés par le lessivage, le temps de sejours, les échanges de base.

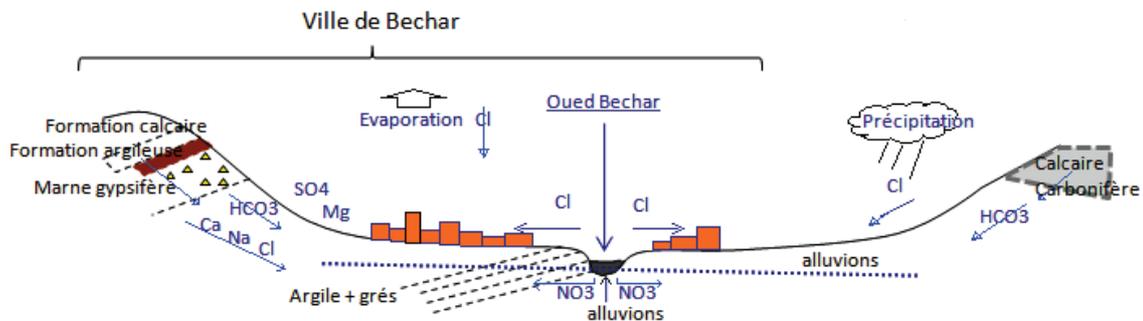


Fig 3.12 Mécanisme d'acquisition du chimisme des eaux souterraines de la ville de Bechar.

### 3.6.1 Diagramme de Gibbs (1970)

Ce diagramme permet la détermination des différentes origines des éléments chimiques à partir de la corrélation qui existe entre eux, notamment l'origine géologique. Cela est expliqué par l'effet d'une alimentation latérale des puits par les nappes et l'oued à cause de l'effet de la recharge par les pluies on observe une évolution entre les deux périodes, avec une augmentation des concentrations pendant la période des basses eaux sous l'effet de l'évaporation qui augmente les concentrations des éléments chimiques Ca-Na-Cl-HCO<sub>3</sub> (Zhu, 2008 ; BRGM, 2006 ; Subba Rao, 2002 ; Venugopal, 2008 ; Srinivasarao, 2007).

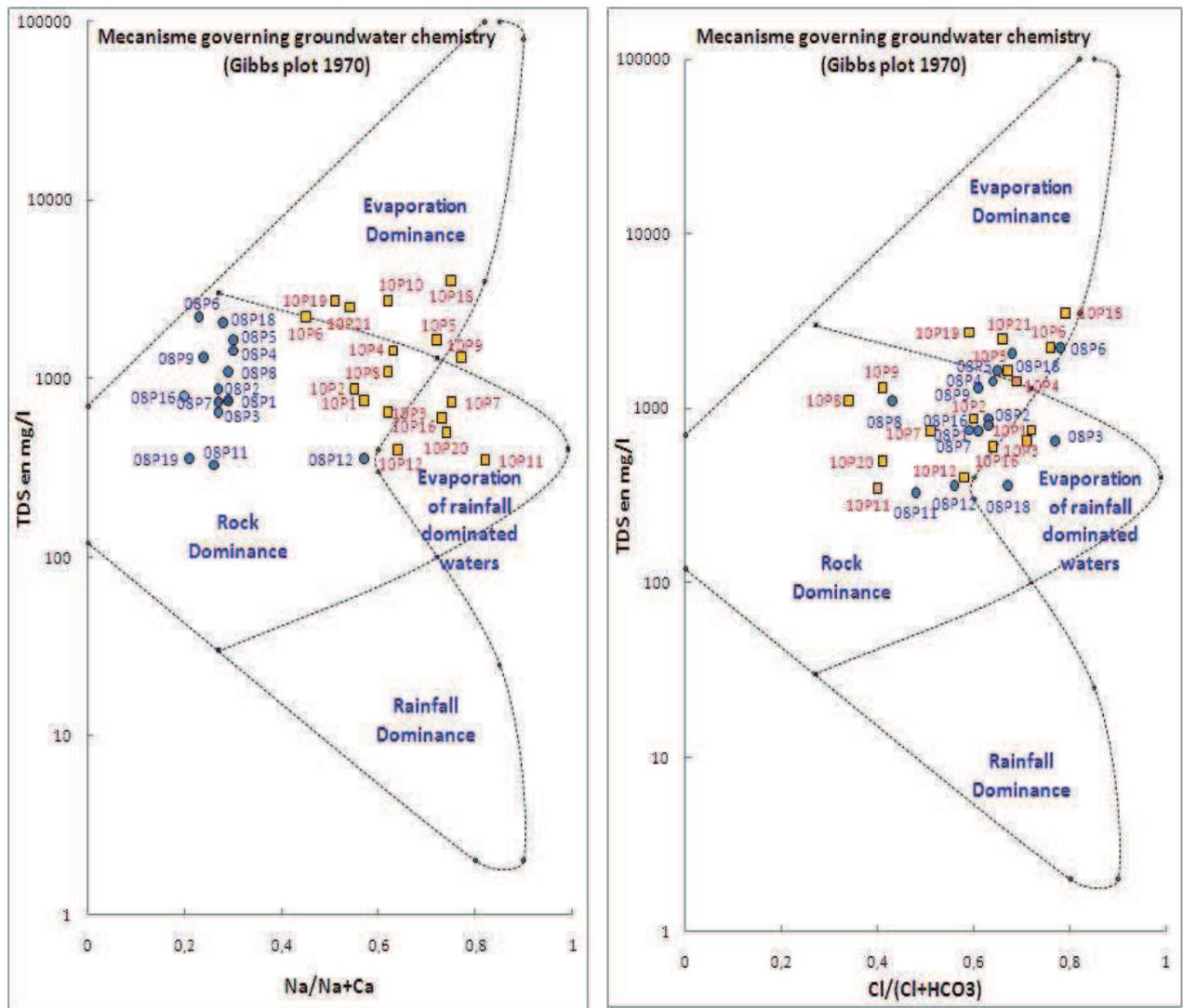
L'application du diagramme de Gibbs eaux souterraines de la ville de Bechar (tab 3.2 et fig 3.13) conduit à certaines déductions :

- Pour le graphe :  $Na/(Na+Ca) = f(TDS)$ , ou l'origine du Na, par rapport au Ca, est pour la majorité (37.5% pour 2010 et 100% pour 2008) des échantillons est l'interaction eaux / roches ; 31% (2010) est d'une évaporation d'eau peu profonde, 31% est d'une évaporation d'eau de précipitation.

- Pour le graphe :  $Cl/(Cl+HCO_3) = f(TDS)$ , décrit que l'origine du Cl, par rapport à l' HCO<sub>3</sub>, est pour la majorité (50% pour 2010 et 64.2% pour 2008) des puits est principalement l'interaction eaux / roches ; 37% (2010) et 21% (2008) est d'une évaporation d'eau peu profonde ; et 14% (2008) et 12% (2010) est d'une évaporation d'eau de précipitation.

**Tab 3.2 Origine du chimisme des eaux souterraines de la ville de Bechar d'après le Diagramme de Gibbs (1970)**

Classes	Graphe : $Na/(Na+Ca)$			Graphe : $Cl/(Cl+HCO_3)$			
	2008	2010		2008		2010	
Rock Dominance	Tous les échantillons	6.4.8.2.1.3	37.5%	4.9.2.16.1.7. 8.12.11	64.2%	9.8.7.20. 11.2.16.12.	50%
Evaporation Dominance	-	19.10.18. 5.21	31.2%	6.18.5	21.4%	18.6.21. 19.5.4	37.5%
Evaporation of rainfall dominated waters	-	7.16.20. 11.12	31.2%	18.3	14.2%	1.3	12.5%
Rainfall Dominance	-	-	-	-	-	-	-



**Fig 3.13** Origine des différents éléments chimiques dans les eaux souterraines de la ville de Bechar (2008, 2010)(Gibbs plot 1970).

### 3.6.2 Rapport $rMg^{2+} / rCa^{2+}$

L'exploitation des rapports (ou « *r* » désigne les teneurs en méq/l) peut être un indicateur de la qualité d'eau, l'étude des rapports caractéristiques les plus courants en hydrogéochimie permet de préciser le milieu de provenance des eaux souterraines et de comparer leur concentration en éléments chimiques (Rabiet, 2006; Petelet-Giroud, 2005; BRGM, 2006).

L'exploitation de cette méthode pour les eaux souterraines de la ville de Bechar (fig 3.14), montre un rapport supérieur à 1 pour 92 % (2007), 71.41%(2008), des échantillons analysés ; il montre une concentration élevée du magnésium, et par conséquent les eaux de Béchar sont plus magnésiennes que calciques ; alors que pour 2010, les taux sont égaux (50%).

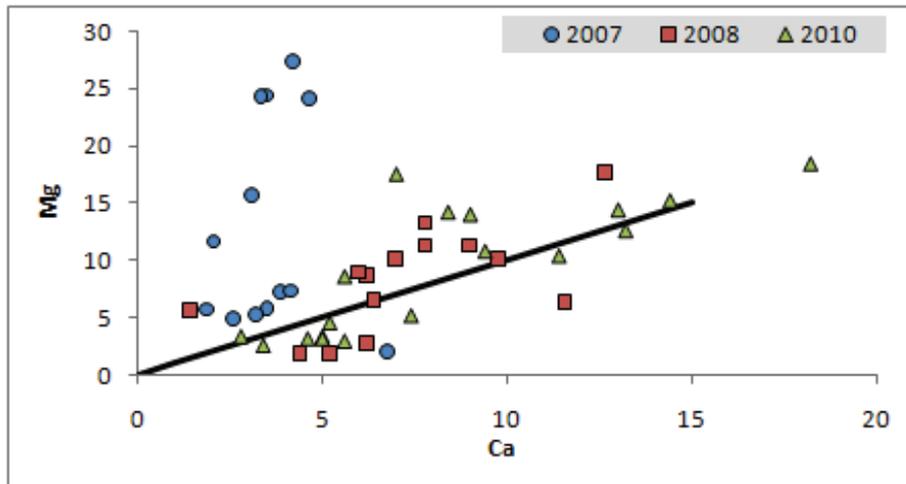


Fig 3.14 Evaluation du rapport Mg/Ca

### 3.6.3 Rapport $rSO_4^{2-}/rCl^-$

L'utilisation du rapport  $rSO_4^{2-}/rCl^-$  (BRGM, 2006 ; Fehd, 2009; Ghabouli, 2008) indique que les échantillons analysés sont chlorés, ce rapport est inférieur à 1 pour 92,95% (2008) et 77,77% (2010) des échantillons analysés, ce qui détermine la prédominance des chlorures sur les sulfates, s'expliquant par le lessivage des terrains marno-gypsifères situés en amont sur le chemin des eaux d'alimentation.

Le graphe de la figure 3.15 montre que l'apport anthropique, en ions  $SO_4$  et  $Cl$ , constitue 21,21% des puits, et dans 3%, il provient de l'interaction eau/roche (temps de séjour relativement long) ; et dans 75,73% il est d'origine recharge par pluie (traverse une formation géologique marno-gypsifères).

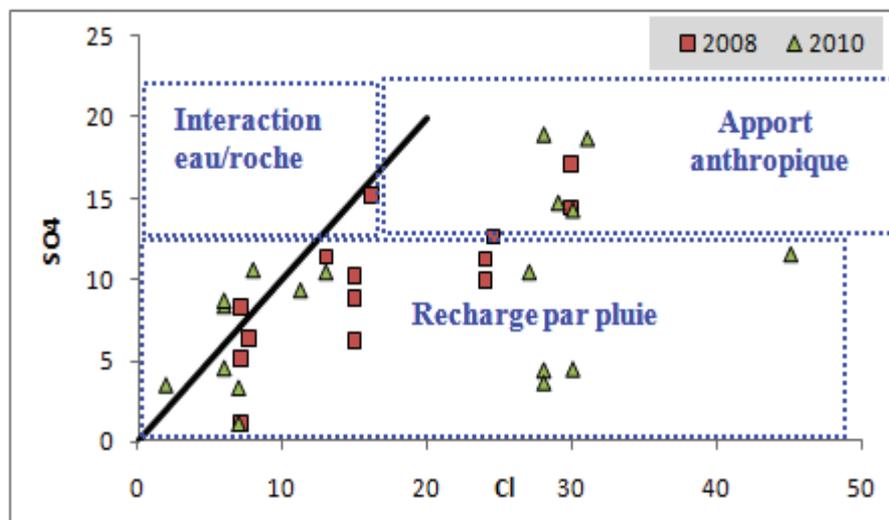


Fig 3.15 Evaluation du rapport  $SO_4/Cl$

### 3.6.4 Rapport $r_{Na-} / r_{Cl-}$

Ces deux éléments chimiques dans les eaux naturelles sont souvent liés à la dissolution de l'halite (NaCl). L'évolution de  $Na^+$  est étudiée en fonction des teneurs en chlorure, car ce dernier est considéré comme un traceur stable et conservatif des évaporites, très soluble, entrant rarement dans les précipitations salines, n'intervenant pas dans les phénomènes d'oxydoréduction et peu influencé par l'intervention des bactéries. En plus son déplacement n'est pas retardé dans l'eau.

La représentation graphique de l'évolution des teneurs en sodium en fonction des concentrations en chlorures sur une échelle logarithmique (BRGM, 2006; Fehdi, 2009 ; Jallali, 2007 ; Srivastava, 2008 ; Zhu, 2008; Debieche, 2006) (Fig 3.16) permet d'observer quatre processus d'acquisition des ions Na et Cl : La dilution, l'apport anthropique, l'interaction eau/roche, l'enrichissement par évaporation.

→ L'apport anthropique constitue 58,62% des puits analysés, alors que l'interaction eau /roche est de 24,13%, l'enrichissement par évaporation a une proportion de 17,24%.

→ Les faibles concentrations en chlorure ( $< 15$  méq.l-1) : les quelques points présentant un excès des teneurs en sodium par rapport à la pente 1, s'explique par l'existence d'une autre origine pour les ions sodiques qui a fait accroître la concentration du sodium par rapport à celle des chlorures.

→ Cet apport supplémentaire pourrait provenir de l'altération des formations argileuses, vu que cet excès en  $Na^+$  est accompagné par un déficit en  $Ca^{2+}$  par rapport à  $HCO_3^-$  et  $SO_4^{2-}$  (Fig. 3.18), l'augmentation des teneurs en  $Na^+$  ne peut s'expliquer que par un échange de base lié aux minéraux argileux qui fixent un ion  $Ca^{2+}$  après libération de deux ions  $Na^+$  (Debieche, 2006)

→ Ce rapport est inférieur à 1 pour 82,76% des échantillons d'eau analysés représentant les eaux souterraines de Béchar, cela peut être expliqué par le dépôt des sels sous des conditions climatiques particulières (faible pluviométrie, l'enrichissement par évaporation), ou par le lessivage des terrains argileux par les eaux d'alimentation, ou par les apports anthropiques (eau des rejets).

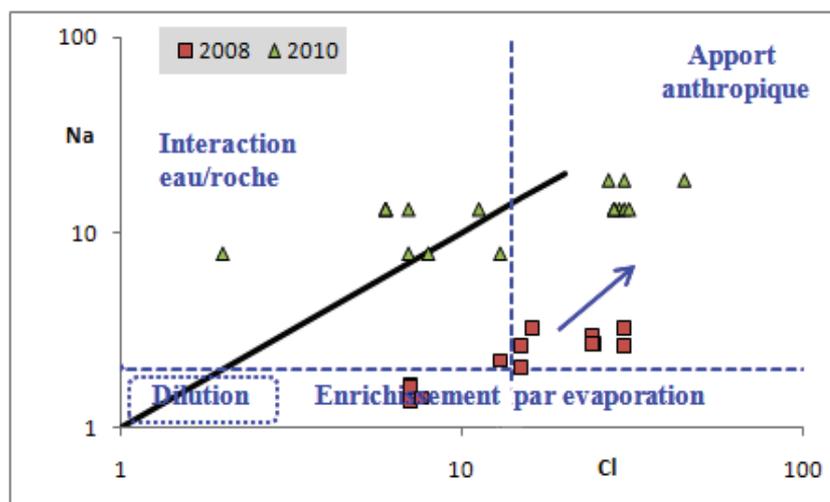


Fig 3.16 Origine du Na et du Cl

### 3.6.5 Rapport $rCa / rHCO_3$

La représentation graphique du rapport  $rCa/rHCO_3$  (fig 3.17) (Zhu, 2008; BRGM, 2006; Ghabouli, 2008) permet de dire que :

- La répartition des points est assez homogène autour de l'axe 1:1, ce qui indique une même origine (carbonaté).
- Le rapport est supérieur à 1 pour 60% des échantillons, est inférieur à 1 pour les 40% restant, favorisant la dominance du Ca sur  $HCO_3$ .
- L'origine la plus probable est le lessivage des formations carbonatées limitrophes, par les eaux d'alimentation (fig 3.12).

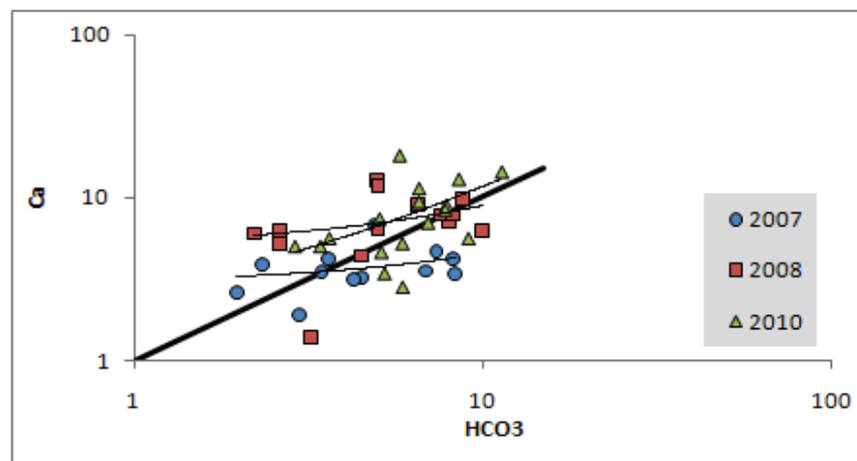


Fig 3.17 Origine du Ca et  $HCO_3$

### 3.6.6 Corrélation entre $Ca / (HCO_3 + SO_4)$ et $Na / Cl$

L'examen de l'origine du calcium en fonction de deux éléments chimiques (bicarbonates et les sulfates) (Rajmohan, 2004; Abid, 2009; Ghabouli, 2008) indique les principaux échanges de base qui s'exerce dans le milieu eau/roche, et aussi les deux origines principales du Ca, à savoir les carbonates et le gypse (fig. 3.18).

Les échanges avec la matrice rocheuse contrôle également la teneur en calcium dans les eaux souterraines de la ville de Béchar, dans le cas où le temps de séjour est relativement long et où la teneur en gaz carbonique est faible (eau peu agressive).

On observe une diminution de la teneur en calcium par rapport à  $HCO_3^- + SO_4^{2+}$ , est une diminution du Na par rapport au Cl, cela implique une forte teneur en  $HCO_3^-$  et en  $SO_4^{2+}$ , ce cas de figure se rencontre fréquemment par la mise en solution de roche sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse ( $CaSO_4$ ).

La projection des différents points sur le diagramme  $Ca^{2+} / (HCO_3^- + SO_4^{2+}) - Na^+ / Cl^-$  (fig 3.18) montre que 20 % des points d'eau subissent un échange de base (avec un temps de séjour long), 3 % des points présentent l'état naturel et 7 % un excès en  $Ca^{2+}$  par rapport aux ions  $HCO_3^-$  et  $SO_4^{2-}$  dû sûrement aux formations gypseuses qui fournissent plus d'ions  $Ca^{2+}$  que ne

peut consommer l'effet de la précipitation chimique ou l'effet de la fixation du calcium par les argiles (Debieche, 2006).

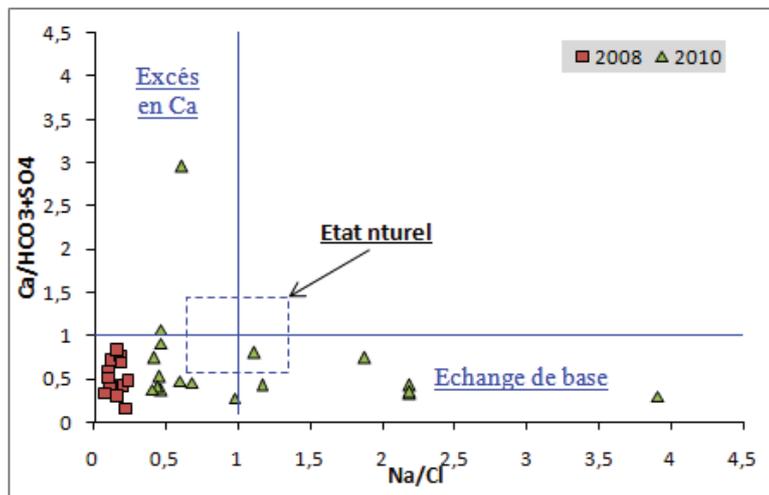


Fig 3.18 Échange de base

### 3.6.7 Rapport $rMg / rCl$

La projection des différents points sur le diagramme Mg/Cl permet de déterminer les différents origine de l'ion Mg (Fehdi, 2009 ; Jalali, 2008 ; Mondal, 2005; BRGM, 2006), on observe que le rapport est inférieur a 1 pour la majorité des points, ce qui indique un dominance du Cl sur le Mg.

Leur origine est principalement due a un échange de base (interaction eau/roche) (93%), avec un temps de séjour suffisant pour l'installation du processus, et 7% est d'origine anthropique.

Les quelques points avec un rapport supérieur a 1, détermine une origine dolomitique ( $CaMgCO_3$ ) de l'ion Mg.

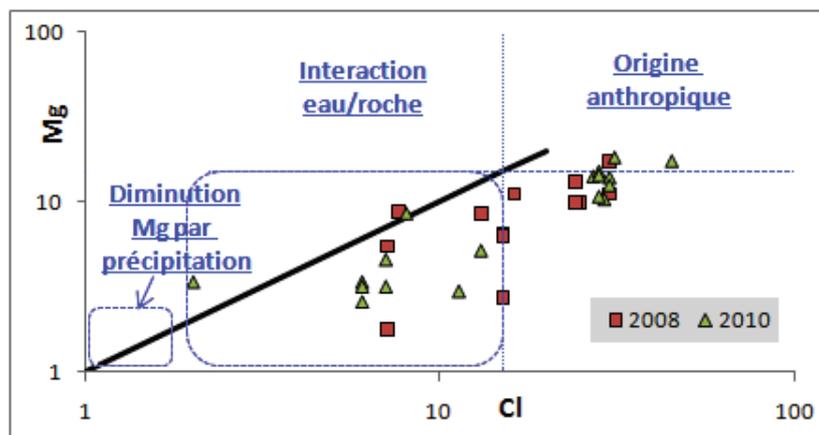


Fig 3.19 Origine du Mg

### 3.6.8 Rapport $r_{NO_3} / r_{Cl}$

La corrélation entre chlorures et nitrates (BRGM, 2006 ; Charmoille, 2000), indique la dominance des chlorures sur les nitrates, du fait que 100% des points sont au dessous de la droite 1:1, aussi que 32,14% sont dans le domaine apport anthropique, 51,72% apportés par perte, par dénitrification ou apport de Cl météorique ou alimentation récente, 3% des points sont localisés dans le milieu naturel.

La présence du  $NO_3$  dans ces eaux suggère un mélange de deux eaux une riche en Cl et l'autre contient une certaine teneur en  $NO_3$  (BRGM, 2006).

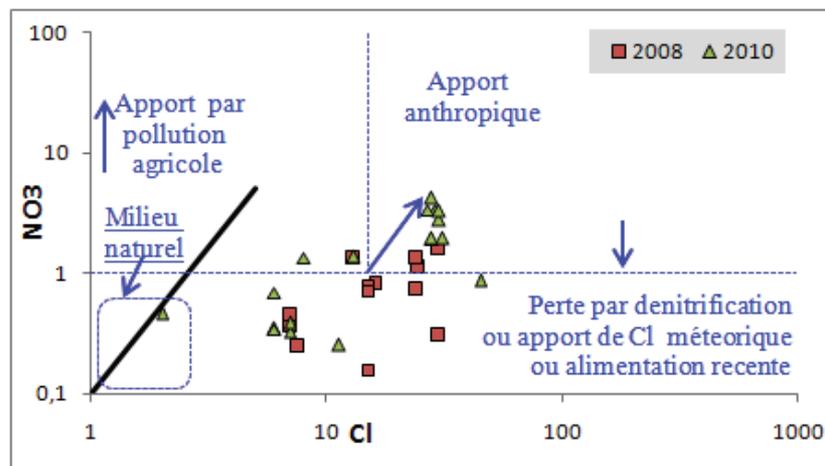


Fig 3.20 Origine du  $NO_3$

### 3.7 Conclusion

L'étude de la qualité des eaux souterraines de la ville de Béchar par les différentes corrélations chimiques a permis de déterminer l'origine des éléments dominants leur chimisme, ainsi que le chemin parcouru par les eaux d'alimentation, et les mécanismes d'acquisition des différents ions, et de déduire les constatations suivantes :

☞ La comparaison des teneurs physicochimiques avec les normes de la qualité des eaux de boissons de l'ADE, ainsi que celles de l'OMS, a montré que le pourcentage total des puits présentant des eaux non potables est de 50,45 % par rapport aux normes de l'ADE, et 40,68 % par rapport à celles de l'OMS.

☞ La détermination de la potabilité par l'analyse microbiologique permet de dire que presque tous les puits sont non potables, ceci est confirmé par la simple présence de germes dans l'eau (germes totaux §1.5-chap1-partie2).

☞ Pour déterminer l'aptitude à l'irrigation eaux souterraines de la ville de Béchar, le diagramme de Wilcox a été appliqué, et sur lequel on observe que seul 28% (2008) des points sont dans la bonne classe, et la majorité (42% pour 2008, 52% pour 2010) sont hors diagramme

☞ La classification des éléments majeurs en fonction de la teneur chimique montre deux faciès dominants, qui sont : le ClCa en 2008 et le ClNa en 2010, ou le remplacement du Ca par le Na est nettement observé, et qui est due à la différence du flux d'alimentation (2008 année plus pluvieuse).

☞ La représentation des données chimiques sur le diagramme de Piper permet de classer les échantillons analysés dans une catégorie de faciès en 2008 (Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne), et deux catégories pour les échantillons analysés en 2010 (Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, et Chlorurée sodique et potassique), et une tendance vers le pôle nitrate (Cl+ NO<sub>3</sub>) lié à la pollution par les rejets.

☞ L'apport anthropique est une source non négligeable d'ions chimiques principalement les nitrates.

☞ Le Mécanisme d'acquisition du chimisme des eaux souterraines de la ville de Béchar s'explique par le déplacement des éléments chimiques tel que le HCO<sub>3</sub>, Ca des formations calcaires carbonifères, et les ions SO<sub>4</sub>, Mg des formations gréseuses et argileuses, le Na des formations marneuses et gypsifères, le Cl provient de plusieurs origines : de l'oued (origine anthropique), de l'évaporation, des formations marneuses et gypsifères, des formations carbonatées ; le NO<sub>3</sub> provient des eaux résiduaires de l'oued. Les mécanismes sont principalement activés par le lessivage, le temps de séjours, et les échanges de base.

## CHAPITRE IV

### **Impact des rejets urbains sur la qualité des eaux souterraines de la ville de Béchar (S W algérien) : Approche par cartographie de la contribution anthropique.**

---

#### **Résumé**

La ville de Bechar est située au Sud Ouest Algérien, elle est traversée par l'oued Bechar du Nord au Sud, sur environ 16 Km, dans cette Oued sont rejetées les eaux usées (urbains) de la ville, ce qui constitue un impact négatif sur la qualité des eaux souterraines, qui, malgré un taux de raccordement au réseau d'AEP estimé à 96 % (2007), restent sollicitées, pour des taches quotidiennes très sensibles (irrigation, bain Turk, douche public, lavage, mosquée,...etc.).

L'évaluation de la contribution à l'anthropisation est l'approche choisie dans ce travail pour déterminer l'impact des rejets urbain sur la qualité des eaux souterraines. Les éléments utilisés sont : NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, Eh, O<sub>2</sub>, ces éléments sont considérés, à des taux élevés, comme des indicateurs de la pollution, et des traceurs potentiels des eaux usées.

**Keywords:** Bechar ; hydrochimie ; contribution anthropique, eau souterraines.

#### **4.1 Introduction**

La ville de Bechar est située au Sud Ouest Algérien (Fig 4.1), dans un climat aride à tendance Saharien, une précipitation irrégulière durant l'année, avec une moyenne de 71,48 mm, pour la série 1988-2008. La température la plus faible est enregistrée au mois de Janvier (4°C) et la plus élevée au mois de Juillet (40°C), avec une moyenne de 27,16°C. L'évaporation (moyenne 305.29 mm) ainsi que l'évapotranspiration dépassent les précipitations, par conséquent toute l'année est sèche (Kabour, 2009).

Elle subit, comme toutes les villes algériennes, une forte demande en eau, proportionnelle à l'augmentation du nombre de la population, au taux d'accroissement de 3,11%, elle est de 161902 habitants en 2007 (Kabour, 2009).

La ville de Bechar s'étale sur une superficie d'environ 160 km<sup>2</sup>, elle est raccordée au réseau d'alimentation en eau potable avec un taux de 96%, une dotation réelle de 139 litre/habitant/jour, et un taux de satisfaction de 71% ([www.mre.gov.dz/eau/aep-mre1-.htm](http://www.mre.gov.dz/eau/aep-mre1-.htm)). Toutefois, les eaux souterraines gardent leur place dans le quotidien des autochtones (irrigation, bain turc, ...etc.) (Kabour, 2009).

L'oued Bechar, par son inferoflux, sur sa trajectoire du Nord au Sud sur plus de 16 Km, traverse les affleurements des formations suivantes : les alluvions du quaternaire ancien (d'épaisseur variable entre 5 à 10 m), les calcaires de l'Eocène dit Barga II (d'épaisseur supérieure à 60 m), ensuite les calcaires du Turonien dit Barga I (de 25 à 45 m d'épaisseur) et les intercalations des calcaires et des grés du Carbonifère Westphalien et enfin un contact latéral

avec les alluvions du Namurien (Kabour, 2009; Deleau, 1951; Kabour, 2008; Roche, 1973; Guerre, 1974; Idrotecnico, 1979; Schoeller, 1959).

## 4.2 Résultats et interprétation

La ville de Béchar est peu industrialisée, l'apport domestique constitue une source majeure de contamination des eaux souterraines, dans ce milieu urbain.

Une campagne de prélèvement a été réalisée en Avril 2008, répartie sur l'ensemble géographique de la ville, sur 14 puits et l'Oued sur 6 points de rejets (Fig 4.1). Pour déterminer l'apport de ces rejets domestiques (Nassahi, 2002; Comte, 2006; Navarro, 2007; Petelet, 2005; Tandia, 1999), l'utilisation des concentrations des éléments: NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, Eh, O<sub>2</sub>, a été appliquée; les résultats de ces analyses (tab 4.1), indiquent des concentrations variables, la composition des eaux résiduaires est plus ou moins variable selon les journées, les mois et les saisons (Nassali, 2002); le NO<sub>2</sub> varie de 1 à 8 mg/l et présente une valeur moyenne de 3,7 mg/l; le NO<sub>3</sub> oscille entre 9,7 et 99,23 mg/l, sa moyenne est de 45,44 mg/l; le NH<sub>4</sub> présente un minimum de 0,2 mg/l et un maximum de 4,4 mg/l et une moyenne de 0,68 mg/l, les valeurs du Eh varient entre -80 à -25 Mv, autour d'une moyenne de -53,57 Mv, enfin l'oxygène dissout (O<sub>2</sub>) est de 4,14 à 6,89 mg/l et une moyenne de 5,3 mg/l.

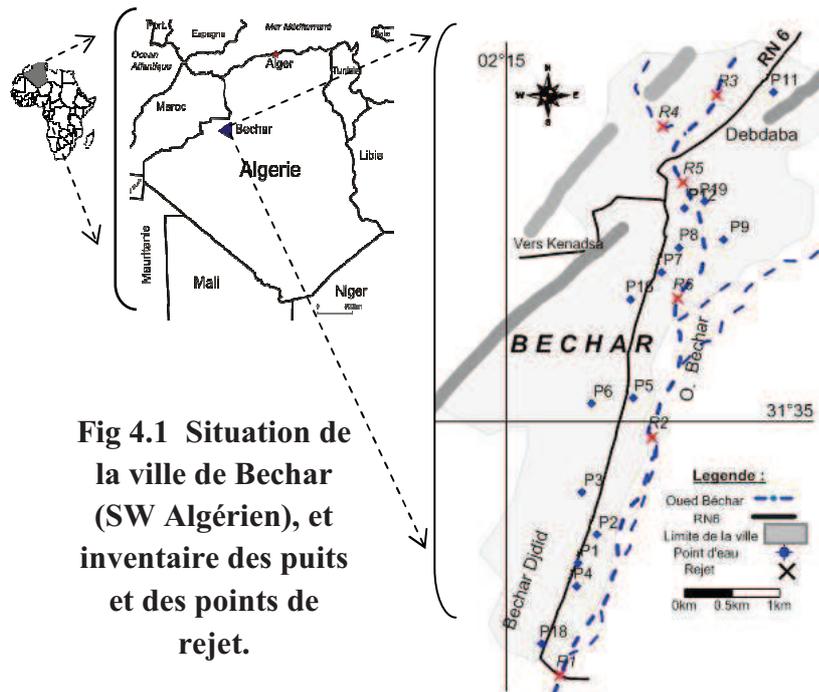


Fig 4.1 Situation de la ville de Bechar (SW Algérien), et inventaire des puits et des points de rejet.

Afin d'une part, confirmer la contamination mise en évidence (Kabour, 2009) et d'autre part, évaluer la variabilité de l'apport d'eaux usées en fonction des conditions hydrogéologiques (Rabiet, 2006), le calcul du paramètre nommé « contribution anthropique » est obtenu en appliquant la formule suivante (Rabiet, 2006) :

$$\text{Contribution anthropique (CA) (\%)} = \{([X]_{\text{effluent}} - [X]_{\text{captage}}) * 100\} / [X]_{\text{effluent}}$$

Avec: [X]<sub>effluent</sub> - concentration de l'élément X dans l'effluent (rejet).

[X]<sub>captage</sub> - concentration de l'élément X dans le captage (puits le plus proche).

Les résultats sont confinés dans le tableau 4.2, où la CA des nitrates est de  $-12,07 \pm 173,88$  %, est celle des nitrites est de  $52,94 \pm 49,06$  %, la CA de l'ion  $\text{NH}_4$  est de  $68,14 \pm 51,41$  %, la valeur de la CA du Eh est de  $-57,24 \pm 90,03$  %, en fin celle de l'oxygène dissout est de  $-58,24 \pm 92,70$  %. Les quantités de la CA prisent en valeur absolu dépassent 50% pour tous les ions considérés, ce qui confirme que les eaux des rejets de l'oued contribuent à un apport important dans la composition chimique des eaux souterraines de la ville de Béchar.

L'interprétation des cartes de la répartition spatiale des valeurs de la contribution anthropique permet d'établir les constatations suivantes:

Sur la carte (fig 4.2) de la CA des nitrates ( $\text{NO}_3$ ), on constate que 42,9 % des puits présentent une CA comprise entre -62 et -65 %, reparti au nord et au Sud de la ville ; le reste est divisé en trois parties presque égales, relativement de faible valeur de la CA, sont situées au centre de la ville.

Sur la carte (fig 4.3) de la CA des nitrites, ou la majorité, 64,3%, des puits appartiennent à l'intervalle 56 à 95 % de la CA, et qui sont réparties sur presque toute la surface de la ville.

Sur la carte (fig 4.4) de la CA de l'ion  $\text{NH}_4$ , 85,7 % des puits sont dans l'intervalle 56,93 à 97,51 % de la CA, avec une répartition spatiale sur la quasi totalité des eaux souterraines de la ville.

Sur la carte (fig 5) de la CA de l' $\text{O}_2$  dissout, on constate que les puits qui sont dans l'intervalle -54 à 18% de la CA, dépassent les 78 %, est occupent presque toute la surface de la ville.

Sur la carte (fig 6) de la CA du paramètre Eh, permet de décrire; quatre intervalle de valeurs de la CA, qui sont réparties irrégulièrement du nord au sud, on a: 35% entre -4 à -67%, 28% de 76 à -4%, 21% entre -76 et -148%, et enfin 14% des valeurs sont situées entre -148 et -220 % de la CA.

Vues ces résultats, quelque interprétations s'imposent :

Si on classe les différents ions par la valeur moyenne de la CA, on obtiendra, par ordre décroissant, en premier lieu le  $\text{NH}_4$ , le  $\text{NO}_2$ , le  $\text{NO}_3$ , puis le Eh, et enfin l' $\text{O}_2$ .

Si l'on s'intéresse aux formes de l'azote en solution et en excluant  $\text{N}_2$ , les espèces les plus fréquentes sont  $\text{NO}_2^-$ , le nitrite, et  $\text{NH}_4^+$  en forme ammoniacale ([www.terre-et-eau.univ-avignon.fr/redox\\_notions.htm](http://www.terre-et-eau.univ-avignon.fr/redox_notions.htm)).



Ceci apparaît plus facilement en écrivant :



Par ailleurs les nitrites en forme ammoniacale  $\text{NH}_4^+$  sont déduit de :



L'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) est la forme la plus réduite de l'azote dans les eaux naturelles, il a la propriété d'être adsorbé sur les surface minéralisés, les sources d'azote ammoniacal sont variées: soit eau météorique (0,1 à 2 mg/l), soit la réduction des nitrates par des bactéries autotrophes ou par des éléments métalliques, ou dégradation de la matière organique (BRGM, 2006; Katerjia, 2004).

Bien que le potentiel d'oxydoréduction (Eh) soit relativement faible, traduit un milieu réducteur et une présence partielle de l'ion  $\text{NH}_4$  (BRGM, 2006; Katerjia, 2004).

Face à un aquifère dont la teneur en  $\text{NO}_3$  diminue, dans le temps ou dans l'espace, plusieurs hypothèses peuvent être formulées, soit une assimilation des nitrates par la végétation, dans la zone racinaire, ceci en cas de nappe peu profonde, soit une consommation des nitrates par dénitrification (BRGM, 2006).

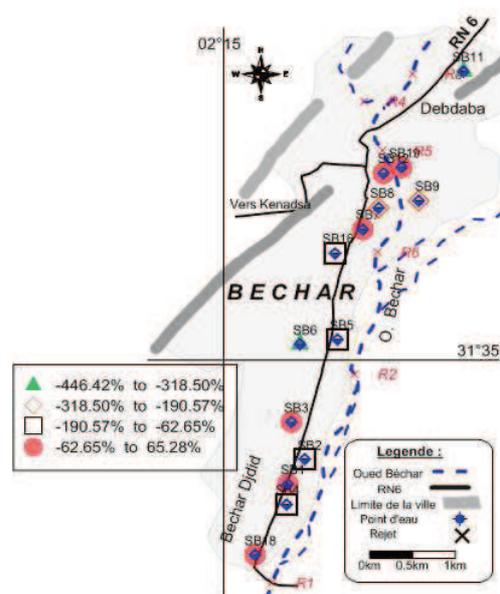
Les valeurs négatives de la CA des nitrates indique la présence de nitrification, il est donc probable que la matière azotée soit rejetée sous forme d'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4$ ), qui est susceptible de s'oxyder en  $\text{NO}_3$  une fois dans l'environnement aqueux. Ainsi les teneurs en nitrates observées dans les puits ( $\text{NO}_3 > 10 \text{ mg/l}$ ), permettent tout de même de considérer que les eaux domestiques de l'oued contribuent à l'apport de nitrates dans les eaux souterraines.

**Tab 4.1 Statistiques descriptives des concentrations des éléments dans les eaux souterraines de la ville de Béchar (Avril 2008)**

	Mean	Min	Max	SD
$\text{NO}_2$ (mg/l)	3,71	1	8	2,58
$\text{NO}_3$ (mg/l)	45,44	9,75	99,23	28,31
$\text{NH}_4$ (mg/l)	0,68	0,2	4,4	1,16
Eh (Mv)	-53,57	-80	-25	19,8
$\text{O}_2$ (mg/l)	5,32	4,14	6,89	0,73

**Tab 4.2 Statistiques Descriptives de la contribution anthropique.**

	Mean	Min	Max	SD
CE $\text{NO}_2$ (%)	52,94	-60	95,24	49,06
CE $\text{NO}_3$ (%)	-121,07	-446,42	65,28	173,88
CE $\text{NH}_4$ (%)	68,15	-64,79	97,51	51,41
CE Eh(%)	-57,24	-220,83	67,95	90,03
CE $\text{O}_2$ (%)	-58,24	-274,14	18,18	92,7



**Fig 4.2 Carte de la CA du  $\text{NO}_3$  (%)**

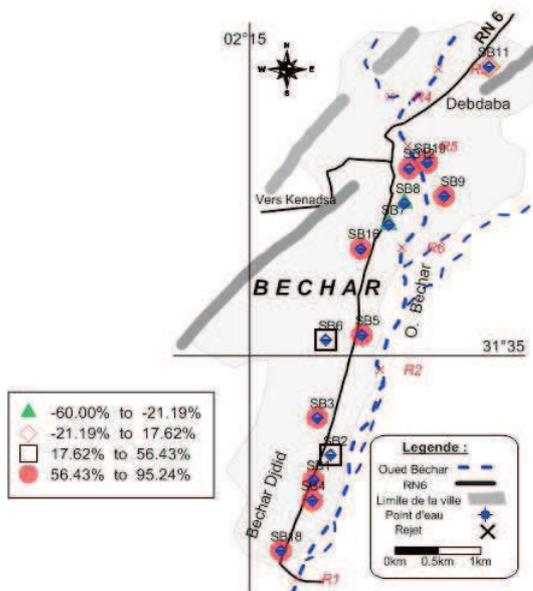


Fig 4.3 Carte de la CA du NO<sub>2</sub> (%)

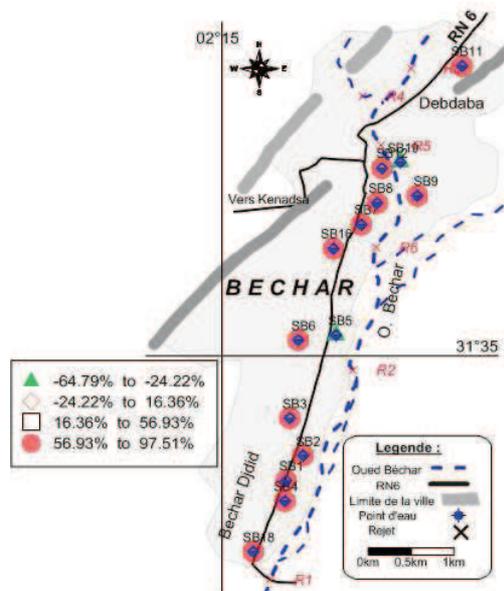


Fig 4.4 Carte de la CA du NH<sub>4</sub> (%)

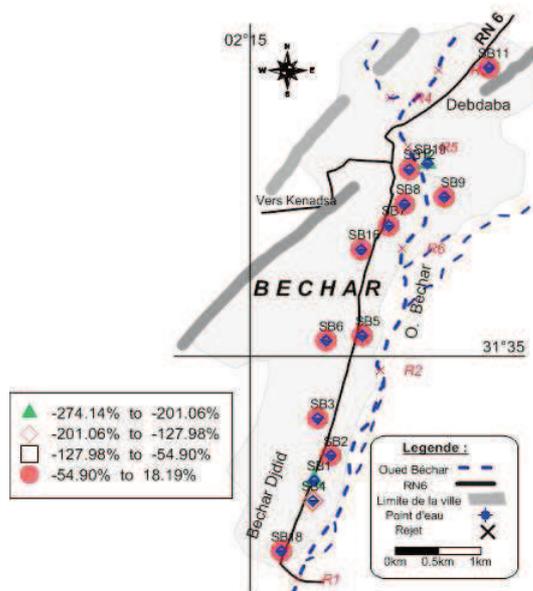


Fig 4.5 Carte de la CA du O<sub>2</sub> (%)

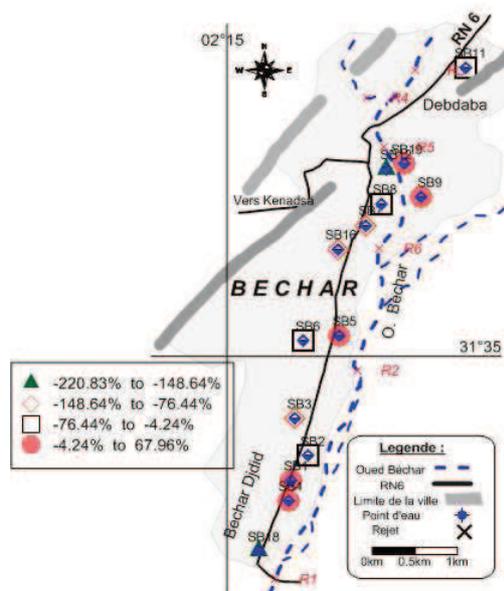


Fig 4.6 Carte de la CA du Eh (%)

### 4.3 Conclusion

Dans ce travail, l'objectif été de déterminer la contribution anthropique des différents éléments sélectionnés (NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, Eh, O<sub>2</sub>), dans la Composition chimique des eaux souterraines de la ville de Bechar ; ainsi que leur répartition spatiale, qui traduit une contamination irrégulière et généralisée mettant en évidence une pollution variable avec la proximité des rejets domestiques bruts déversés dans l'oued Béchar, accentuée par des conditions hydrogéologiques très favorables, de par la constitution de l'aquifère de l'inferoflux, permet le transfert de ces éléments dans les eaux souterraines.

L'effet néfaste des rejets urbains sur cette nappe, tant convoité est mis en évidence, et il apparaît primordial de mettre un terme à cette pollution en adoptant les mesures nécessaires. La préservation de cette ressource impose un plan de réaménagement complet reposant sur l'emplacement d'un réseau d'assainissement adéquat permettant de joindre les eaux résiduaires pour regrouper toutes les eaux rejetées. Le canal pourra acheminer à l'aval, vers une station d'épuration qui aura un impact très positive sur le milieu récepteur.

## CHAPITRE V

### Evaluation de l'indice du risque sur la sante publique

---

#### 5.1 Synthèse bibliographique

Dans les pays du Tiers-Monde, depuis 1981, date de plein épanouissement de la "Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (DIEPA)", on ne rêve que de multiplier les quantités d'eau à fournir aux populations. Pourtant, dans les pays les plus démunis, on ne meurt guère de soif. En revanche des millions d'adultes et d'enfants disparaissent, chaque année, en raison de la pollution pathogène de l'eau et de l'environnement. Selon l'OMS, entre 3 millions directement et 20 millions de façon indirecte, par an. Ces cas vont en augmentant avec le développement de la population mondiale (Monjour 2000).

Le signe pathologique majeur de ce manque d'hygiène est la diarrhée ou gastro-entérite infectieuse (attribuées à l'insalubrité). Il existe, par jour, 600 millions de cas dans le monde, qui s'expliquent, aisément, après une simple analyse bactériologique. Dans l'échelle d'importance des pathologies majeures et terrifiantes les gastro-entérites infectieuses occupent, toujours, la première place avec 20 millions de morts par an. Toutefois, le pire est à venir. A la moitié du siècle prochain, quand la population mondiale avoisinera - dit-on - 12 milliards d'habitants, les gastro-entérites infectieuses, aussi galopantes que la démographie, pourraient faire disparaître, en un an, 40 millions de personnes, une population à peu près équivalente à celle de l'Espagne (Monjour 2000).

Comme remède, il faut un suivit continue de la qualité de l'eau, cette continuité doit caractérisée la surveillance de l'évolution de la pollution des nappes, notamment en profondeur. Les modes de transfert de l'eau et des polluants dans la zone non saturée d'une part, dans la nappe d'autre part, doivent maintenant être impérativement caractérisés afin de hiérarchiser les différents facteurs de pollution et prendre les mesures conservatoires appropriées (Chippaux, 2002 ; Ramakrishnaiah, 2009).

#### 5.1.1 Méthodes de l'évaluation de l'impact sur l'environnement

Plusieurs auteurs ont abordés la notion de l'évaluation de l'impact sur l'environnement, par des méthodes différentes tel que l'impact anthropique sur le chimisme des eaux du milieu récepteur (surface et souterrain) (Bur, 2008), d'autres utilisent le traçage chimique (Rabiet, 2006), ainsi que des approches globales et multidisciplinaires (processus physiques et transfert de polluants) (Martinelli, 1999), et même l'identification des signatures anthropiques dans les eaux naturelles (Tessier, 2003).

Généralement en Algérie l'assainissement compte un seul type de réseaux d'égouts, soit le réseau unitaire. Le réseau unitaire est constitué d'un seul égout qui intercepte toutes les eaux usées de l'agglomération qu'il dessert, que ce soit des eaux d'origine domestique (résidentielles, commerciales, industrielles ou institutionnelles) ou pluviale.

Les intercepteurs sont conçus pour véhiculer un débit de pointe, afin d'éviter les surcharges en temps de pluie, le mélange d'eaux domestiques et pluviales est alors rejeté directement dans le milieu récepteur, sans être traité.

En principe, ces eaux sont acheminées vers une station d'épuration et ne devraient pas se retrouver dans le milieu récepteur. Il en est tout autrement dans la réalité. D'une part, en cas de surcharge, les eaux sanitaires du réseau d'interception évacué, vers le milieu récepteur contribuent à la contamination de ce dernier. Finalement, il se peut que le réseau d'égout domestique soit sous dimensionné pour desservir les besoins résidentiels actuels entraînant ainsi un trop-plein de l'égout domestique.

Non seulement les eaux usées domestiques présentes dans les conduites du réseau sont contaminées, mais les eaux de ruissellement qui s'y mélangent le sont aussi de façon importante. En effet, lors de précipitations, la pollution atmosphérique et les contaminants accumulés sur le sol sont entraînés par les eaux de ruissellement, jusqu'à l'égout. Ces derniers sont d'origines variées tels que : les véhicules routiers; les déchets de consommation humaine; les excréments d'animaux ; les engrais et les pesticides.

Ces eaux peuvent atteindre des concentrations allant jusqu'à un million d'organismes *E. coli* par 100 ml d'eau. Le déversement des eaux contaminées entraîne des impacts microbiens importants pour les milieux récepteurs puisque certains micro-organismes sont pathogènes pour l'humain (CZIP, 1999).

#### **5.1.1.1 Impacts esthétiques**

Les impacts esthétiques sont attribuables, en partie, aux paramètres physiques l'odeur désagréable et incommodante et la forte turbidité qui caractérise les eaux résiduaires. Cet impact aura plus ou moins d'importance. Une autre source de nuisance est la présence de débris sanitaires dans les eaux déversées. Signalons que les impacts esthétiques sont généralement observés à proximité du point de rejet (CZIP, 1999).

#### **5.1.1.2 Impacts microbiens**

En période de temps sec, les impacts sont moins évidents mais demeurent tout autant sérieux. La charge polluante qui est déversée par les émissaires pluviaux dans les cours d'eau en temps sec est fortement diluée par le milieu récepteur. Toutefois, la contamination par les coliformes fécaux demeure problématique. En effet, même avec un facteur de dilution de 10<sup>2</sup> ou de 10<sup>4</sup>, ces paramètres peuvent avoir un impact significatif sur le milieu récepteur et les usagers en provoquant des maladies (CZIP, 1999).

En plus d'être très turbides, les eaux du réseau unitaire sont fortement contaminées par des micro-organismes. À eux seuls, les coliformes fécaux peuvent atteindre des concentrations allant jusqu'à un million d'organismes par 100 ml d'eau. Le déversement de ces eaux contaminées peut entraîner des impacts microbiens importants pour les milieux récepteurs puisque certains micro-organismes sont pathogènes. Ces micro-organismes pathogènes peuvent être regroupés en trois catégories, soit les bactéries, les virus et les parasites. Entre autres, ils peuvent causer des maladies gastro-intestinales, des maladies respiratoires et des infections cutanées (Annexe 10, Hartmann, 2004).

Lorsque les conditions physico-chimiques du milieu récepteur sont favorables, les microorganismes peuvent survivre durant plusieurs jours. Poussés par le flux d'alimentation de la nappe, on pourra alors les retrouver dans le milieu récepteur en aval du point de rejet. Selon les conditions hydrologiques et hydrogéologiques présentes, la distance parcourue par les microorganismes sera plus ou moins grande (FAO/OMS, 2004).

### 5.1.1.3 Impacts physico-chimiques

La présence de matières organiques et de métaux dans les eaux de ruissellement entraîne des impacts physico-chimiques sur le milieu récepteur. À haute concentration, certains de ces composés peuvent être très toxiques pour les organismes aquatiques et pour l'humain. Le mercure, notamment, s'accumule dans la chair des poissons et se transmet, tout au long de la chaîne alimentaire, jusqu'à l'humain (bioaccumulation) (Annexe 9).

Certains contaminants, tels les métaux, sont adsorbés sur les particules présentes dans le milieu récepteur. Ainsi, ces polluants se retrouveront dans les sédiments, à proximité de l'émissaire. D'autres contaminants présents sous forme ionique, les chlorures et les phosphates par exemple, se retrouvent dissous dans le milieu récepteur et sont entraînés avec le flux (Baumont, 2005).

## 5.1.2 Méthodes de l'évaluation de l'impact sur la santé (indice de risque)

### 5.1.2.1 Les risques à la santé associés aux usages directs et indirects

Toutes les normes du monde mentionnent que les eaux utilisées à des fins de consommation doivent être suffisamment exemptes de dangers d'origine microbiologique, physique et chimique pour que le risque qu'elles présentent pour la santé et la sécurité des usagers soit négligeable (FAO/OMS, 2004).

Les infections transmises par les micro-organismes pathogènes, ainsi que des lésions et des troubles dus à des problèmes de qualité chimique et physique de l'eau sont parmi les dangers que les contacts directs avec l'eau représentent pour la santé (CFPTHMT, 2005).

C'est par voie orale, cutanée, nasale ou encore par les yeux et les oreilles que les micro-organismes pathogènes (principalement les coliformes fécaux) infectent l'organisme humain, à cet effet, il est important de noter que les utilisateurs ne sont pas à l'abri des risques liés au contact de l'eau pollué. (Annexe 9 et 10) (Navaro, 2007).

### 5.1.2.2 Évaluation des risques microbiologiques

Il convient d'identifier le ou les dangers microbiologiques potentiels associés au procédé ou au produit, c'est-à-dire toutes les sources potentielles de contamination (air, eaux, surfaces...) qui peuvent être à l'origine d'éléments biologiques responsables d'un effet indésirable (Squinazi, 2006).

L'équipe chargée de l'analyse des risques devra évaluer la probabilité que le ou les dangers identifiés se produisent, en prenant en compte l'ensemble des facteurs de risques associés au procédé ou au milieu à protéger (Squinazi, 2006).

Selon le niveau de risque attribué au procédé ou au milieu, il est déterminé, au sein de l'environnement, des zones à risques très élevés, risques élevés, risques moyens ou risques faibles ou négligeables. Une zone à risques est un espace défini et délimité, où des individus, des produits ou milieu naturel (ou une combinaison quelconque de cet ensemble) présentent une vulnérabilité particulière à la contamination.

Dans chacune des zones à risques définies, on identifie les mesures adaptées, pour évaluer les risques de contamination (microbiologiques). On détermine alors les points critiques d'évaluation, c'est-à-dire les points, les procédures, les étapes de l'opération ou les conditions de l'environnement que l'on peut maîtriser afin d'éliminer le ou les dangers microbiologiques ou de réduire la probabilité qu'ils se produisent (Squinazi, 2006).

## 5.2 Evaluation de l'indice de risque pour la ville de Bechar

Les grandes villes des pays en voie de développement connaissent généralement une croissance démographique galopante qui engendre des problèmes multiples et complexes (Ahoussi, 2008). Au défi croissant que pose la demande en eau et leur gestion, se rajoute les problèmes de rejet des eaux usées (Tandia, 1999; Bloundi, 2005), et dans notre cas l'influence de l'aridité du climat sur les ressources hydriques (Mondal, 2005).

Ce travail porte sur l'étude des caractéristiques physico-chimiques des rejets urbains déversés dans l'Oued Bechar, leur impact sur l'environnement, principalement sur la qualité des eaux souterraines, et secondairement sur la santé public.

L'approche est d'abord faite par l'analyse des résultats chimiques montrant qu'une pollution d'origine anthropique (71%), constitue un impact important sur l'environnement, par la détérioration de la qualité des eaux souterraines, par la prolifération des indicateurs marquant cette présence ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PO}_4$ , Pb, Zn) (Kabour, 2009).

L'évaluation de l'indice de risque pour le déterminant : ingestion des eaux souterraines, aux ions Pb et Zn, pour les enfants et les adultes, est signifiant, d'une valeur de 1,3 (Pb, enfants), exprime la présence d'un risque, et des mesures doivent être préconisées pour l'éliminer.

### 5.2.1 Application de la méthode sur le site de Bechar

Dans ce projet, le logiciel RISK 4.0 est utilisé, où il faut accomplir les étapes montrées ci-dessous pour exécuter une analyse de risque :

Étape 1 : choisir les produits chimiques suspectés (Zn et Pb)

Étape 2 : voies d'exposition : - santé humaine, - écologique/qualité de l'eau

Étape 3 : déterminer les concentrations aux points de réception (concentration aux puits)

Étape 4 : décrire les récepteurs (caractéristiques des puits)

Étape 5 : calculer le risque ou/et calculer les niveaux de nettoyage

Étape 6 : visionner les résultats (sous forme de graphe ou tableau)

L'application sur le site de Bechar donne les résultats suivants :

**Fate and transport model input summary file**

Model description:

Saturated zone model (dissolved phase source)

Simulation time year: 10

Saturated zone model source

Pulse source:

Length of pulse (yr).....10.0

Total thickness of source (m)..... 1.00

Length of source (m) .....6.00E+03

Width of source (m).....2.00

Aquifer properties

Effective porosity (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>).....0.45

Fraction organic carbon (g oc/g soil)....2.00E-03

Hydraulic conductivity (m/d).....0.70

Soil bulk density (g/ cm<sup>3</sup>).....1.70

Hydraulic gradient (m/m).....1.00E-02

Longitudinal dispersivity (m).....code calculated

Transverse dispersivity (m).....code calculated

Vertical dispersivity (m).....code calculated

Receptor well location

Distance down-gradient (m).....50.0

Distance cross-gradient (m).....30.0

Depth to top of well screen (m).....0.50

Depth to bottom of well screen (m).....10.0

Number of points used to calc. conc.....10



---

MODEL OUTPUT FOR: Zinc

---

Initial mass input to bring source area up to the  
required concentration in GW (mg/d)... 5.226E+09  
Mass input rate for pulse source in GW (mg/d)... 47.7  
Mass input rate = (Darcy flux) \* (Source conc)  
= K \* gradient \* (Source conc)

Contaminant Velocity in Saturated Zone

---

Aquifer gradient ..... 1.000E-02  
Hydraulic conductivity (m/d)..... 0.700  
Kd (m<sup>3</sup>/kg)..... 7.500E-02  
Retardation coefficient..... 284.  
Seepage velocity (m/d)..... 1.556E-02  
Retarded seepage velocity (m/d)..... 5.471E-05

Dispersion Calculations in Saturated Zone

---

Distance used for dispersion calculations (m) 3.050E+03  
Distance = (Dist. to well) + (Source Length)/2  
  
Calculated longitudinal dispersivity (m)..... 84.7  
Calculated transverse dispersivity (m)..... 28.2  
Calculated vertical dispersivity (m)..... 0.324

---

Initial mass input to bring source area up to the  
required concentration in GW (mg/d)... 5.226E+09  
Mass input rate for pulse source in GW (mg/d)... 47.7  
Mass input rate = (Darcy flux) \* (Source conc)  
= K \* gradient \* (Source conc)

Contaminant Velocity in Saturated Zone

---

Aquifer gradient ..... 1.000E-02  
Hydraulic conductivity (m/d)..... 0.700  
Kd (m<sup>3</sup>/kg)..... 7.500E-02  
Retardation coefficient..... 284.  
Seepage velocity (m/d)..... 1.556E-02  
Retarded seepage velocity (m/d)..... 5.471E-05

Dispersion Calculations in Saturated Zone

---

Distance used for dispersion calculations (m) 3.050E+03  
Distance = (Dist. to well) + (Source Length)/2  
  
Calculated longitudinal dispersivity (m)..... 84.7  
Calculated transverse dispersivity (m)..... 28.2  
Calculated vertical dispersivity (m)..... 0.324

---

Enter Receptor Specific Data		
	Adult Resident - Typical	Child Resident - Typical
Lifetime [yr]	70	70
Body Weight [kg]	70	15
Exp. Freq. for Soil [events/yr]	40	130
Exp. Duration for Soil [yr]	9	6
Total Skin Surface Area [cm <sup>2</sup> ]	18400	6800
Fraction Skin Exposed to Soil [-]	0.11	0.13
Soil/Skin Adherence Factor [mg/cm <sup>2</sup> ]	0.2	0.2
Exp. Freq. for Groundwater [events/yr]	350	350
Exp. Duration for Groundwater [yr]	9	6
Ingestion Rate for Groundwater [l/day]	1.1	0.5
Time of Exposure While Washing [hr/day]	0.12	0.12
Lung Retention Factor [-]	1	1
Inhalation Rate in Shower [m <sup>3</sup> /hr]	0.6	0.6
Volume of Bathroom [m <sup>3</sup> ]	5.2	5.2
Flowrate of Shower [l/min]	8	8
Temperature of Shower [C]	45	45
Diameter of Shower Droplet [cm]	0.1	0.1
Droplet Drop Time [sec]	2	2
Exp. Freq. for Irrigation Water [events/yr]	20	20
Ingestion Rate for Irrigation Water [ml/hr]	10	10
Time in Contact with Irrigation Water [hr/d]	0.5	0.5
Fraction of Skin Surface Area for Irrig. [-]	0.1	1
Exp. Freq. for Groundwater [events/yr]	350	350
Exp. Duration for Groundwater [yr]	10	16
Ingestion Rate for Groundwater [l/day]	1.1	0.5
Time of Exposure While Washing [hr/day]	0.2	0.2
Lung Retention Factor [-]	1	1
Inhalation Rate in Shower [m <sup>3</sup> /hr]	0.1	0.1
Volume of Bathroom [m <sup>3</sup> ]	5.2	5.2
Flowrate of Shower [l/min]	8	8
Temperature of Shower [C]	45	45
Diameter of Shower Droplet [cm]	0.1	0.1
Droplet Drop Time [sec]	2	2
Exp. Freq. for Irrigation Water [events/yr]	250	300
Ingestion Rate for Irrigation Water [ml/hr]	9	6
Time in Contact with Irrigation Water [hr/d]	0.5	0.5
Fraction of Skin Surface Area for Irrig. [-]	0.1	1
Exp. Freq. for Vegetable Intake [events/yr]	350	350
Exp. Duration for Vegetable Intake [yr]	9	6
Ingestion Rate for Root Vegetables [g/day]	87.5	48.5
Ingestion Rate for Above Ground Veg.[g/day]	127	55.8
Fraction of Veg. Grown in Cont. Soil [-]	0.1	0.1
Fraction Organic Carbon-Garden Soil [g/g]	0.05	0.05
Enter Bioavailability in Soil for Each Chemical [fraction]		
Lead	0.01	0.01
Zinc	0.01	0.01

Partie II : Résultats et discussion

```

Title:
New Project
File not saved

Scenarios:
Adult Resident - Typical
Child Resident - Typical

Routes:
DERMAL CONTACT WITH SOIL
INGESTION OF GROUNDWATER
DERMAL CONTACT DURING SHOWER
INHALATION DURING SHOWER
INGESTION OF IRRIGATION WATER
DERMAL CONTACT WITH IRRIG. WATER
INGESTION OF VEGETABLES

Chemicals:
Lead
Zinc
    
```

SUMMARY OF INPUT PARAMETERS	SCENARIO:	
	1	2
<b>LIFETIME AND BODY WEIGHT</b>		
Body Weight (kg)	70.0	15.0
Lifetime (years)	70.0	70.0
<b>DERMAL CONTACT WITH SOIL</b>		
Total Skin Surface Area (cm <sup>2</sup> )	1.840E+04	6.800E+03
Fraction Skin Exposed to Soil (-)	0.110	0.130
Adherence Factor for Soil (mg/cm <sup>2</sup> )	0.200	0.200
Exposure Freq. Soil (events/year)	100.	130.
Exposure Duration Soil (years)	10.0	15.0
Absorption Adjustment Factor for Dermal Exposure to Soil (-)		
Lead	1.00E-02	1.00E-02
Zinc	1.00E-02	1.00E-02
Soil Bioavailability (-)		
Lead	1.00E-02	1.00E-02
Zinc	1.00E-02	1.00E-02

<b>INGESTION OF GROUNDWATER</b>		
Ingestion rate (l/day)	1.10	0.500
Exp. Freq. Groundwater (events/year)	350.	350.
Exp. Duration Groundwater (years)	10.0	16.0
Absorption Adjustment Factor for Ingestion of water (-)		
Lead	1.0	1.0
Zinc	1.0	1.0
<b>INGESTION OF VEGETABLES</b>		
Root Veg. Ingestion Rate (g/day)	87.5	48.5
Above Ground Veg. Ing. Rate(g/day)	127.	55.8
Fraction Organic Carbon in Soil g/g	5.000E-02	5.000E-02
Exp. Frequency Veg. (events/year)	350.	350.
Exp. Duration Veg. Intake (years)	9.00	6.00
Fraction grown in home garden (-)	0.100	0.100
Koc [(mg/l)/(mg/l)] (from chemical database)		
Lead	ND	ND
Zinc	ND	ND
log Kow (from chemical database)		
Lead	ND	ND
Zinc	0.0	0.0
Vegetable Uptake Factor [-] (from chemical database)		
Lead	ND	ND
Zinc	1.5	1.5
Kd [(mg/L)/(mg/kg)] (from chemical database)		
Lead	9.9	9.9
Zinc	75.	75.

Partie II : Résultats et discussion

DERMAL CONTACT DURING SHOWER		
Total Skin Surface Area (cm <sup>2</sup> )	1.840E+04	6.800E+03
Exp. Time For Washing Indoors[hr/d]	0.200	0.200
Exp. Freq Groundwater (events/year)	350.	350.
Exp. Duration Groundwater (years)	10.0	16.0
DermaI Permeability Coefficient (cm/hour)		
Lead	0.0	0.0
Zinc	6.00E-04	6.00E-04
Absorption Adjustment Factor for Dermal Exposure to Water (-)		
Lead	1.0	1.0
Zinc	1.0	1.0

INHALATION DURING SHOWER		
Volume of Bathroom (m <sup>3</sup> )	5.20	5.20
Temperature of Shower Water (C)	45.0	45.0
Shower Flow Rate (l/min)	8.00	8.00
Droplet Diameter (cm)	0.100	0.100
Shower Droplet Droptime (s)	2.00	2.00
Exp. Time For Washing Indoors[hr/d]	0.200	0.200
Inhal. Rate in the Shower (m <sup>3</sup> /hr)	0.100	0.100
Lung Retention Factor (-)	1.00	1.00
Exp. Freq Groundwater (events/year)	350.	350.
Exp. Duration Groundwater (years)	10.0	16.0
Absorption Adjustment Factor for Inhalation (-)		
Lead	1.0	1.0
Zinc	1.0	1.0
Henry's Law Constant (-)		
Lead	0.0	0.0
Zinc	0.0	0.0
Molecular Weight (g/mole)		
Lead	0.0	0.0
Zinc	65.	65.

INGESTION OF IRRIGATION WATER		
Ingestion rate (ml/hr)	9.00	6.00
Exp. Freq Irrigation (events/year)	250.	300.
Exp. Duration Groundwater (years)	10.0	16.0
Absorption Adjustment Factor for Ingestion of water (-)		
Lead	1.0	1.0
Zinc	1.0	1.0

DERMAL CONTACT WITH IRRIG. WATER		
Total Skin Surface Area (cm <sup>2</sup> )	1.840E+04	6.800E+03
Fraction Skin Exposed to Water (-)	0.100	1.00
Time in Irrigation Water (hour/day)	0.500	0.500
Exp. Freq Irrigation (events/year)	250.	300.
Exp. Duration Groundwater (years)	10.0	16.0
DermaI Permeability Coefficient (cm/hour)		
Lead	0.0	0.0
Zinc	6.00E-04	6.00E-04
Absorption Adjustment Factor for Dermal Exposure to Water (-)		
Lead	1.0	1.0
Zinc	1.0	1.0

MEDIA CONCENTRATIONS		
-----		
Concentration in Surficial Soil (mg/kg)		
- Used to calculate risk and hazard index.		
Lead	0.18	0.18
Zinc	3.2	3.2
Concentration in Groundwater (mg/L)		
Obtained from Fate and Transport output		
AVERAGE Concentration (over exposure duration)		
(used to calculate carcinogenic risk)		
Exposure Duration (years)	10.	16.
Lead	7.64E-15	7.64E-15
Zinc	0.0	0.0
Concentration used to calculate hazard index		
(Minimum of 7 years or exposure duration)		
Exposure Duration (years)	7.0	7.0
Lead	1.09E-14	1.09E-14
Zinc	0.0	0.0

Partie II : Résultats et discussion

Conc. in Irrigation Water (mg/L)			
- This will be the same as groundwater conc.			
Obtained from Fate and Transport output			
AVERAGE Concentration (over exposure duration)			
(used to calculate carcinogenic risk)			
Exposure Duration (years)	9.0	6.0	
Lead	7.64E-15	7.64E-15	
Zinc	0.0	0.0	
Concentration used to calculate hazard index			
(Minimum of 7 years or exposure duration)			
Exposure Duration (years)	7.0	6.0	
Lead	1.09E-14	1.09E-14	
Zinc	0.0	0.0	
SLOPE FACTORS AND REFERENCE DOSES			
-----			
Ingestion Slope Factor [1/(mg/kg-day)]			
Lead	ND	ND	
Zinc	ND	ND	
Ingestion Reference Dose (mg/kg-day)			
Lead	3.60E-03	3.60E-03	
Zinc	0.30	0.30	
Inhalation Slope Factor [1/(mg/kg-day)]			
Lead	ND	ND	
Zinc	ND	ND	
Inhalation Reference Dose (mg/kg-day)			
Lead	ND	ND	
Zinc	ND	ND	
Dermal Slope Factor [1/(mg/kg-day)]			
Lead	ND	ND	
Zinc	ND	ND	
Dermal Reference Dose (mg/kg-day)			
Lead	3.60E-03	3.60E-03	
Zinc	0.30	0.30	
SUMMARY OF RESULTS			
	SCENARIO:		
	1	2	Added
-----			
DERMAL CONTACT WITH SOIL			
Daily Doses and Risk for : Lead			
CADD (mg/kg-day)	2.90E-11	7.70E-11	
LADD (mg/kg-day)	4.15E-12	1.65E-11	2.06E-11
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	8.07E-09	2.14E-08	
Daily Doses and Risk for : Zinc			
CADD (mg/kg-day)	5.09E-10	1.35E-09	
LADD (mg/kg-day)	7.28E-11	2.89E-10	3.62E-10
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	1.70E-09	4.50E-09	
DERMAL CONTACT DURING SHOWER			
Daily Doses and Risk for : Lead			
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00	
Daily Doses and Risk for : Zinc			
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00	
INHALATION DURING SHOWER			
Concentration in Bathroom Air (mg/m <sup>3</sup> )			
Lead	0.0	0.0	
Zinc	0.0	0.0	
Fraction Volatilized from Shower Water (-)			
Lead	0.0	0.0	
Zinc	0.0	0.0	
Total Mass Volatilized per Shower (mg)			
Lead	0.0	0.0	
Zinc	0.0	0.0	
Daily Doses and Risk for : Lead			
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00	
Daily Doses and Risk for : Zinc			
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00	
INGESTION OF GROUNDWATER			
Daily Doses and Risk for : Lead			
CADD (mg/kg-day)	1.65E-16	3.49E-16	
LADD (mg/kg-day)	1.65E-17	5.58E-17	7.23E-17
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	4.57E-14	9.69E-14	
Daily Doses and Risk for : Zinc			
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00	

Partie II : Résultats et discussion

INGESTION OF IRRIGATION WATER

Daily Doses and Risk for : Lead			
CADD (mg/kg-day)	4.81E-19	1.79E-18	
LADD (mg/kg-day)	4.81E-20	2.87E-19	3.35E-19
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	1.34E-16	4.99E-16	
Daily Doses and Risk for : Zinc			
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00	

DERMAL CONTACT WITH IRRIG. WATER

Daily Doses and Risk for : Lead			
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00	
Daily Doses and Risk for : Zinc			
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00	

INGESTION OF VEGETABLES

Water-to-Root Concentration Factor (RCF) (mg/kg)/(mg/l)			
Lead	0.0	0.0	
Zinc	17.	17.	
Water-to-above-ground Concentration Factor (ABCF) (mg/kg)/(mg/l)			
Lead	0.0	0.0	
Zinc	17.	17.	
Daily Doses and Risk for : Lead			
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00	

INGESTION OF IRRIGATION WATER

Daily Doses and Risk for : Lead			
CADD (mg/kg-day)	4.81E-19	1.79E-18	
LADD (mg/kg-day)	4.81E-20	2.87E-19	3.35E-19
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	1.34E-16	4.99E-16	
Daily Doses and Risk for : Zinc			
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00	

DERMAL CONTACT WITH IRRIG. WATER

Daily Doses and Risk for : Lead			
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00	
Daily Doses and Risk for : Zinc			
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00	

INGESTION OF VEGETABLES

Water-to-Root Concentration Factor (RCF) (mg/kg)/(mg/l)			
Lead	0.0	0.0	
Zinc	17.	17.	
Water-to-above-ground Concentration Factor (ABCF) (mg/kg)/(mg/l)			
Lead	0.0	0.0	
Zinc	17.	17.	
Daily Doses and Risk for : Lead			
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00	
Daily Doses and Risk for : Zinc			
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00	

### 5.2.2 Résultats et discussion

Les eaux usées chargées en polluants et en contaminants divers, pose le problème des risques sanitaires (Baumont, 2005 ; OMS, 2005 ; CFPHTMT, 2005). Il peut s'agir sur des effets directs sur la santé des membres d'une population et aussi des effets plus indirects à partir de facteurs intermédiaires ayant une influence sur les déterminants de la santé de la population de tels impacts peuvent être ressentis immédiatement à court terme ou après un long délai. (CSHPF, 1995 ; Venugopal, 2008 ; Basil, 2007)

Des « évaluations du risque sanitaire » (CFPHTMT, 2005 ; Belousova, 2008 ; Bonnard, 2001 ; FAO/OMS, 2004) sont conduites afin de déterminer l'excès de risque de développer une maladie du fait d'une exposition spécifique à un polluant (atmosphérique par exemple). L'évaluation du risque sanitaire (ERS) est un processus que l'on décompose par convention en 4 étapes.

1. L'identification du danger (qui traduit le danger potentiel du polluant considéré) décrit les troubles biologiques ou les pathologies susceptibles d'apparaître du fait des propriétés intrinsèques d'un polluant ; elle décrit aussi le degré de vraisemblance de la relation causale entre l'exposition au polluant et le développement de ces troubles et pathologies (le « poids de la preuve »).

2. La relation « dose-réponse » (on dit aussi « exposition-risque ») décrit mathématiquement l'association entre une dose d'exposition et la réponse observée (l'apparition d'un effet sur la santé, c'est-à-dire la présence d'un risque) sur une période de temps donnée.

3. L'importance des excès de risque pour la santé dépend non seulement du « danger », mais aussi du niveau d'exposition et de sa durée (intensité de l'exposition) ainsi que de sa fréquence. La détermination de ces paramètres fait partie de l'évaluation de l'exposition.

4. La caractérisation du risque utilise les résultats des étapes précédentes afin de décrire le type et l'amplitude de l'excès de risque attendu du fait des conditions d'exposition au polluant identifié au sein d'une population, considérée dans sa diversité. Elle intègre également une discussion sur les incertitudes associées aux estimations du risque ([www.AFSSET.fr](http://www.AFSSET.fr)).

L'évaluation du risque sanitaire (tab 5.1) lié à cet usage des eaux souterraines de la ville de Bechar n'a semble-t-il, jamais été réalisée. L'impact sur l'environnement et sur la santé peut être traduit par la contamination des eaux de consommation (Tandia, 1999), la présence de cas de Dysenterie et de fièvre Typhoïdale au niveau des autochtones, le confirme (fig 5.1).

La Dysenterie (*maladie transmise par l'eau contaminée, cette pathologie a pour origine l'Entamoeba histolytica, son seul hôte est l'Homme. Cette parasitose sévit principalement sous les climats chauds, ses symptômes sont des diarrhées sanglantes, des douleurs abdominales, et ne sont jamais traités à 100 %. Ce parasite se propage dans les eaux souillées*) présente des valeurs allant de 37 (2007) à 181 (2001) cas/100 000 Habitants, pour les tranches d'âge de 0-4, 20-29, et > 65 ans, et la fièvre Typhoïdale (*une maladie diarrhéique très grave, l'infection est transmise par l'eau, par bactéries de type salmonelles. Le diagnostic repose sur les inflammations du tractus gastro-intestinal. Elle se manifeste simultanément chez plusieurs personnes* ([www.santeweb.ch](http://www.santeweb.ch))) varie de un à 14 cas/100 000 Habitants (en 2004), pour les tranches d'âge de 10-19, 20-29 ans. ([www.sante-dz/insp/](http://www.sante-dz/insp/)).

Pour le risque collectif, défini comme la probabilité du décès d'une personne ou plus, le niveau acceptable est défini à  $10^{-5}$ /an (par exemple 100 000 personnes par an) et à  $10^{-7}$ /an (par exemple 10 million de personnes par an) pour cent décès ou plus, etc. Toute situation existante ou la probabilité est supérieur à  $10^{-5}$ /an doit faire l'objet de mesure pour réduire ce risque (CFPTHMT, 2005).

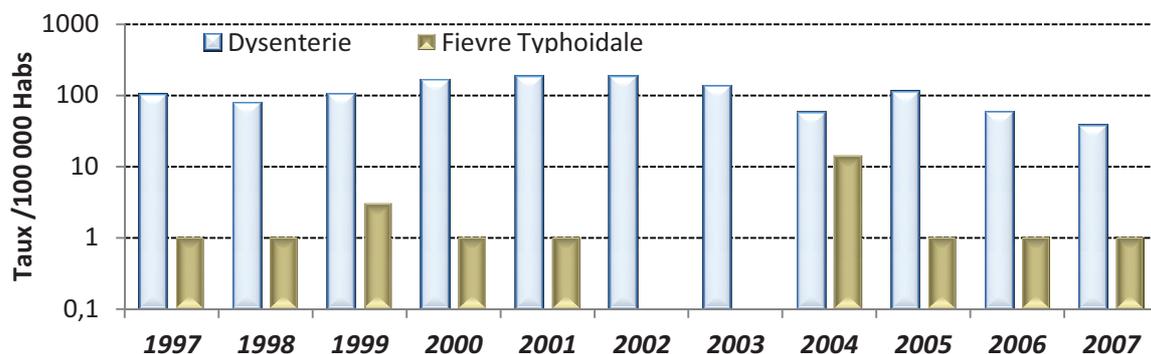
L'indice de risque total porte sur la somme des indices de risque évalués pour les substances Plomb et Zinc, aux facteurs suivants (fig 5.2):

- Ingestion des légumes évalués entre  $10^{-4}$  et 1.
- Contacte cutané des eaux d'irrigation estimer entre  $10^{-4}$  et  $10^{-6}$ .
- L'inhalation pendant la douche considéré comme nul.
- Contact cutané dans la douche est situé entre  $10^{-4}$  et  $10^{-2}$ .
- Et principalement l'ingestion des eaux souterraines, qui est de  $10^{-2}$  à  $>1$ .

**Tab 5.1 Les valeurs de l'indice de risque et leurs interprétations (CFPTHMT, 2005)**

Valeurs de l'indice de risque	Interprétations
De $10^{-9}$ à $10^{-6}$	Risque probable
De $10^{-6}$ à $10^{-4}$	Risque très probable
De $10^{-4}$ à $10^{-2}$	Risque hautement probable
De $10^{-2}$ à 1	Risque possible
Supérieur à 1	Risque à influence anthropique présent, et des dispositions doivent être entreprises.

L'évaluation de l'indice de risque total (fig 5.3, tab 5.2) qui prend en considération les deux éléments Zn et Pb, et qui est de 1,3 (Pb), 0,47 (Zn) pour les enfants, et de 0,63 (Pb), 0,17 (Zn) pour les adultes. En se référant au tab.2, pour les eaux souterraine de la ville de Bechar, l'indice de risque total présume un risque possible pour les adultes, et un risque a influence anthropique présent, et des mesures doivent être entreprises pour minimiser ou éliminer le risque pour les enfants.



**Fig 5.1 Evolution de la Dysenterie et de la Fièvre Typhoidale dans la wilaya de Bechar** ([www.sante-dz/insp/](http://www.sante-dz/insp/))

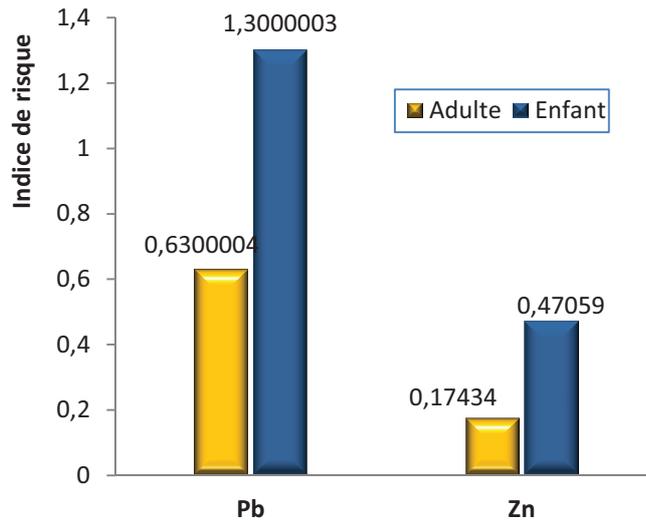


Fig 5.2 Indice de risque en fonction des différents déterminants

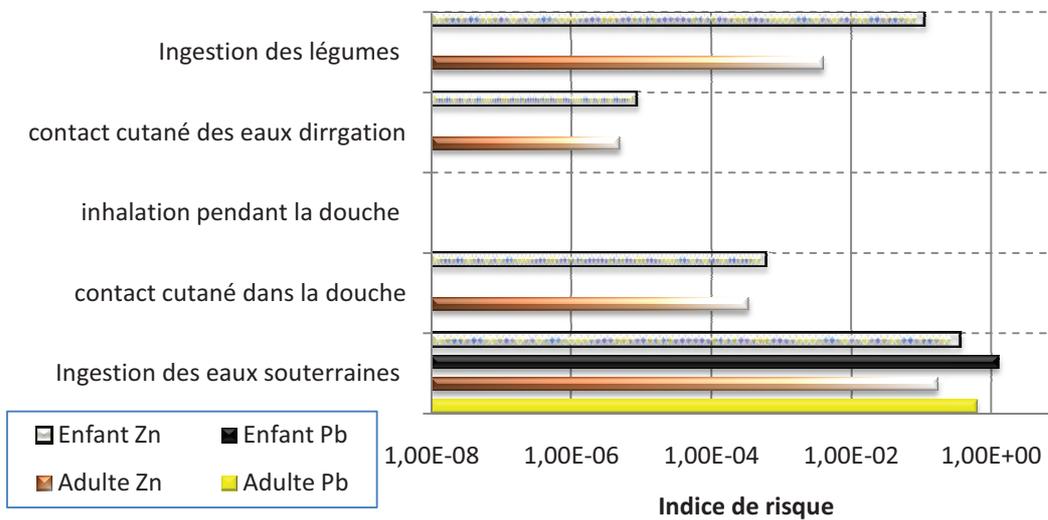


Fig 5.3 Indice de risque total (somme de tous les déterminants, Pour les paramètres Pb et Zn).

Tab 5. 2 Sommaire de « Indice de risque » pour les eaux souterraines de la ville de Bechar (2008)

Déterminants =>		Ingestion des eaux souterraines	contact cutané dans la douche	inhalation pendant la douche	contact cutané des eaux dirrgation	Ingestion des légumes	total
Adulte	Pb	0,63	0,0000001	0,0000001	0,0000001	0,0000001	0,6300004
	Zn	0,17	0,00034	0,0000001	0,0000049	0,004	0,174345
TOTAL		0,8	0,0003401	0,0000002	0,000005	0,0040001	0,8043454
Enfant	Pb	1,3	0,0000001	0,0000001	0,0000001	0	1,3000003
	Zn	0,36	0,00059	0,0000001	0,0000084	0,11	0,4705985
TOTAL		1,66	0,0005901	0,0000002	0,0000085	0,11	1,7705988

### **5.3. Conclusion**

La composition de l'eau à usage domestique en Algérie doit répondre à certaines normes de potabilité (6263-1995 du code de l'eau Algérien), de caractères physicochimique et organoleptique.

Dès qu'une contamination est détectée (est confirmée), un certain processus d'évaluation du risque d'atteinte à la santé publique doit être entrepris; cette évaluation prendra en compte certains caractères, entre autres les preuves, exprimées par la présence de cas de maladies à transmission hydrique tel que la Typhoïde et la Dysenterie.

L'évaluation du risque sanitaire est quantifiée par un indice, qui est estimé sur la base de caractérisation des substances (ou éléments) chimiques, pour des facteurs (dit aussi déterminants) déterminées, principalement pour l'ingestion des eaux souterraines, et enfin les paramètres (dit aussi individus) attribués aux adultes ou enfants.

L'indice est classé suivant sa valeur, attribuant à chaque valeur une interprétation déterminée, allant du risque probable pour des valeurs faibles à risque présent aux valeurs supérieures à l'unité.

Pour les eaux souterraines de Bechar, la pollution détectée est d'origine anthropique (rejets des eaux usées dans l'Oued), elle rend ces eaux impropres à la consommation humaine, la population qui utilise ces eaux pour ses besoins quotidiens, s'expose à des risques sanitaires. L'indice de risque, d'une valeur de 1,3, à l'élément Pb, pour les enfants, détermine pour le paramètre : ingestion des eaux souterraines, exprime la nécessité de prendre des mesures afin de réduire voire éliminer le risque d'atteinte à la santé publique.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif de ce travail est de donner des éléments de réponse aux questions posées par la population de la ville de Béchar quant à la contamination des eaux souterraines utilisées pour leur alimentation en eau potable (et autres usages) par les eaux usées rejetées dans l'oued. Pour y arriver plusieurs aspects ont été abordés, et ont conduit à des constatations intéressantes.

La ville de Béchar est divisée sur toute sa longueur par l'Oued Béchar, où elle rejette ses eaux usées, constituant ainsi une véritable menace pour l'environnement et la santé publique. L'oued n'est aménagé que partiellement, ce qui favorise le développement d'une source très importante de pollution.

L'aperçu climatique, a permis de déterminer les principales caractéristiques climatologiques de la ville, où un climat de type Hyper aride a été mis en évidence, ainsi qu'un apport pluviométrique rare et un bilan annuel déficitaire, avec les données de la station de Béchar, pour la série allant de 1985 à 2010, les valeurs moyennes des précipitations et de température sont respectivement de l'ordre de 110 mm et 22 °C. Dans les conditions climatiques de la zone d'étude, l'évapotranspiration (ETP) est évaluée à près de 466 mm, par l'équation de Penman-Monteith-FAO.

L'étude a aussi permis de dresser un bilan sur la situation des différentes ressources hydriques de la ville, et analyser le schéma de la gestion de ces ressources, où on constate la fragilité de l'équilibre entre les ressources disponibles et les besoins. Face à ce bilan, on se doit de recommander principalement d'approfondir l'état des connaissances sur les ressources en eau et d'améliorer sa gestion quantitative.

Les nouvelles observations sur l'hydrogéologie de la ville de Béchar, réalisées sur la base des descriptions stratigraphiques et de coupes hydrogéologiques montrent que le sous sol abrite six formations aquifères, nettement individualisées (Namurien, Westphalien, Turonien, Eocène, Quaternaire ancien, et l'infero-flux).

L'hydrodynamisme du système aquifère en place, permet une intercommunication assez complexe, où la nappe de l'inferoflux de l'Oued joue un rôle important dans le déplacement du flux souterrain, ce qui favorise la recharge, la décharge et éventuellement le déplacement des différents éléments chimiques. Cette interconnexion rend aussi tout le système vulnérable à la pollution soit d'origine naturelle, soit d'origine anthropique. Les rejets des eaux domestiques dans l'Oued atteignent naturellement les eaux souterraines et provoquent une contamination rapide des nappes.

Les analyses physicochimiques des eaux des rejets urbains de Oued Béchar témoignent dans leur majorité de la présence d'une charge polluante assez importante, où les concentrations sont plus fortes au Sud (aval). Ceci est la conséquence de l'effet de l'accumulation progressive des eaux (chargées) des effluents de l'amont vers l'aval. Cette

charge constitue une réelle menace de contamination pour l'environnement et notamment pour les eaux souterraines de la ville.

L'étude de la qualité des eaux souterraines de la ville de Béchar par les différentes corrélations chimiques a permis de déterminer l'origine des éléments dominants leur chimisme, ainsi que le chemin parcouru par les eaux d'alimentation et les mécanismes d'acquisition des différents ions.

La comparaison des teneurs physicochimiques avec les normes de la qualité des eaux de boisson de l'ADE, ainsi que celles de l'OMS, a montré que le pourcentage total des puits présentant des eaux non potables est de 50,45 % par rapport aux normes de l'ADE, et 40,68 % par rapport à celles de l'OMS.

La détermination de la potabilité par l'analyse microbiologique permet de dire que presque tous les puits sont non potables, ceci est confirmé par la simple présence de germes dans l'eau.

Quant à l'aptitude des eaux souterraines de la ville de Béchar à l'irrigation, le diagramme de Wilcox montre que la majorité des points (42% pour 2008, 52% pour 2010) sont hors diagramme.

La classification des éléments majeurs en fonction de la teneur chimique montre deux facies dominants, qui sont : le ClCa en 2008 et le ClNa en 2010, où le remplacement du Ca par le Na est nettement observé, et qui est due à la différence du flux d'alimentation (2008 année plus pluvieuse).

Le mécanisme d'acquisition du chimisme des eaux souterraines de la ville de Béchar s'explique par le déplacement des éléments chimiques tels que le  $\text{HCO}_3$ , Ca des formations calcaires carbonifères et les ions  $\text{SO}_4$ , Mg des formations gréseuses et argileuses, le Na des formations marneuses et gypsifères. Le Cl provient de plusieurs origines : de l'oued (origine anthropique), de l'évaporation, des formations marneuses et gypsifères, des formations carbonatées. Le  $\text{NO}_3$  provient des eaux résiduaires de l'oued (apport anthropique). Les mécanismes sont principalement activés par le lessivage, le temps de séjour et les échanges de base.

La contribution anthropique des éléments  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ , Eh,  $\text{O}_2$ , dans la composition chimique des eaux souterraines de la ville ; ainsi que leur répartition spatiale, traduit une contamination irrégulière et généralisée mettant en évidence une pollution variable avec la proximité des rejets domestiques bruts déversés dans l'oued Béchar. Cette pollution est accentuée par des conditions hydrogéologiques très favorables et par la nature alluvionnaire de l'aquifère de l'inferoflux.

L'impact des rejets urbains sur l'environnement et sur la ressource hydrique est défini principalement par la détérioration de la qualité des eaux souterraines, et secondairement

par l'analyse du risque sur la sante publique, qui est exprimée par l'évaluation de l'indice des risques et par l'importance de prendre des mesures adéquates pour le réduire, ou l'éliminer complètement.

Cette pollution, mise à jour, est d'origine anthropique (rejets des eaux usées dans l'Oued) rend ces eaux impropres à la consommation humaine. La population qui utilise ces eaux pour ses besoins quotidiens, s'expose à des risques sanitaires. L'indice de risque, d'une valeur de 1,3, pour l'élément Pb, pour les enfants, déterminer pour le paramètre : ingestion des eaux souterraines, exprime la nécessité de prendre des mesures afin de réduire voir éliminer le risque sur la santé humaine.

Suite au constat sur l'état qualitatif des eaux souterraines de la ville de Béchar, conséquence d'une contamination par les eaux usées de l'Oued, il est important de faire certaines recommandations :

- Il apparaît primordial de mettre un terme à cette pollution en adoptant les mesures nécessaires. La préservation de cette ressource impose un plan de réaménagement complet reposant sur l'emplacement d'un réseau d'assainissement adéquat permettant de regrouper toutes les eaux des rejets. Le (ou les) canal collecteur pourra acheminer à l'aval, vers une station d'épuration qui aura un impact très positive sur le milieu récepteur.
- En second lieu, pour mieux cerner l'impact réel des rejets urbains sur la qualité des eaux souterraines, une étude beaucoup plus pointue, avec des données régulières dans le temps et dans l'espace est nécessaire, surtout dans les zones suspectées de jouer le rôle de zone de recharge du système aquifère de la ville. Dans cette perspective, il convient de mettre en place un dispositif permanent de suivi et de contrôle.
- Aussi, établir des cartes des zones contaminées, par l'élaboration d'un inventaire précis des puits contaminés, Ceci pourrait aider à identifier tous les puits en place (non recensés), à exiger une autorisation pour toute nouvelle implantation de puits, et ainsi exercer une bonne gestion des ressources en eau. Ceci ne peut s'accomplir que par l'établissement d'une confiance réciproque entres les autochtones et les services concernés.
- Et, examiner les possibilités et les moyens de recharge du système aquifère de la ville en commençant par effectuer des études géologiques, géophysiques et hydrogéologiques plus détaillées. Cette recharge pourrait être effectuée soit à partir des eaux de crue de l'oued Béchar ou par les eaux résiduaires après épuration. Cela peut donner de nouvelles opportunités d'exploitation de ces ressources dans un milieu où elles sont très appréciées (climat aride).
- Et enfin, des campagnes de sensibilisation aux risques, destinées aux habitants riverains de l'oued, serait très bénéfiques.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abid K., Trabelsi R., Zouari K., Abidi B.,** 2009. Caractérisation hydrogéochimique de la nappe du Continental Intercalaire (sud tunisien), *Hydrological Sciences Journal*, 54:3, 526-537
- Acevedo N.,** 1996. Méthodes d'études d'un aquifère à nappe libre: application au cas de la chênaie, Mémoire de Maitrise Es-Sc. Appliquées), Université de Montréal, Québec 245p.
- ADE (Agences de l'eau) / BRGM.** Août 2003. Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines. Rapport de présentation, Version 0.1 –
- Ahoussi kouassi E., Soro N., Soro GB., Lasm T., Oga MS., Zade SP.,** 2008. Groundwater pollution in African Biggest Towns: case of the town of Abidjan (Cote d'Ivoire). *EJSR*, ISSN 1450-216x, vol 20 N°2, pp 302-316.
- Akpan Anthony W.,** 2004. The Water Quality of some Tropical Freshwater Bodies in Uyo (Nigeria) Receiving Municipal Effluents, Slaughter-House Washings and Agricultural Land Drainage; *The Environmentalist*, 24, 49–55
- Al shaibani AM.,** 2008. Hydrogeology and hydrochemistry of a shallow alluvial aquifer, Western Saudi Arabia. *Hydrogeology journal*, 16, pp 155-165.
- Alhou B.,** 2007. Impact des rejets de la ville de Niamey (Niger) sur la qualité des eaux du fleuve Niger facultés universitaires Notre-Dame de la paix –Namur, Niger
- Anthony W. Akpan,** 2004; The Water Quality of some Tropical Freshwater Bodies in Uyo (Nigeria) Receiving Municipal Effluents, Slaughter-House Washings and Agricultural Land Drainage, *The Environmentalist*, 24, 49–55.
- Baali F.,** 2007. Contribution à l'étude hydrogéologique, hydro chimique et vulnérabilité à la pollution d'un système aquifère karstique en zone semi aride. Cas du plateau de Chéria N. E. Algérien, Th. Doc. Université Badji Mokhtar-Annaba, 177p.
- Badri A., Maazouzi A., Kabour A., Makhloufi A., Zahraoui B.,** 2012. Estimation of pollution load of domestic sewage to Bechar wadi (SW Algeria) and its impact on the microbiological quality of groundwater, *Procedia Engineering*, vol 33. 261-267.
- Basil T.I.Ongor, Long-Cang S.,** 2007. Groundwater overdraft vulnerability and environmental impact assessment in Arusha. *Environmental geology* 51, p 1171-1176.
- Baumont S.,** 2005. Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilités en ile de France, ORS, ENSAT, 116p.
- Belousova AP., Proskuriva IV.,** 2008. Principal of zoning a territory by the hazard and risks of groundwater pollution. *Water resources*, Vol 35 N 1, pp 108-119.
- Benmohamed T.,** 2006. La production de l'espace urbain à Bechar, entre crise et mutation, Mem. Magister, Université de Bechar, 127p.
- Bloundi M K,** 2005. Etude géochimique de la lagune de Nador (Maroc oriental): Impacts des facteurs anthropiques. Université Mohamed V- Agdal, Maroc, 238p.
- Bohy M.,** 2003. Caractérisation de sources de pollution composées d'un mélange de solvants chlores en aquifère alluvial expérimentations en laboratoire et sur site contrôlé associées à la simulation numérique ; Th. doc ; l'université louis pasteur de Strasbourg.
- Bonnard R.,** 2001. Le risque biologique et la méthode d'évaluation du risque, Rapport final, INERIS, 79 p.

- Bontoux J.**, 1993. Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson. Cebedoc Ed., Liège, 169 p.
- BRGM**, 2006. Guides techniques, qualité des eaux souterraines. Méthodes de caractérisation des états de références des aquifères français, France. 237p.
- Bur T.**, 2008. Impact anthropique sur les éléments traces métalliques dans les sols agricoles de midi- Pyrénées. Implications en termes de limites et de charges critiques, Thèse doctorat, université de Toulouse, France, 399 p.
- Callier L.** avec la collaboration de Ben Slimane F., Mongereau N., Paquot A., Pazdej R., Raimboux J., Terreyre J.L., Viso A.C., 2004. Réflexion du Groupe de Travail «Protection des eaux souterraines» - Guide méthodologique pour la recherche de l'origine de pollution(s) dans les eaux souterraines. BRGM/RP-52538-FR, 61 p.
- Cetindag B., Olzem Oztekin O.**, 2004. Hydro chemical characteristics and pollution potential of Uluova aquifers, Elazig, Turkey. *Environmental geology* 45, p 796-807.
- CFPTHMT**, 2005. Guide canadien d'évaluation des incidences sur la santé. V2, approches et prise de décision, rapport, 150p.
- Charmoille A., 2000?**. Étude Du Karst Profond De La Vallée Du Doubs. Univ. Franche-Comté, Besançon. Rapport, 32p
- Chavaillon J.**, 1964. Etude stratigraphique des formations Quaternaires du Sahara nord-occidental (Colomb-Bechar à Reggane). Th. Doc., publ. CRZA. Series geol. 10, CNRS, Paris. 393p.
- Cheham O.K.**, 2002. Etude de l'utilisation des oxydants chimiques en post-oxydation, et leur influence sur la santé public, d'une filière de potabilisation appliquée à une eau souterraines, W de Bechar, CU Bechar, 95 p.
- Chippaux J.P., Houssier S., Gross P., Bouvier C., Brissaud F.**, 2002. Étude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger. *Bull Soc Pathol Exot*, 94, 2, 119-123
- Comité Zone d'intervention prioritaire (CZIP) Ville-Marie**, 1999. Les rejets d'eau de débordement dans la région montréalaise, Document de présentation des réflexions et recommandations faites à la Commission d'enquête sur la gestion de l'eau au Québec, Audiences publiques sur la gestion de l'eau, Novembre 1999, Montréal, Canada, 12 p.
- Comte J. P.**, 2006. Suivie de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison de pluie 2005, résultats et campagne de basse eau 2004, et la campagne saison de pluie 2004, rapport final, BRGM /RP-547176-FR, 58 pp.
- CSHPF**, 1995. Recommandation sanitaire relative à la désinfection des eaux usées urbaines, section des eaux, rapport, 30p.
- Debieche T.H.**, 2002. Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle, u. f. r. des sciences et techniques de l'université de Franche-Comté, Th. Doc. 235p.
- Deleau P.**, 1951. Les bassins Houillers du Sud Oranais dans la région de Colomb-Bechar-Abadla. Série 2, strat. N°20, Bulletin de service de la carte géologique de l'Algérie, France, 277 p.
- Derwich E., Beziane Z., Benaabidate L., Belghyti D.**, 2008. Évaluation de la qualité des eaux de surface des oueds fes et sebou utilisées en griculture maraichère au Maroc, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 07, pp. 59-77

- DHWB**, 2002. Situation hydraulique de la wilaya de Bechar – rapport interne – Bechar, 26 p.
- DHWB**, 2004. Étude du transfert pour le renforcement de l’AEP de Bechar à partir du champ comptant de Mougheul, rapport interne, 28 p.
- Djeloul, H.M., Taleb, S., Harrache-chetoule, D., Djroud, S.**, 2005. Qualité physico-chimique des eaux de boisson du Sud Algérien, Etude de l’excès en sels minéraux. Cahiers de santé, Vol 15, N°2, avril, mai, juin.
- DPAT-** Bechar, Mars 2008. Bulletin Statistique Annuel De La Wilaya De Bechar 2007; 233p.
- Drouart E., Vouillamoz J-M.**, 1999. Alimentation en eau des populations menacées. Ed. HERMANN.
- El Tabach E.** 2005 Étude de l’impact d’une pollution accidentelle et d’une pollution agricole sur les ressources en eau souterraines. Thèse, Université des sciences et technologie de Lille.
- ETTABET**, 2005. Schéma directeur de l’alimentation en eau potable de la ville de Bechar, DHWB, 23 p.
- Ettazarini S.**, 2006. Groundwater pollution risk mapping for the Eocene aquifer of the Oum Er-Rabia basin, Morocco ; Environ Geol 51: 341–347
- Ettler V.**, 2000. Étude du potentiel polluant de rejets anciens et actuels de la métallurgie du plomb dans le district de Příbram (République tchèque). université d’Orléans.
- FAO/OMS**, 2004. Caractérisation des dangers liés à la présence de pathogènes dans les aliments et dans l’eau, FAO/OMS, 85 p.
- Fehdi C., Boudoukha A., Rouabhia A., Salameh E.**, 2009. Caractérisation hydro chimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsot-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud Est Algérien). Afrique science 05 (2), p 217-231.
- Gaujous D.**, 1995. La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Edition Tec & Doc Lavoisier, Paris. 220p.
- Ghabouli M.S., Bencheikh Elhocine M.**, 2008. origine de la salinité des eaux souterraines cas des hautes plaines setifiennes (nord est algérien). Sciences & Technologie A – N°28, pp. 37-46
- Graniel CE., Moris LB., Carrillo-Rivera JJ.**, 1999. Effect of urbanization on groundwater resources of Merida, Yucantan, Mexico. Environmental geology 37 (4), p 303- 312.
- Guerre C.**, 1974. Alimentation en eau potable de Bechar et de Kenadsa. DEMRH, 36 p.
- Guerre C.**, 1979. Alimentation en de la ville de Bechar et Kenadsa, rapport interne, EPIDEMIA, 25 p.
- Hagedorn C., Robinson S.L., Filtz J.R., Grubbs S.M., Angier T.A. & Renaud R.B.**, 1999. Determining sources of fecal pollution in rural virginia watershed with antibiotic resistance patterns in fecal streptococci. Appl. Environ Microbiol. 65.
- Hajji H.**, 2005. Gestion des risques naturels : une approche fondée sur l’intégration des données, Institut national des sciences appliquées de Lyon. INSA, France, 183 p.
- Hartemann P.**, 2004. Contamination des eaux en milieu professionnel, Water contamination in working place; EMC-Toxicologie Pathologie 1; 63–78
- Heejun S., Kang-Kun L.**, 1999. Characterization of a Ground Water Hydrochemical

- System Through Multivariate Analysis: Clustering into Ground Water Zones, Groundwater, Vol 37 N 33, pp 358–366.
- Idrotecneco**, 1979. Etude hydrogéologique de la région de Bechar. Rapport interne, DHWB. 170 p.
- Jalali M.**, 2007. Hydro chemical identification of groundwater resources and their changes under the impact of human activity in the Chah basin in western Iran. Environment Monit. Asses. 130, p 347- 364.
- Jestin E.**, 2005. La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires. Agence de l'eau Saint Normandie. Rapport. 34p.
- Kabour A., Chebbah L., Hani A., Boudoukha A., Meguellati S.**, 2009. Identification hydrogéologique de la région de Bechar-Kenadsa (SW Algérien). 1SN « les ressources hydriques Sahariennes, 11-12 mai 2009, CU EL Oued-Algérie.
- Kabour A., Hani A., Chebbah L.**, 2009. Impact des rejets urbains sur les eaux souterraines, dans une région aride (cas de la ville de Bechar, SW Algérien). GIGE, 13-14 mai 2009, Facultés des sciences, Fès – Maroc.
- Kabour A., Lefkir A., Chebbah L.**, 2008. Cartographie des ressources hydriques de la willaya de Bechar (SW Algérien), approche par SIG. Journée de l'eau, 05 juin 2008, Univ. Bechar -Algérie.
- Katerjia N., Hoflackb P.**, 2004. Les pressions anthropiques et leurs impacts sur les situations qualitatives et quantitatives de l'eau dans le Bassin versant de la Seine. Le Courrier de l'environnement de l'INRA n°51, février 2004 75-87
- Kloppmann W., Dever L., Edmunds W. M.**, 1996. Zones d'oxydoréduction dans l'aquifère de la Craie des bassins de Paris et de l'Allemagne du nord ; *Hydrological Sciences* -Journal des Sciences Hydrologiques, 41(3) June 1996 ; 311-326
- Labbaridi H., Ettahiri O., Lazor S., Massik Z., El antri S.**, 2005. Etude de la variation spatiotemporelle des paramètres physicochimiques caractérisant la qualité des eaux d'une lagune côtière et ses zonations écologique, cas de Moulay Boussalem, Maroc. C. R. Géosciences, 337, p 505-514.
- Laroche AM.**, 2000. Évaluation de la contamination de l'eau souterraine par le nitrate a l'échelle régionale, Thèse, l'université Laval Québec
- Lefkir A.**, 2005. Elaboration de cartes thématiques sur les ressources hydriques dans une zone saharienne, cas de la willaya de Bechar, Séminaire N2E, Bechar, 08 p.
- Maazouzi A, Kettab A, Badri A, Zahraoui B, Kabour A, Chebbah L**, 2011. Contribution to the study of the effect of urban wastewater on the degradation of ground water quality and to the treatment by filtration on dune sand of the city of Bechar (Algeria). *Desalination and Water Treatment*. 30 (2011); 58–68
- Martnelli I.**, 1999. Infiltration des eaux de ruissellement pluvial et transfert de polluant associés dans le sol, urbain – vers une approche globale et pluridisciplinaire, Institut national des sciences appliquées de Lyon. INSA.
- Mekkaoui A.**, 2000. Bordure du sillon atlasique – plate forme saharienne, pendant le jurassique moy-inf (Grouz meridional, chebket charef -fendi) Algérie Sud Occidentale, Mémoire magister, université d'Oran.
- Merzougui T.**, Mars 2007. Rapport élaboration d'un périmètre de protection du champ captant du la plaine de Ouakda w de Bechar. ANRH.

- Mondal NC.**, 2005. Assessment of groundwater pollution due to tannery industries in arid climate around Dindigul, Tamilnadu, India. *Environ. Geol.* 48, p149- 157.
- Monjour L.**, 2000, l'eau potable dans les pays du tiers monde ; 80 p
- Nassali H., Ben Bouih H., Srhiri A.**, 2002. Influence des eaux usées sur la dégradation de la qualité des eaux du lac Fouarate au maroc, *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management 7-10 January 2002, Tunis (EPCOWM'2002)*, p.3-14.
- National Research Council**, 1984. *Groundwater Contamination*, National Academy Press, Washington, D.C. <http://www.nap.edu/catalog/1770.html>
- Navarro A., Carbonel M.**, 2007. Evaluation of groundwater contamination beneath an urban environment: the Besos river basin (Barcelona, Spain). *Journal of environment management* 85, p 259-269.
- Nicolas G. A.**, 2004. *Computational Hydraulics and Hydrology ; An Illustrated Dictionary*; by CRC Press LLC; Washington, D.C.; 450p
- Norme AFNOR T 90-110**, 1981. « Essais des eaux, Dosage de l'azote de kjeldahl ».
- OMS**, 2005. Etude de l'impact sur la santé, principaux concepts et méthode proposée, (consensus de Göteborg), centre collaborateur de l'OMS, pour les villes-sante francophones, 15p.
- Pathak JK., Mohd A., Shikha S.** 2008. Interpretation of Groundwater Quality using Multivariate statistical technique in Moradabad city, Western Uttar Pradesh state, India. *E-journal of chemistry*. Vol 5, N3, pp 607-617.
- Pare S.**, 2006. Contribution à la détermination d'un terme du bilan hydrologique dans la région d'Errachidia-Tafilalet : Évaluation de l'évapotranspiration de référence et de l'évaporation à travers la zone non saturée de la Plaine de Tafilalet, Université Mohammed V – Agdal. Rabat, Maroc ; 109p.
- Petelet-Giraud E.**, 2005. Suivi de la qualité des eaux souterraines de la Martinique, BRGM, France, 81 pp.
- PGTG** , 2005. Plan de gestion du site de Taghit-Guir (W-Bechar), projet DGF/GEF/PNUD-ALG/G35/2005, Algérie 224p.
- Rabiet M.**, 2006. Contamination de la ressource en eau par les eaux usées dans un bassin versant méditerranéen, apport des éléments majeurs, traces et terres rares. Th. Doc. Univ. Montpellier II, 307p.
- Rajmohan N., Elango L.**, 2004. Identification and evolution of hydrogeochemical processes in the groundwater environment in an area of the Palar and Cheyyar River Basins, Southern India. *J. of Environmental Geology*, 46/1: 47-61.
- Ramakrishnaiah C. R., Sadashivaiah C., Ranganna G.**, 2009. Assessment of Water Quality Index for the Groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. *E-Journal of Chemistry*; 6(2), 523-530
- Remini B.**, 2005. L'évaporation des lacs de barrages dans les régions arides et semi arides : exemples algériens. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 04, 81-89.
- Rezak S.**, 2002. Contribution à l'étude de la qualité chimique des eaux souterraines de la plaine de Ghriss, mem. Magister, Univ. Oran.
- Roche MA.**, 1973. *Hydrogéologie de la haute Saoura (Sahara Nord Occidental)*. CNRS (Recherche sur les zones arides), France, 91p.

- Rodier J.**, 1996. «L'analyse de l'eau. 8<sup>ème</sup> édition». Dunod. Paris.
- Rouabhia A.**, 2006. Vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'el ma el abioud nord-est algérien, Th. Doc. Université Badji Mokhtar-Annaba, 197p.
- Rouhana H.**, 2006. Relation entre les nappes et la salinité dans les sols gypseux de la région de Ain Ben Noui, Biskra, mem. Magister, Univ. Batna.
- Schoeller H.**, 1959. Hydrogéologie des régions arides, progrès récents. Unesco, France, 127 pp.
- Schürch M.**, 2000. Détermination des paramètres hydrauliques et hydro chimiques d'un aquifère alluvial dans une vallée alpine (valais, suisse); Th. Doc. Université de Neuchâtel.
- Squinazi F.**, 2006. Analyses en microbiologie, Environnement microbien (air, surfaces, eau), Techniques de l'ingénieur ; P 3 355 – 5
- Srinivasarao Y.**, 2007. Groundwater quality suitable zones identification: application of GIS, Chittoor area, Andhra Pradesh, India. Environ Geol (2007) 53:201–210.
- Srivastava SK., Ramanathan AL.**, 2008. Geochemical assessment of groundwater quality in vicinity of Bhalswa Landfill, Delhi, India, using graphical and multivariate statistical methods. Environ. Geol., 53, p 1509-1528.
- Subba Rao N.**, 2002. Geochemistry of groundwater in parts of Guntur district, Andhra Pradesh, India. Environmental geology , 41: 552 – 562.
- Tandia AA., Diop ES., Gaye CB.**, 1999. Pollution par les nitrates des nappes phréatiques sous environnement semi-urbain non assaini : Exemple de la nappe de Yeumbeul, Sénégal. Journal of African Earth Sciences, Vol 29 N 4, pp 809-822.
- Tessier L.**, 2003. Transport et caractérisation des matières en suspension dans le bassin versant de la seine : identification de signatures naturelles et anthropiques, école nationale des ponts et chaussées.
- Turin A.**, 1991. La pollution des eaux souterraines en Lorraine, le cas des nitrates. Thèse Univ. Nancy II, France, 266 p.
- URBAT**, 1999. Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de la commune de Bechar, 31 p.
- Valiron F.**, 1990. Gestion de l'eau, principe, moyen, structure. Presse de l'école Nationale des ponts et chaussées, France, 350 p.
- Venugopal T., Giritharan L., Jayaprakash M., Periakali P.**, 2008. Environmental impact assessment and seasonal variation study of the groundwater in the vicinity river Adyar, Chennai, India. Environ. Monit. Assess. pp 18.
- Willis D Weight**, 2004. Manual of Applied Field Hydrogeology, Ed. McGraw-Hill, New York. ([www.digitalengineeringlibrary.com](http://www.digitalengineeringlibrary.com))
- Zhu G.F., Su Y.H., Feng Q.**, 2008. The hydrochemical characteristics and evolution of groundwater and surface water in the Heihe River Basin, northwest China. Hydrogeology Journal. 16 ; 167-182
- [www.anb-dz.com](http://www.anb-dz.com)
- [www.mre.gov.dz/eau/aep-mre1-.htm](http://www.mre.gov.dz/eau/aep-mre1-.htm)
- [www.terre-et-eau.univ-avignon.fr/redox\\_notions.htm](http://www.terre-et-eau.univ-avignon.fr/redox_notions.htm)

### PRODUCTION SCIENTIFIQUE :

1. **Kabour A., Lefkir A., Chebbah L.**, Cartographie des ressources hydriques de la willaya de Bechar (SW Algérien), approche par SIG. Journée de l'eau, 05 juin 2008, Univ. Bechar -Algérie.
2. **Kabour A., Chebbah L., Hani A., Boudoukha A., Meguellati S.**, Identification hydrogéologique de la région de Bechar-Kenadsa (SW Algérien). 1SN « les ressources hydriques Sahariennes, 11-12 mai 2009, CU EL Oued-Algérie.
3. **Kabour A., Hani A., Chebbah L.**, Impact des rejets urbains sur les eaux souterraines, dans une région aride (cas de la ville de Bechar, SW Algérien). GIGE, 13-14 mai 2009, Facultés des sciences, Fès – Maroc.
4. **Kabour A., Hani A., Mekkaoui A. Chebbah L.**, Nouvelles données hydrogéologiques et identification de l'impact de l'oued sur le système aquifère de la ville de Bechar (SW Algérien), 1CIGSA-RMHE, 05-07 décembre 2010, Université de Ouargla – Algérie.
5. **Kabour A., Hani A., Mekkaoui A., Chebbah L.**, Évaluation et gestion des ressources hydriques dans une zone aride : cas de la ville de Bechar. (Sud ouest algérien). Le courrier du savoir. *LARHYSS*, N° 09, (2011) ; 7-19.
6. **Kabour A., Hani A., Chebbah L., Maazouzi A. , Saddek Y.**, Physicochemical quality of groundwater in urban environment, in an arid region, case of Bechar, Southwestern Algeria. ISWEE-11, mars 2011, Alger - Algeria
7. **Kabour A., Hani A., Chebbah L.**, Impact des eaux usées domestiques sur l'environnement, et évaluation de l'indice de risque sur la santé publique: Cas de la ville de Bechar, SW Algérien, *European Journal of Scientific Research*, Vol.53 No.4 (2011) ; 582-589.
8. **Kabour A., Hani A., Chebbah L., Sadek Y.**, Wastewater Discharge Impact on Groundwater Quality of Béchar City, Southwestern Algeria: An Anthropogenic Activities Mapping Approach. *Procedia Engineering*, vol 33 (2012); 242 – 247.
9. **Kabour A., Hani A., Chebbah L.**, Wastewater urban rejections impact on groundwater quality in béchar city (algerian sw), In urban environment under an arid climate, *Geographia Technica*, 18, No. 2, (2013), pp 38 to 46.
10. **Kabour A., Hani A., Chebbah L.**, Impact des rejets urbains sur la qualité des eaux souterraines de la ville de Béchar (SW Algérien), Conférence Internationale sur l'Énergétique Appliquée et la Pollution, organisée par le laboratoire LEAP, Décembre 14-15, 2014, Constantine, Algérie, ISBN : 978-9931-9229-0-2.
11. **Kabour A., Hani A., Chebbah L.**, Groundwater hydrochemistry and effects of anthropogenic pollution in Béchar city (SW Algeria), *Desalination and water treatment*. Volume 57, Issue 30, (2016), pp 14034-14043.

### Production scientifique en collaboration

12. Maazouzi A, Kettab A, Badri A, Zahraoui B, **Kabour A**, Chebbah L., Contribution to the study of the effect of urban wastewater on the degradation of ground water quality and to the treatment by filtration on dune sand of the city of Bechar (Algeria). *Desalination and Water Treatment*. vol 30 (2011); 58–68
13. Badri A., Maazouzi A., **Kabour A.**, Makhoulfi A., Zahraoui B., Estimation of pollution load of domestic sewage to Bechar wadi (SW Algeria) and its impact on the microbiological quality of groundwater, *Procedia Engineering*, vol 33 (2012); 261-267.

## ANNEXES

---

### Annexe 1: Cadre législatif

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°60

30 Rajab 1426 – 4 septembre 2005

Loi n°05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau

**Art. 2.** — Les objectifs assignés à l'utilisation, à la gestion et au développement durable des ressources en eau visent à assurer : la préservation de la salubrité publique et la protection des ressources en eau et des milieux aquatiques contre les risques de pollution à travers la collecte et l'épuration des eaux usées domestiques et industrielles ainsi que des eaux pluviales et de ruissellement dans les zones urbaines ;

**Art. 3.** — Les principes sur lesquels se fondent l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau sont :

— le droit d'accès à l'eau et à l'assainissement pour satisfaire les besoins fondamentaux de la population dans le respect de l'équité et des règles fixées par la présente loi, en matière de services publics de l'eau et de l'assainissement ;

**Art. 38.** — Il est établi autour des ouvrages et installations de mobilisation, de traitement et de stockage d'eau souterraine ou superficielle ainsi que de certaines parties vulnérables des nappes aquifères et des oueds, une zone de protection qualitative comprenant, selon les nécessités de prévention des risques de pollution : un périmètre de protection rapprochée à l'intérieur duquel sont interdits ou réglementés les dépôts, activités ou installations susceptibles de polluer les eaux, de façon chronique ou accidentelle ;

— l'installation de canalisations d'eaux usées ;  
— le dépôt de déchets de toutes natures ;  
— l'épandage d'effluents et, d'une manière générale, tous produits et matières susceptibles d'altérer la qualité de l'eau, y compris, le cas échéant, les produits destinés à l'agriculture ;

**Art. 43.** — Conformément aux dispositions des articles 48 à 51 de la loi n° 03-10 du 19 Joumada El-Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, les milieux hydriques et les écosystèmes aquatiques doivent être protégés contre toute forme de pollution susceptible d'altérer la qualité des eaux et de nuire à leurs différents usages.

**Art. 44.** — Les rejets d'effluents, les déversements ou les dépôts de matières de toute nature ne présentant pas de risques de toxicité ou de nuisance dans le domaine public hydraulique sont soumis à une autorisation dont les conditions et les modalités d'octroi sont fixées par voie réglementaire.

**Art. 46.** — Sont interdits :

— tout déversement ou rejet d'eaux usées de toute Nature dans les puits, forages, galeries de captage, Fontaines et abreuvoirs publics, oueds à sec et canaux ;

— tout dépôt ou enfouissement de matières insalubres susceptibles de polluer les eaux souterraines par infiltration naturelle ou par recharge artificielle ;

— l'introduction de toutes matières insalubres dans les ouvrages et installations hydrauliques destinés à l'alimentation en eau ;

— le dépôt et/ou l'enfouissement de cadavres d'animaux dans les oueds, lacs, étangs et à proximité des puits, forages, galeries de captage, fontaines et abreuvoirs publics.

**Art. 47.** — Tout établissement classé, au sens des dispositions de l'article 18 de la loi n°03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, et notamment toute unité industrielle dont les rejets sont reconnus polluants doit impérativement :

— prévoir des installations d'épuration appropriées ;

— mettre en conformité leurs installations ou les procédés de traitement de leurs eaux résiduaires par rapport aux normes de rejet telles que fixées par voie réglementaire.

**Art. 48.** — Lorsque la pollution des eaux met en péril la salubrité publique, l'administration chargée des ressources en eau doit prendre toutes mesures exécutoires en vue de faire cesser les déversements d'effluents ou les dépôts de matières nuisibles. Elle doit également décider de l'arrêt du

fonctionnement de l'établissement qui en est responsable, jusqu'à la disparition de la pollution.

**Art. 49.** — Les retenues d'eau superficielle ainsi que les lacs et les étangs menacés d'eutrophisation par suite de déversements d'effluents polluants font l'objet de plans de restauration et de protection de la qualité des eaux.

Ce plan comporte des mesures et des actions ayant pour objectif :

— la suppression des sources de pollution chronique, notamment à travers la réalisation de systèmes d'épuration des eaux usées urbaines et industrielles ;

— la prévention des risques de pollution accidentelle et la mise en place de dispositifs de lutte appropriés ;

— la mise en œuvre de toutes opérations techniques permettant de restaurer la qualité des eaux ;

— l'installation de dispositifs d'observation et de suivi des paramètres significatifs de la qualité des eaux et d'un système d'alerte anti-pollution.

Les conditions et modalités d'élaboration, d'approbation et de mise en œuvre des plans de restauration et de protection de la qualité des eaux sont fixées par voie réglementaire.

**Art. 51.** — L'inventaire périodique du degré de pollution des eaux souterraines et superficielles ainsi que les contrôles des caractéristiques des eaux de déversement ou de rejet sont effectués conformément aux dispositions des articles 49 et 50 de la loi n°03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, et aux textes réglementaires subséquents.

**Art. 52.** — Les caractéristiques techniques des systèmes d'épuration des eaux usées sont fixées par voie réglementaire en prenant en compte notamment les critères relatifs aux agglomérations, aux possibilités d'utilisation des eaux épurées, et aux risques de contamination et de pollution.

**Art. 118.** — En zone agglomérée est obligatoire le branchement au réseau public d'assainissement de toute habitation ou établissement

**Art. 119.** — Tout déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration d'eaux usées autres que domestiques est soumis à l'autorisation préalable de l'administration chargée des ressources en eau. Ce déversement peut être subordonné à une obligation de prétraitement dans le cas où, à l'état

brut, ces eaux usées peuvent affecter le bon fonctionnement du réseau public d'assainissement ou de la station d'épuration.

**Art. 120.** — Il est interdit d'introduire dans les ouvrages et installations d'assainissement toute matière solide, liquide ou gazeuse susceptible d'affecter la santé du personnel d'exploitation ou d'entraîner une dégradation ou une gêne de fonctionnement des ouvrages de collecte, d'évacuation et d'épuration des eaux usées.

**Art. 121.** — Dans les zones à habitat dispersé ou dans les centres ne disposant pas d'un système d'assainissement collectif, l'évacuation des eaux usées doit se faire au moyen d'installations autonomes agréées et contrôlées par l'administration chargée des ressources en eau.

**Art.122.** — Tout système autonome d'assainissement doit être mis hors d'état de servir dès la mise en place d'un réseau public d'assainissement.

**Art. 124.** — Les eaux usées provenant des habitations peuvent être amenées vers les ouvrages de collecte dans les mêmes conditions et sous les mêmes réserves que celles prévues à l'article 94 de la présente loi.

**Art. 130.** — L'utilisation des eaux usées brutes pour l'irrigation est interdite.

## Annexe 2:

## Normes de potabilité, selon le code de l'eau Algérien, et l'OMS.

**Tableau An2.1 Critères microbiologiques des eaux et boissons.**  
(JO N°35 du 27/05/1998)

<b>Germes</b>	<b>N</b>	<b>C</b>	<b>m</b>
Germes aérobies à 37°C/ml	1	-	20
Germes aérobies à 22°C/ml	1	-	< 100
Coliformes aérobies à 37°C/100ml	1	-	< 10
Coliformes fécaux /100ml	1	-	Absence
Streptocoques D/50ml	1	-	Absence
Clostridium sulfito-réducteurs à 46°C/ml	1	-	Absence
Clostridium sulfito-réducteurs à 46°C/20ml	1	-	< 5

**Légende :**

*m*: seuil au dessous duquel le produit est considéré comme étant de qualité satisfaisante.

*N* : nombre d'unité composant l'échantillon

*C* : nombre d'unité de l'échantillon donnant les valeurs situées entre *m* et *M*.

*M* : seuil limite d'acceptabilité au delà duquel les résultats ne sont plus considéré comme satisfaisants, Sans pour autant que le produit soit considéré comme toxique.

**Tableau An2.2 Paramètres de substances indésirables.**  
(JO N°51, 2000)

<b>Substances</b>	<b>Concentration</b>	
	<b>Maximale Admissible</b>	<b>Unités</b>
Nitrates (NO <sub>3</sub> )	50	mg/l
Nitrites (NO <sub>2</sub> )	0.1	mg/l
Ammonium (NH <sub>4</sub> )	0.5	mg/l
Azote kjeldahl	1	mg/l
Fluor (F)	0.2	mg/l
Fer (Fe)	0.3	mg/l
Manganèse (Mn)	0.5	mg/l
Cuivre (Cu)	1.5	mg/l
Zinc (Zn)	5	mg/l
Argent (Ag)	0.05	mg/l

**Tableau An2.3 Paramètres physico-chimiques et substances toxiques  
Selon la norme Algérienne 6360-1992**

Parameters	Unités	Niveau Guide	Concentration Maximale Admissible
<b><u>Paramètres physico-chimiques</u></b>			
pH	-	6.5-8.5	-
CE (conductivité électrique)	μS/cm à 20°C	-	2800
Résidu sec	mg/l après séchage à 105°C	-	2000
Dureté totale	mg/l de CaCO <sub>3</sub>	-	500
Calcium	mg/l	100 mg/l	200
Sodium	mg/l	75 mg/l	200
Potassium	mg/l	-	20
Sulfate	mg/l	-	400
Fluor à 20°C	mg/l	200 mg/l	0.3
Manganèse	mg/l	-	0.5
Phosphate	mg/l	-	0.5
Oxydabilité (KMNO <sub>4</sub> )	mg/l	-	3
Oxygène dissous	mg/l	-	8
Aluminium	mg/l	5 mg/l	0.2
Baryum	mg/l	-	1
Pesticides et produits apparents au total	μg/l	-	0.5
Phénols	μg/l	-	2
Hydrocarbures dissous ou émulsionnés, Huiles minérales	μg/l	-	10
<b><u>Substances toxiques</u></b>			
Arsenic	μg/l	-	0.05
Cadmium	μg/l	-	0.01
Cyanure	μg/l	-	0.05
Chrome total	μg/l	-	0.05
Mercure	μg/l	-	0.001
Plomb	μg/l	-	0.05
Sélénium	μg/l	-	0.01
Hydrocarbure polycyclique aromatique (HPA)	μg/l	-	0.2
Benzo (3.4) fluorathène			
Benzo (1.1.2) fluorathène			
Benzo (3.4) pyrène			
Benzo (1.1.2) péryléne	μg/l	-	0.01
Benzo (1.2.3.cd) pyrène			

**Tableau An2.3 Paramètres physico-chimiques et substances toxiques  
Selon la norme de potabilité de l'eau établit par  
l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé)**

		Paramètre ou produit	Normes	Type d'analyses	remarques	
Paramètres Physico-chimiques		Température	< 25°C			
		PH	6,5<ph<9			
Paramètres chimiques: minéralisation		Chlorure Cl <sup>-</sup>	< 250 mg/l	Chromatographie ionique		
		Sulfate SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	< 250 mg/l	Avec BaCl <sub>2</sub>		
		Magnesium Mg <sup>2+</sup>	< 50 mg/l	AAS(spectrophotométrie d'absorption atomique)		
		Sodium Na <sup>+</sup>	< 150 mg/l	AAS		
		Potassium K <sup>+</sup>	< 12 mg/l			
		Aluminium Al <sup>3+</sup>	< 0,2 mg/l			Faible usage eau en médecine
		Résidu sec à 180°C	< 1500 mg/l	200 cm <sup>3</sup> évapore eau, puis pèse		
Substances indésirables	Formes azotées	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	< 50 mg/l	Colorimétrie ou Chromatographie ionique	Peu entraîner des maladies surtout chez les Bébés	
		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	< 0,1 mg/l	Colorimétrie ou Chromatographie ionique		
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	< 0,5 mg/l	Colorimétrie ou Chromatographie ionique	Origine fécale	
		Azote Kjeldhal ou NTK	< 2 mg/l	Réduction de N puis Dans acide de c connus Acide dosage restant N <sub>total</sub>		Englobe l'azote sous toute sesformes
Substances indésirable		Oxydabilité au KMNO <sub>4</sub>	≤ 5 mg/l	Milieu acide +eau+solution KMNO <sub>4</sub> connue à ébullition pendant 10min puis dosage au KMNO <sub>4</sub> non réagit		
		H <sub>2</sub> S	Absence d'odeur			
		Hydrocarbures	< 10 µg/l	Extraction au CCl <sub>4</sub> puis chromatographie	Doses hydrocarbures dissous et en suspension	
		phénol	< 0,5 µg/l	colorimétrie		
		Agents de surface détergents	< 200 µg/l	Réf : lauryl sulfate de Na		
		Fe	< 0,2 mg/l	AAS	Responsable tache de rouille	
		Mn	< 0,05 mg/l	AAS	Responsable tache noire	
		Zn	< 5 mg/l	AAS	Ferrique	
		Ag	< 10 µg/l	AAS		
		Cu	< 1 mg/l	AAS		
		P	< 5 mg/l	colorimétrie		
		F	< 1,5 mg/l	Etude spécifique		
Substance toxiques	minérale	As (arsenic)	< 50 µg/l	AAS		
		Cd (cadmium)	< 5 µg/l	AAS	Origine : activités humaines	
		CN <sup>-</sup>	< 50 µg/l	En forme HCN, on entraîne avec N <sub>2</sub> puis NaOH et coloration		
		C <sub>total</sub>	< 50 µg/l	AAS	Origine traitement de surface	
		Hg	< 1 µg/l	AAS avec vapeur froide	Très toxique	
		Ni	< 50 µg/l			
		Pb	< 50 µg/l		Responsable du saturnisme	
	Sb(antimoine)	< 10 µg/l				
	Se (sélénium)	< 10 µg/l				
	organique	HPA Hydrocarbures Polycycliques aromatiques	< 0,2 µg/l	Chromatographie + spectroscopie de masse	Comprend : fluoranthène, benzo, benzopyrène...	
pesticides		Total < 0,5 µg/l et chaque subst inf 0,1 µg/l	L'aldrine < 0,03 µg/l La dieldrine < 0,03 µg/l HCB < 0,01 µg/l	Destruction par oxydation Ou par adsorption( charbon actif)		
bactéries	Organismes pathogènes	0 salmonelle dans 5l, 0 staphylocoque dans 100cm <sup>3</sup> , 0antéovirus dans 10l				
	coliforme	95% des échantillons ne doivent pas en contenir				
	Califorme +thermorésistants +stéptocoques fécaux	Absence dans 100ml				
	Bactéries anaérobies sulfitoréductrices	≤ 1 Spore dans 20ml				
	Couleur	< 15 mg/l	Echelle Hazen : on fait une échelle de couleur avec Pt /Co puis on compare l'échantillon			
	Turbidité	< 2 unités Jackson	Echelle Jackson : 1g de sulfate d' hydrazine dans 100cm <sup>3</sup> et 1g d' hexaméthylène tetraamne dans 100cm <sup>3</sup> , on mélange 5 solution, on complète à 100, attend 48 h à 20C = 400 U Jackson.			
	TAC	< 50°F				

## Annexe 3:

## Normes de rejet, selon le code de L'eau Algérien

**L'équivalent habitant (EH) :**

Un équivalent habitant correspond à la pollution quotidienne que génère un individu. Chacun est sensé utiliser 180 à 300 l d'eau par jour.

La quantité de pollution journalière produite par un individu est estimée à 57 g de matières oxydables (MO), 90 g de matières en suspension (MES), 15 g de matières azotées (MA), et 4 g de matières phosphorées (MP). Enfin, la concentration des germes est généralement de l'ordre de 1 à 10 milliards de germes pour 100 ml (Badia- Gondard, 2003).

**Les normes algériennes de rejet d'effluents :**

Les eaux usées collectées, dans les réseaux urbains ou les eaux usées directement émises par les industries, ne doivent être rejetées dans un milieu récepteur naturel (rivière, lac, littoral marin, ou terrain d'épandage) que lorsqu'elles correspondent à des normes fixées par voie réglementaire.

Le Décret exécutif n° 93-160 du 10 Juillet 1993, du Journal Officiel de la République Algérienne réglementant les rejets d'effluents liquides dans son chapitre I, article 2 (voir annexe 1), définit un rejet comme tout déversement, écoulement, jets, dépôts directs ou indirects d'effluents liquides dans le milieu naturel et fixe, en son annexe, les valeurs limites de ce rejet.

Ces mêmes valeurs viennent d'être renforcées par un nouveau texte réglementaire ; le Décret Exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006, section 1, article 3. Les valeurs limites maximales de rejet d'effluents fixées par ces deux décrets sont regroupées dans le tableau An3. 1.

<b>Tableau An3.1 :</b> <b>Les valeurs limites des paramètres de rejet d'effluents liquides industriels (Journal Officiel de la République Algérienne, (JORA). N°26, Avril 2006)</b>		
<b>Paramètres</b>	<b>Unités</b>	<b>Valeurs Limites</b>
Température	°C	30
pH	-	6,5 à 8,5
MES	mg/l	35
DBO <sub>5</sub>	mg/l	35
DCO	mg/l	120
Azote Kjeldahl	mg/l	30
Phosphates	mg/l	02
Phosphore total	mg/l	10
Cyanures	mg/l	0,1
Aluminium	mg/l	03
Cadmium	mg/l	0,2
Fer	mg/l	03
Manganèse	mg/l	01
Mercure total	mg/l	0,01
Nickel total	mg/l	0,5
Plomb total	mg/l	0,5
Cuivre total	mg/l	0,5
Zinc total	mg/l	03
Huiles et Graisses	mg/l	20
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Indice Phénols	mg/l	0,3
Fluor et composés	mg/l	15
Étain total	mg/l	02
Composés organiques chlorés	mg/l	05
Chrome total	mg/l	0,5
(*) Chrome III +	mg/l	03
(*) Chrome VI +	mg/l	0,1
(*) Solvants organiques	mg/l	20
(*) Chlore actif	mg/l	1,0
(*) PCB	mg/l	0,001
(*) Détergents	mg/l	2
(*) Tensioactifs anioniques	mg/l	10

(\*) Valeurs fixées par le Décret exécutif \ n° 93-160 du 10 Juillet 1993

## Annexe 4: Matériels et méthodes

### Analyses chimiques

On prélève dans des flacons un volume de 1,5 l destiné aux analyses physicochimiques 17 puits noté ( $SB_i$ ) les plus utilisés, ainsi que sept stations d'eaux usées noté ( $R_i$ ). Les paramètres physicochimiques (température, conductivité, pH et salinité) ont été mesurés *in situ* au moyen d'un multi paramètre (Consort 861). Au laboratoire, Les méthodes de dosage [Rodier] utilisées sont les suivantes :

- le pH, la salinité, TDS et la conductivité, méthode potentiométrique (Consort 861)
- la volumétrie : elle est appliquée à l'analyse quantitative du calcium et du magnésium. Les teneurs en calcium et magnésium des échantillons sont déterminées par titrage complexométrique, avec le sel disodique de l'acide éthylène-diaminetétracétique (EDTA) NFT90-003 ;
- la spectrophotométrie d'absorption moléculaire a été utilisée pour le dosage des sulfates, les nitrates, nitrite et le chrome, (suivi de lavage de milieu poreux);
- la spectrophotométrie à flamme pour la détermination de la teneur du sodium et du potassium;
- Méthode par bichromate de potassium pour la détermination de la demande chimique d'oxygène (DCO);
- Méthodes d'incorporation en gélose pour la recherche et dénombrement des germes.

**Tableau 1: Appareillages utilisées**

Paramètres	Types d'appareils
Conductivité (m.S/cm), Salinité, TDS et pH	Conductimètre CONSORT 861, Multiparamètre WTW197i
Ammonium	Multi paramètre de paille HI83200
Sodium et Potassium	Spectrophotomètre à flamme JENWA CLINICALPFP7
Dosage des sulfates, Nitrate et Chrome Nitrites	Spectrophotomètre UV-Visible type: ( $He\lambda_{ios}$ )
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	ECO thermoreactor VELP Scientifica
Spectre IRTF	Thermonicolet AVATAR 320 IRTF

## 2. Analyses microbiologiques

### 2.1. La recherche et dénombrement des germes totaux

Germes aérobies mésophiles se développant sur un milieu aérobie non sélectif. La recherche et dénombrement des germes totaux se réalisant à deux températures différentes afin de cibler à la fois les micro-organismes à tendance psychrophiles soit à 20°C et ce franchement mésophiles soit 37°C.

- **Principe**

Ensemencement par incorporation dans un milieu gélosé non sélectif (PCA) dans des boîtes de pétri et lecteur après incubation à 37°C et 20°C pondent 24 heures

- **Mode opératoire**

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement 3 fois 1 ml dans trois boîtes de pétri vides préparées à cet usage et numérotées comme l'indique de fig.II.2.9. Compléter ensuite chacune des boîtes environ 20 ml de gélose PCA, faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de 8 pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose. Laisser solidifier sur la paillasse, puis rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose. Cette double couche a un rôle protecteur contre les contaminations diverses.

Les trois premières boîtes seront incubées, couvercle en bas à 20°C. et les trois secondes boîtes en bas à 37°C. La lecture se fait après 24 heures.

Les germes totaux se présentent dans les deux cas sous forme de colonies lenticulaires poussant en masse. Il s'agit de dénombrer toutes les colonies, en tenant compte deux remarques suivantes :

- Ne dénombrer que les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies.
- Le résultat sera exprimé par millilitre d'eau à analyser à 20°C et à 37°C.

## **2.2. Recherche et dénombrement des coliformes**

Le terme coliforme correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, aérobies ou facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface possèdent des activités inhibitrices de croissance similaires, et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 heures, à des températures de 35 à 37 °C. La recherche et dénombrement des coliformes peuvent se faire selon deux méthodes de choix :

- Soit en milieu liquide BCPL par la technique du NPP (Nombre le Plus Probable) ;
- Soit par filtration sur membrane à 0,45 en milieu solide en supposant la disponibilité d'une rampe de filtration. [30]

- **Mode opératoire**

On utilise la technique en milieu liquide, ce dernier fait appel à deux tests consécutifs à savoir :

- Test de présomption : réservé à la recherche des coliformes totaux.
- Test de confirmation : encore appelé test de Mac Kenzie et réservé à la recherche des coliformes fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption.

- **Test de présomption**

Il est effectué en utilisant le bouillon au pourpre de bromocrésol (BCPL). Tous les tubes sont munis de cloche de Durham pour déceler le dégagement éventuel de gaz dans le milieu.

On ensemence :

- 1<sup>ère</sup> série : 3 tubes de 10 ml de BCPL double concentration (D/C) avec 10ml d'eau échantillonnée ;
- 2<sup>ème</sup> série : 3 tubes de 10 ml de BCPL double concentration (D/C) avec 1 ml d'eau échantillonnée ;
- 3<sup>ème</sup> série : 3 tubes de 10 ml de BCPL simple concentration (S/C) avec 0.1 ml d'eau échantillonnée, comme l'indique le fig.II.2.10.

Chassez le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélangé le milieu. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures. La lecture se fait après 24 heures d'incubation, tous les tubes présentant un trouble et changement de couleur au jaune plus du gaz dans la cloche sont considérés comme positifs, c'est-à-dire contenant des coliformes totaux, comme il est

nécessaire de noter le nombre de tube positif dans chaque série et se reporter à la table de NPP (Annexe) pour obtenir le nombre de Coliformes Totaux présente dans 100ml.

### **Test de confirmation ou test de Mac Kenzie**

Le test de confirmation est basé sur la recherche de coliformes Thermotolérants parmi lesquels on redoute surtout la présence d'*Escherichia coli*. Pour la recherche et dénombrement d'*Escherichia Coli*, on repique à partir des tubes positifs (BCPL) sur les tubes de milieu lactoses biliés au vert brillant (BLBVB) munie d'une Cloche de Durham, l'incubation se fait à 44°C pendant 24 heures. La lecture des résultats, le dégagement de gaz dans la cloche et la formation d'un anneau rouge après addition de réactif de Kovac sont un signe positif ce qui signifie la présence d'*E. Coli*.

### **2.3. Recherche et dénombrement des *Streptocoques fécaux***

Les *streptocoques fécaux* sont des *cocci* Gram positif groupé typiquement en chainettes plus ou moins longues. Se sont des germes anaérobies. Le dénombrement des *streptocoques fécaux* dans les prélèvements d'eau est réalisé en testant une nombreuse portion de ce prélèvement par la recherche de la croissance bactérienne à 37°C pendant 24 heures dans un milieu à base d'azide de sodium. Le repiquage du tube positif sur un milieu nettement plus inhibiteur.

- **Mode opératoire**

Les streptocoques sont des témoins sensibles et spécifiques d'une contamination d'origine fécale leur recherche sur milieu liquide comporte :

- Un test préemption;
- Un test confirmation : réservé à la recherche réelle des streptocoques fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption.

- **Test de présomption**

La recherche se fait en bouillon à l'azide de sodium (Rothe) .à partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :

- 5 fois 10 ml d'eau à analyser dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe D/C;
- Une fois 1ml d'eau à analyser dans un tube contenant 10 ml de milieu Rothe D/C;
- Une fois 0.1 ml d'eau à analyser dans un tube contenant 10 ml de milieu Rothe S/C, comme l'indique de fig.II.2.10, mélangé Bien le milieu et l'inoculum. On incube à 37°C pendant 24.

Les tubes présentant un trouble microbien seront considérés comme positif et soumis au testes confirmatifs obligatoirement.

- **Test de confirmation**

A partir du tube de bouillon de Rothe positif on ensemence deux à trois gouttes dans un bouillon à l'éthyle violet et à l'azide de sodium (EVA litsky) et incube à 37°C pendent 24 heures.

L'apparition d'un trouble microbien conformé la présence d'un streptocoque fécal, parfois la culture s'agglomère au fond du tube en fixent le colorant et formant une pastille violette de signification identique à celle du trouble.

La lecture finale s'effectue également selon la prescription de la table du NPP.

### **2.4. Recherche et dénombrement des bactéries anaérobies Sulfito-Réducteurs**

Ces bactéries appartiennent au Genre *Clostridium* (famille des bacillaceae). Les *Clostridium* sont des bacilles gram positif, souvent de grande taille.ces bactéries sont catalase et anaérobies stricts de forme sporulé et végétative.

La recherche des *Clostridium sulfitor-réducteurs* ou encore de *Clostridium perfengens* est destinée à garantir la qualité des eaux d'alimentation.

Tous ces germes ont un point commun, celui de réduire le sulfite de sodium en sulfure.

- **Mode opératoire**

- ◆ La recherche de la forme végétative de C.S.R

A partir de l'eau à analyser répartir dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5 ml par tube puis ajouter environ 18 à 20 ml de gélose Viande Foie (VF), fondue puis refroidie à 45°C, additionnée d'une ampoule d'Alun de fer et d'une ampoule de Sulfite de sodium.

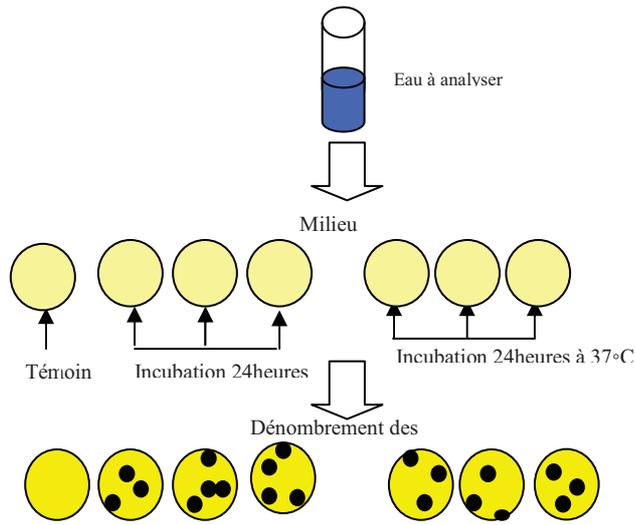
Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant les bulles d'air et en évitant l'introduction d'oxygène. Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes environ, puis incuber à 37°C, pendant 24 heures, comme l'indique de fig.II.2.12.

- ◆ La recherche de la forme sporulée de C.S.R

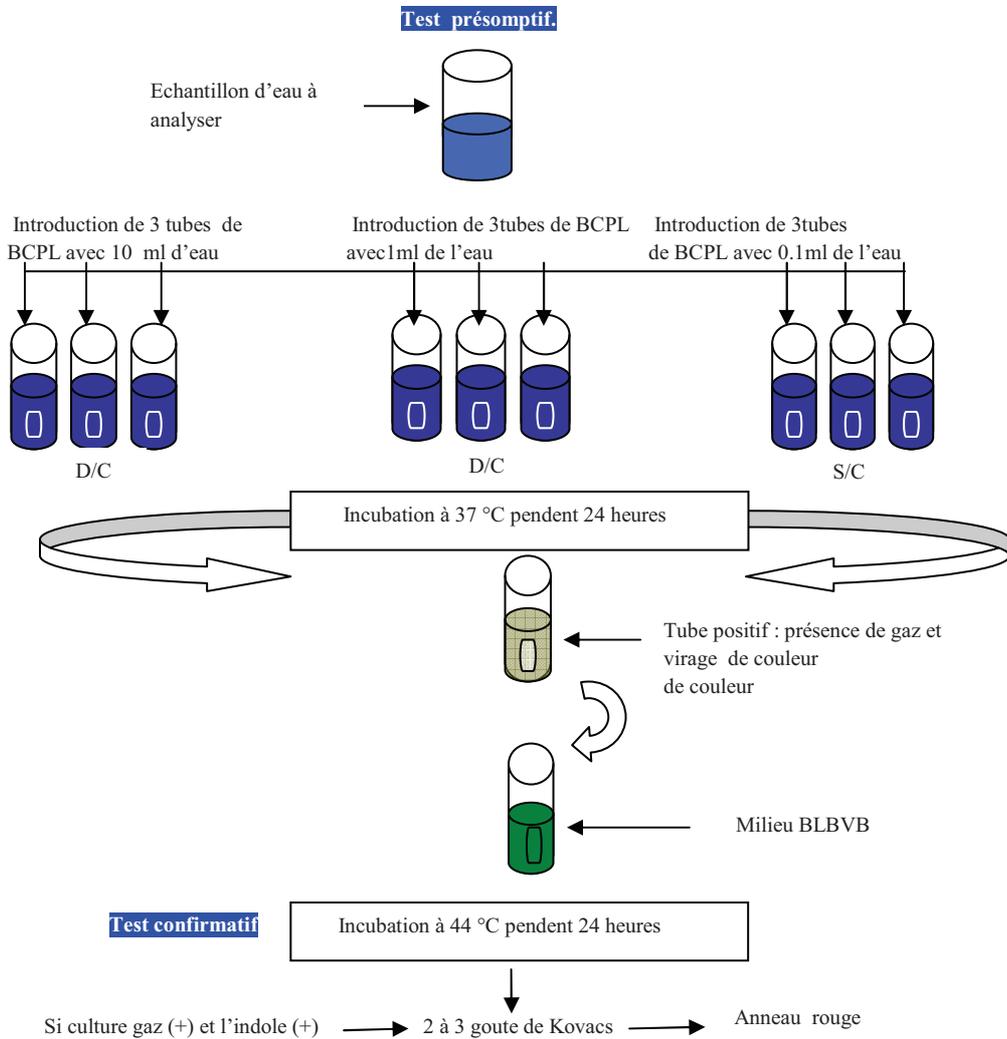
Premièrement on place 25 ml d'eau à analyser dans un bain marie pendant 10 minutes à 80 °C dans le but de détruire les formes végétatives. On répartit les 25 ml d'eau traitée dans 4 tubes stériles à raison de 5ml par tube, puis on ajoute 15 ml de gélose viande foie. Refroidir à 45°C. On mélange sans faire de bulles d'air et on incube à 37°C.

La lecture se fait après 24 heures d'incubation. On considère comme résultat d'une bactérie anaérobie sulfite-réductrice toute colonie noire entourée d'un halo noir. Exprimer le résultat en nombre de bactéries par 100ml.

*Clostridium perfringens* est depuis longtemps recherché dans les eaux comme témoin de pollution fécale en tant que seule trace subsistant d'une contamination ancienne. Il serait nécessaire d'identifier *Clostridium perfringens* pour envisager une possibilité de contamination fécale, mais sa présence n'est pas une preuve : c'est aussi un germe tellurique.



**Fig .9 : Recherche et dénombrements des germes totaux**



**Fig. 10: Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux**

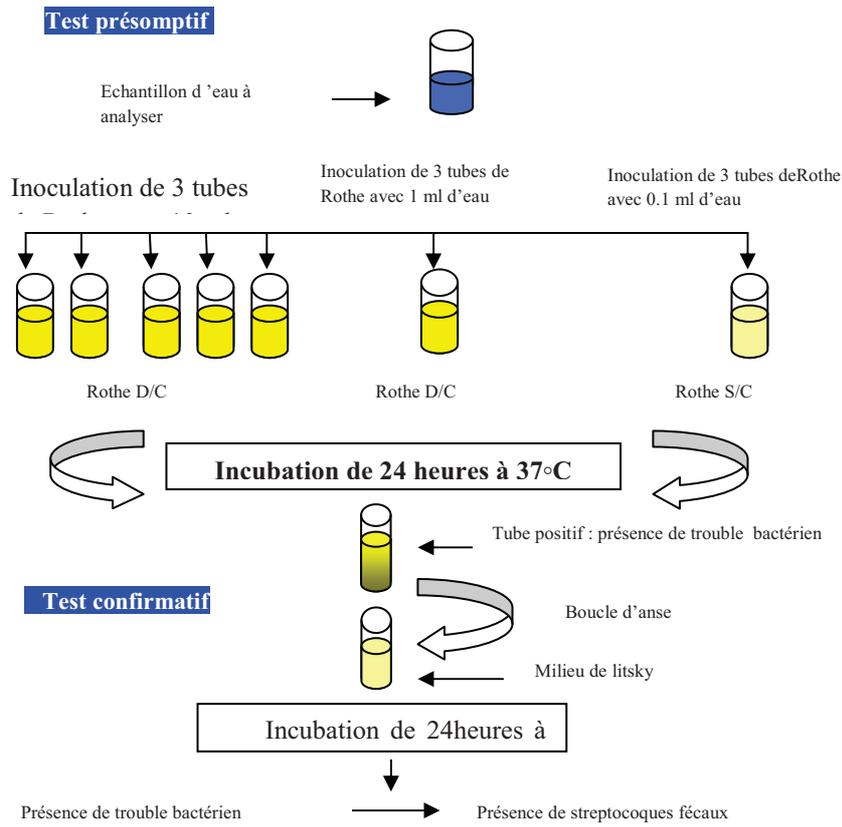


Fig. 11: différentes étapes pour la recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

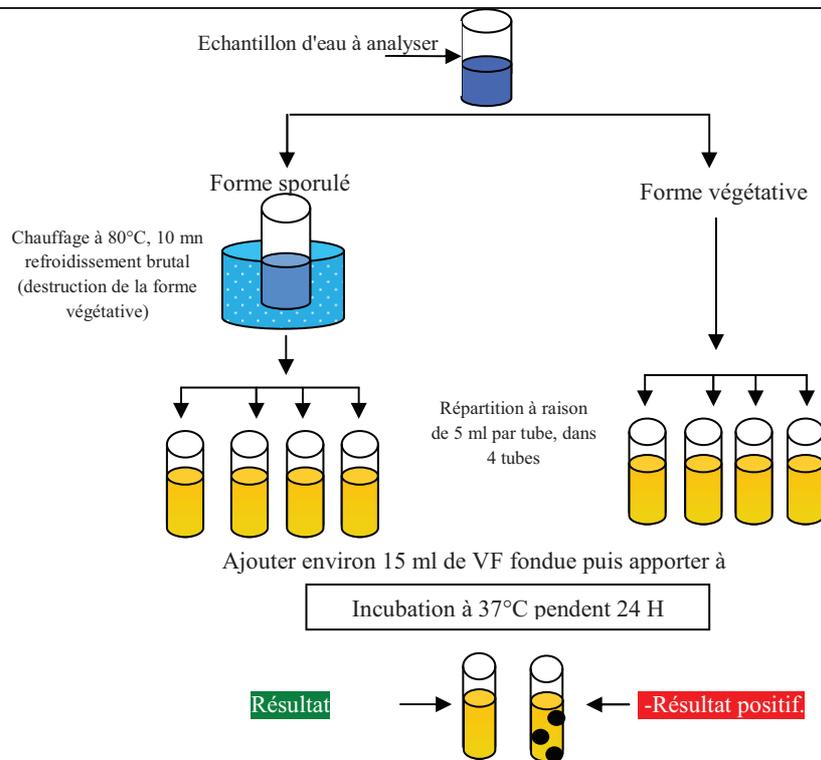


Fig.12: différentes étapes pour la recherche et dénombrement des bactéries sulfite-réductrices.

## Annexe 5: Données climatiques

Tab 5.1 : Précipitation Moyenne Du Bassin Versant De La Saoura (1996-2005).

Stations	Précipitation Moyenne	Série
Béni Ouanif	195	1996-2005
Ain Séfra	210	1996-2005
Béchar	95	1996-2005
Djorf Torba	99	1996-2005
Abadla	86	1996-2005
Taghit	83	1996-2005
Igli	54	1996-2005
Béni Abbés	38	1996-2005
Kerzaz	31	1996-2005
Adrar	18	1996-2005
Tabelbala	26.7	1996-2005
El Golea	51.3	1996-2005
Laghouat	169.1	1996-2005
Meridja	90.2	1996-2005
Tindouf	37	1996-2005

Tab.15: Vitesse des vents moyens de Bechar série (1985-2010)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
V (m/s)	11,3 8	12,7 8	15,7 0	18,6 0	26,5 2	17,6 8	23,1 9	15,6 6	14,6 5	12,8 1	11,6 2	10,1 9	15,9 0

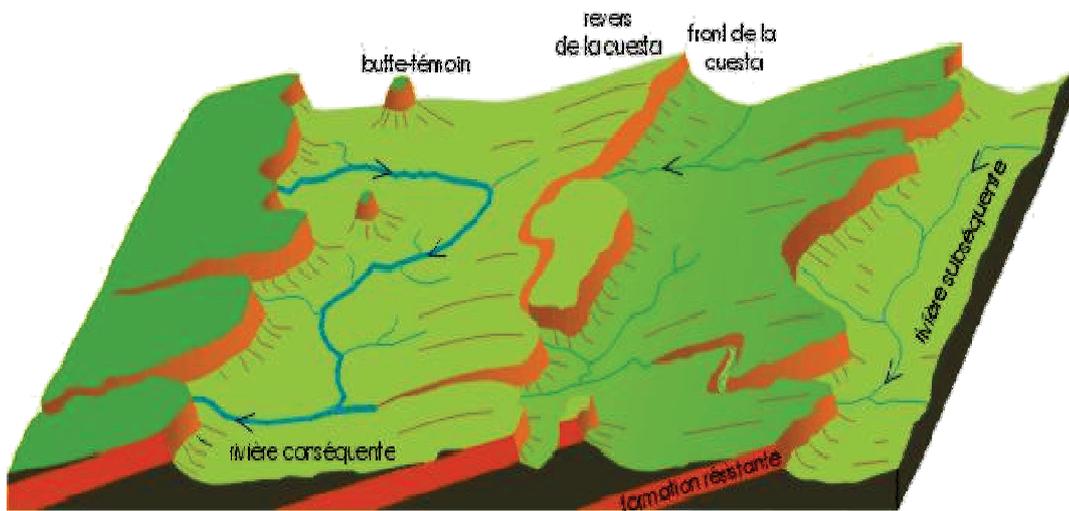
Tab.III.16: Fréquences des vents selon les directions

Direction	Nord	Nord-est	Est	Sud-est	Sud	Sud-ouest	Ouest	Nord-Ouest
Fréquence (%)	10,15	9,44	9,93	5,56	8,92	10,61	7,95	4,56

## Annexe 6: Définition de la Barga

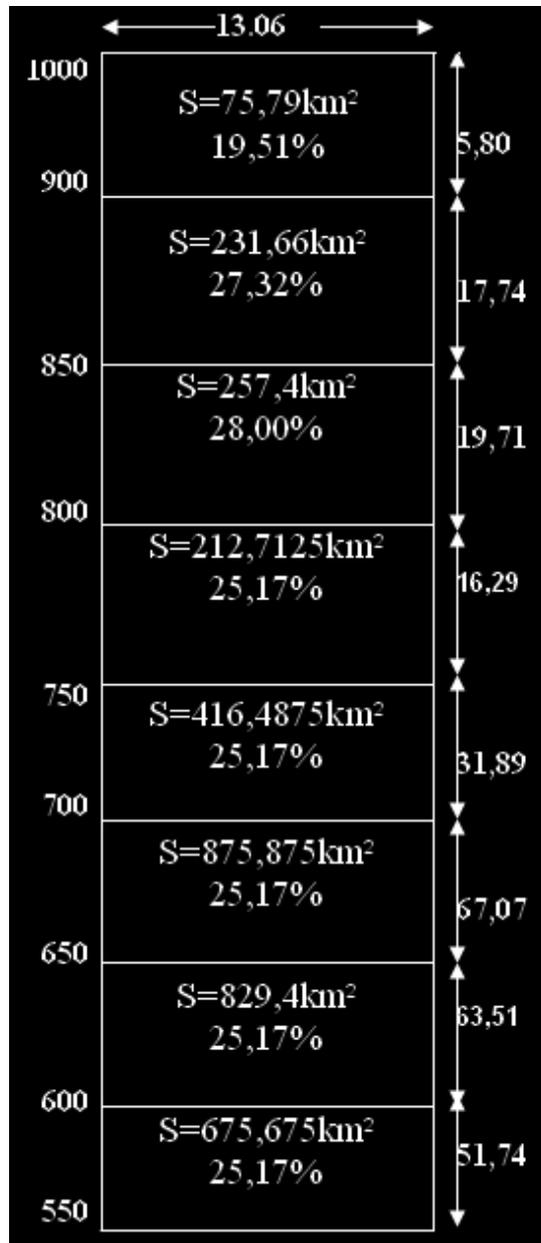
**Cuesta (la Barga)** : des successions sédimentaires faiblement inclinées, formées d'alternances de couches tendres et de couches résistantes à l'érosion peuvent donner naissance à un relief en cuestas dit localement Barga. La cuesta comprend un front, plus ou moins abrupt, dû à l'interruption de la couche résistante, une dépression longeant le pied de l'abrupt et creusée dans les couches tendres et un revers qui correspond à peu près au dos de la couche résistante inclinée. En avant du front, il arrive que des reliefs isolés témoignent de l'ancienne extension de la formation résistante: ce sont des buttes-témoins (localement dit Garat).

[www2.ulg.ac.be/geolsed/sedim/lexique.htm](http://www2.ulg.ac.be/geolsed/sedim/lexique.htm)



Annexe 7:

Rectangle équivalent du bassin versant de l'oued Béchar



## Annexe 8:

## Formule de Penman-Monteith FAO (Allen et al, 1998)

(in Paré S., 2006)

L'équation originale de Penman établie en 1948 sur une nappe d'eau libre, combinait l'équation du bilan d'énergie et l'équation aérodynamique de transfert de la vapeur d'eau pour donner une formulation physique au mécanisme d'évaporation. Elle fut étendue à un couvert végétal par Monteith (1965). Dans cette approche, il a admis que l'ensemble du rayonnement incident est absorbé par les éléments du couvert de telle sorte que le flux qui atteint le sol peut pratiquement être négligé. Il a également supposé que les coefficients de transfert aérodynamique pour la chaleur et la vapeur d'eau sont identiques. Néanmoins, cette supposition implique une distribution identique des sources et des puits de vapeur d'eau et de chaleur au sein du couvert (Sinclair, 1990). Cette difficulté est surmontée en considérant que l'effet global du couvert peut se traduire par l'existence d'un niveau moyen identique d+z<sub>0</sub>, pour les sources et les puits de chaleur et de vapeur d'eau (Faouzi, 1999). D et z<sub>0</sub> sont respectivement la hauteur de déplacement du plan de référence aérodynamique et la hauteur de rugosité du couvert végétal. Par ailleurs, Monteith (1965) a introduit une résistance du couvert qui représente, dans une certaine mesure, une moyenne des résistances stomatiques au transfert de la vapeur d'eau. L'estimation de l'évapotranspiration de référence sur une base journalière selon ce modèle de Penman-Monteith est alors donnée par :

$$E_{to} = \frac{1}{\lambda} * \frac{\Delta(R_n - G) + \frac{86400 * \rho * c_p * (e_a - e_d)}{r_a}}{\Delta + \gamma * (1 + \frac{r_c}{r_a})}$$

avec :

E<sub>t0</sub> : évapotranspiration de référence (mm / jour) ;R<sub>n</sub> : radiation nette à la surface de la culture (MJ / m<sup>2</sup>.jour) ;G : flux de chaleur du sol (MJ / m<sup>2</sup>.jour) ;

λ : Chaleur latente de vaporisation (Mj.Kg-1) ;

(e<sub>a</sub>-e<sub>d</sub>) : déficit pression de vapeur (kPa) ;

Δ : Pente de la courbe de tension de vapeur saturante-température (kPa / K) ;

r : Constante psychrométrique (kPa / K) ;

ρ : masse volumique de l'air (kg.m-3) ;

c<sub>p</sub> : chaleur spécifique de l'air (MJ / kg.K) ;r<sub>a</sub> : résistance aérodynamique au transfert de la vapeur d'eau (s/m) ;r<sub>c</sub> : résistance du couvert au transfert de la vapeur d'eau (s/m) ;e<sub>a</sub> : pression de vapeur saturante de l'air (kPa) ;e<sub>d</sub> : pression de vapeur actuelle de l'air (kPa).

A partir de cette formulation de base, plusieurs formes de cette équation ont été utilisées pour estimer l'E<sub>t0</sub> à l'échelle journalière. Celle adoptée par la FAO sous l'appellation de méthode de Penman-Monteith FAO est donnée par l'équation suivante :

$$E_{to} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}$$

avec :

Et0 : évapotranspiration de référence (mm/j) ;  
 Rn : radiation nette à la surface de la culture (MJ/m<sup>2</sup>.j) ;  
 G : flux de chaleur du sol (MJ/m<sup>2</sup>.j) ;  
 T : température moyenne à 2 m au dessus du sol (°C) ;  
 U2 : vitesse du vent mesurée à 2m (m/s) ;  
 (ea-ed) : déficit pression de vapeur (kPa) ;  
 Δ : Pente de la courbe de tension de vapeur (kPa/°C) ;

γ : Constante psychrométrique (kPa/°C) ;  
 0.34 : coefficient du vent (s/m) ;  
 ea : pression de vapeur saturante de l'air (kPa) ;  
 ed : pression de vapeur actuelle de l'air (kPa).

La méthode de Penman-Monteith-FAO (Allen et al. 1998) intègre la température, l'humidité relative, l'insolation et la vitesse du vent. Celle-ci a été utilisée comme méthode de référence dans notre étude.

En effet, des études au Sahel (Monteith, 1981) et dans d'autres régions arides (Hess, 1998 ; Jensen et Haise, 1963 ; Jones et al., 1981) ont montré que **l'équation de Penman-Monteith-FAO était la plus adaptée pour l'estimation de l'Eto dans les environnements arides et semi-arides**. D'autres études conduites au Maroc (El-Hayadi, 1991 ; Elmehdi et Said, 2000) aboutissent à la même conclusion. La FAO en collaboration avec le Comité International d'Irrigation et de Drainage (C.I.I.D), lors d'un colloque à Rome du 28 au 31 mai 1990, ont également recommandé la méthode de Penman-Monteith-FAO, avec des paramètres de rugosité et de résistance de surface normalisés, comme moyen de détermination de l'Eto. Ils concluent que la sélection de cette méthode de calcul appropriée contribue à éliminer les problèmes liés à la mesure de l'Eto sur une culture de référence vivante, et permet l'obtention des valeurs de Eto consistantes dans toutes les régions du globe. Selon FAO et CIID (1990), les données agrométéorologiques enregistrées par les stations dont la température de l'air, la vitesse du vent, l'humidité, le rayonnement global sont les paramètres nécessaires et suffisants pour calculer l'évapotranspiration de référence selon l'équation de Penman-Monteith-FAO. La procédure de détermination des paramètres utilisés dans cette équation est exposée ci-dessous.

### Calcul des paramètres

**Tension de vapeur saturante (ea)** (Tetens (1930))

$$e_s = 0.611 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right)$$

Où T est température de l'air (°C)

**Pente de la courbe de tension de vapeur** (Tetens, 1930 ; Murray, 1967)

$$\Delta = \frac{4099 e_s}{(T - 237.3)^2} = \frac{2504 \exp(17.27T)}{(T + 237.3)^2}$$

Avec T la température de l'air (°C) et ea (kPa) : tension de vapeur saturante à la température T(°C).

**Rayonnement extraterrestre** (Ra) est donné dans les tables en fonction de la latitude et l'hémisphère (Doorenbos et Pruitt, 1977).

**Rayonnement solaire global** (Rs) a été déterminé à partir des données d'insolation par la formule suivante (Doorenbos et Pruitt, 1997) :

$$R_n = (a + b \cdot n/N) \cdot R_a$$

où  $R_a$  est la radiation solaire extra-terrestre (MJ.m<sup>-2</sup>.j<sup>-1</sup>),  $n$  la durée d'insolation (h.j-1),  $N$  la durée maximale possible d'insolation (h.j-1) et  $a$  et  $b$  des constantes empiriques adimensionnelles pour lesquelles les valeurs de 0,25 et 0,5 ont été adoptées respectivement (Doorenbos et Pruitt, 1997).

### Rayonnement net (Rn)

Il est composé du rayonnement net de courtes longueurs d'onde (Rns) et du rayonnement net de longues longueurs d'onde (Rnl)

$$R_n = R_{ns} + R_{nl}$$

avec :

Rn : rayonnement net (MJ / m.jour) ;

Rns : rayonnement net de courtes longueurs d'onde (MJ / m<sup>2</sup>.jour) ;

Rnl : rayonnement net de longues longueurs d'onde (MJ / m<sup>2</sup>.jour).

### Rayonnement net de courtes longueurs d'onde (Rns) (Doorenbos et Pruitt, 1977)

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s = (1 - 0,23) R_s$$

avec :

albédo = 0,23 pour un couvert végétal standard (Smith *et al.*, 1991).

Rs : rayonnement solaire global (MJ / m<sup>2</sup>.jour)

### Rayonnement net de grandes longueurs d'onde (Brunt, 1939 ; Penman, 1948 ; Doorenbos et Pruitt, 1977)

$$R_{nl} = - \left( 1,35 \frac{R_s}{R_{nl}} - 0,35 \right) \left( 0,34 - 0,14 \sqrt{e_a} \right) \sigma (T + 273,3)^4$$

avec :

$\sigma$  : Constante Stefan-Boltzmann = 4,90 10<sup>-9</sup> (MJ / m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>.j) ;

T : température moyenne journalière (°C) ;

$e_a$  : tension de vapeur d'eau dans l'air (kPa) ;

Rs : rayonnement solaire global (MJ/m<sup>2</sup>.j) ;

Rso : rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde à ciel clair (MJ / m<sup>2</sup>.jour) ;

$R_{nl} = 0,75(R_{so})$  où  $R_a$  (MJ/maR<sup>2</sup>.j) représente le rayonnement extraterrestre.

### Flux de chaleur du sol (G) (van Wijk et Vries, 1963 ; Wright et Jensen, 1972 et Wright, 1982)

$$G = 0,38(T_i - T_{i-1})$$

avec :

G : flux de chaleur du sol (MJ / m<sup>2</sup>.j) ;

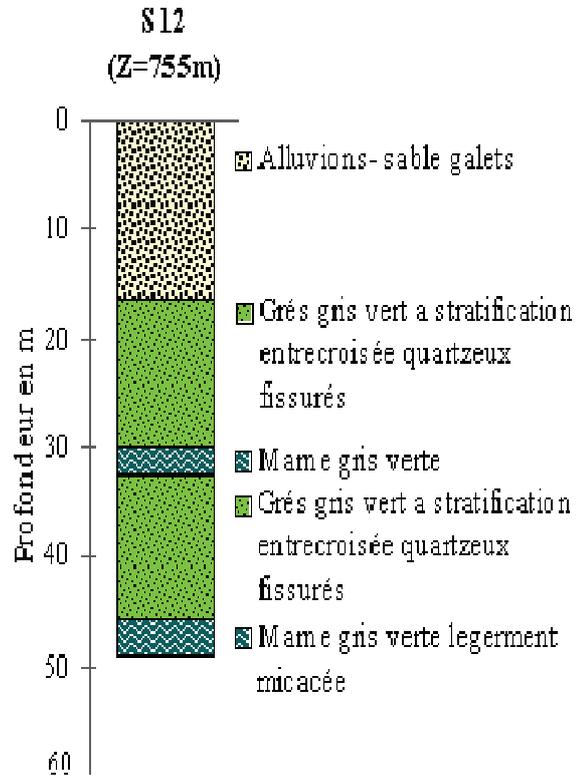
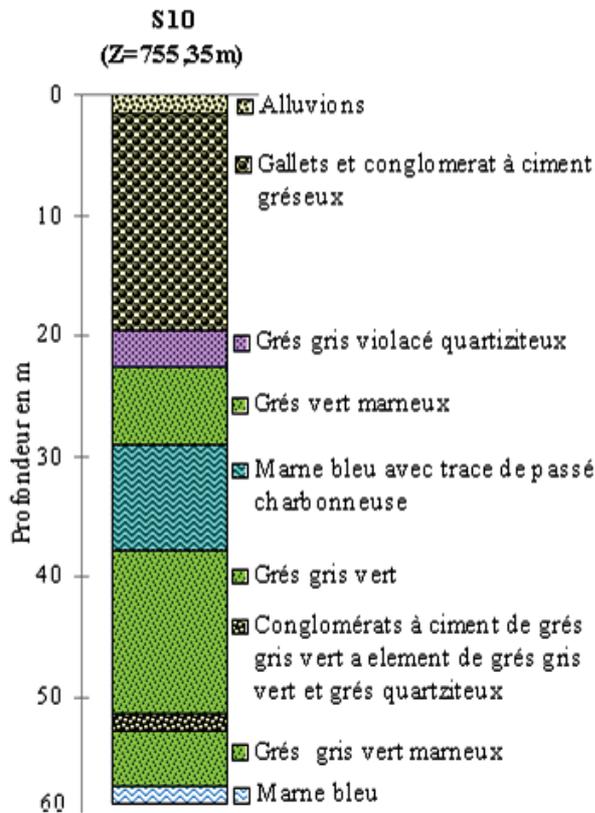
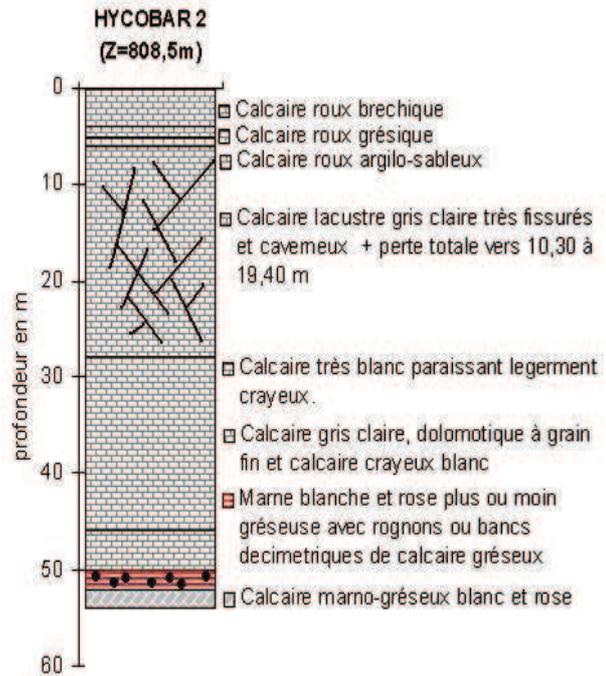
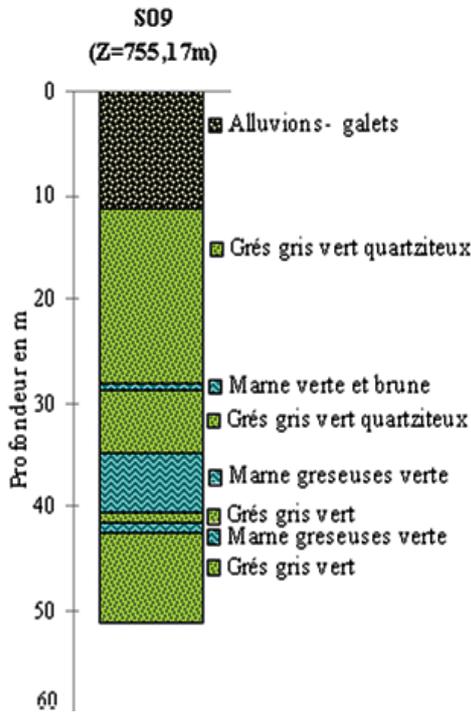
Ti : température moyenne de l'air (°C) ;

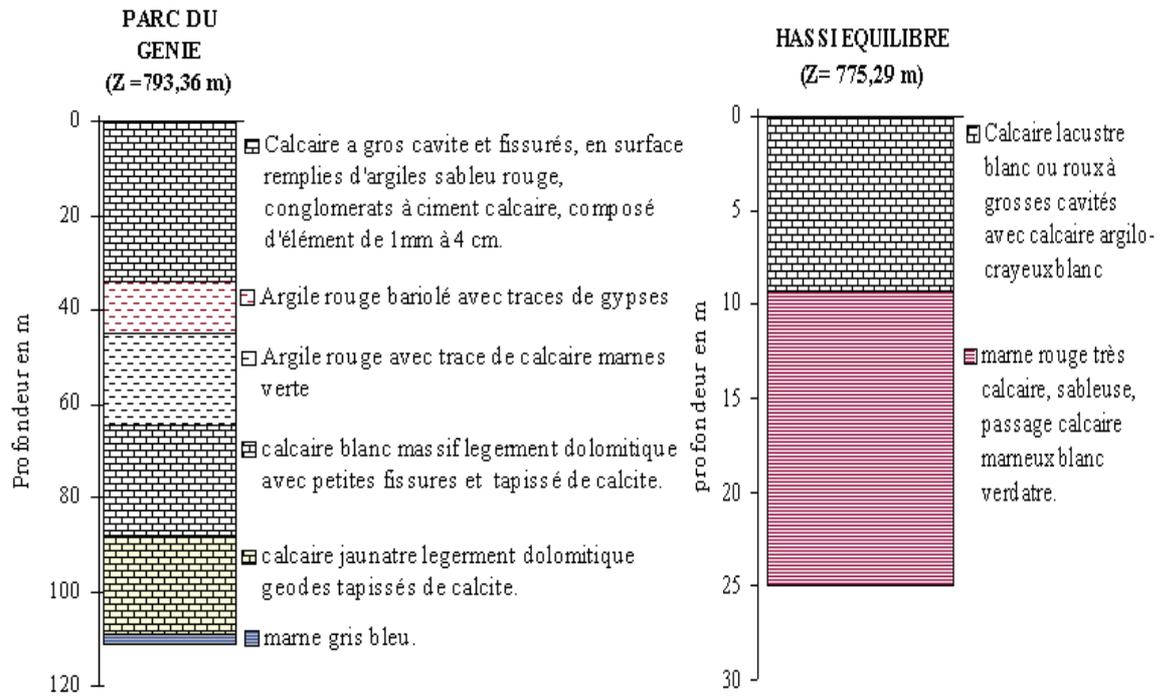
Ti-1 : température moyenne de l'air du jour précédent (°C).

Nous avons adopté  $G \approx 0$  car la température moyenne journalière varie peu d'un jour à l'autre.

### Annexe 9:

### Logs de quelques forages de la ville de Bechar





## Annexe 10:

**Normes de Qualité des éléments minéraux susceptibles d'être naturellement présents dans les eaux souterraines et risques associés.  
(Géosciences, Numéro 5 – Mars 2007; P59)**

	Elément	France, décret 2001-1220 µg/L	Directive 98/83/CE µg/L	Risque(s) associé(s)
<b>Paramètres indicateurs</b>	Al	200	200	Coloration, goût, maladie d'Alzheimer ? Encéphalopathies myocloniques
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	100	500	Odeur, goût
	Fe	200	200	Coloration, goût
	Mn	50	50	Formation de dépôts noirs
<b>Paramètres chimiques</b>	Sb	5	5	SbO <sub>3</sub> : cancer, réduction de la durée de vie ?
	As	10	10	Toxique, cancérogène (cutané)
	Ba	700	-	-
	B	1000	1000	Irritations gastro-intestinales Troubles de la reproduction ?
	Cd	5	5	Accumulation dans les reins Cancérogène (en inhalation)
	Cr	50	50	Cancer du poumon, génotoxicité
	Cu	2 000	2 000	Irritations intestinales Cirrhoses chez certaines personnes
	F	1 500	1 500	Fluorose dentaire et/ou squelettique
	Hg	1	1	Organique : affection du système nerveux central Inorganique : reins
	Ni	20	20	Allergène Inhalation : asthme, cancérogène, mutagène
	Pb	10	10	Aigu : système nerveux central, moelle osseuse, appareil digestif Chronique : système nerveux central (saturnisme)
	Se	10	10	Aigu : atteintes cutanées, respiratoires Chronique : appareil digestif, troubles neurologiques, dentaires Essentiel à faibles doses, toxique à doses élevées

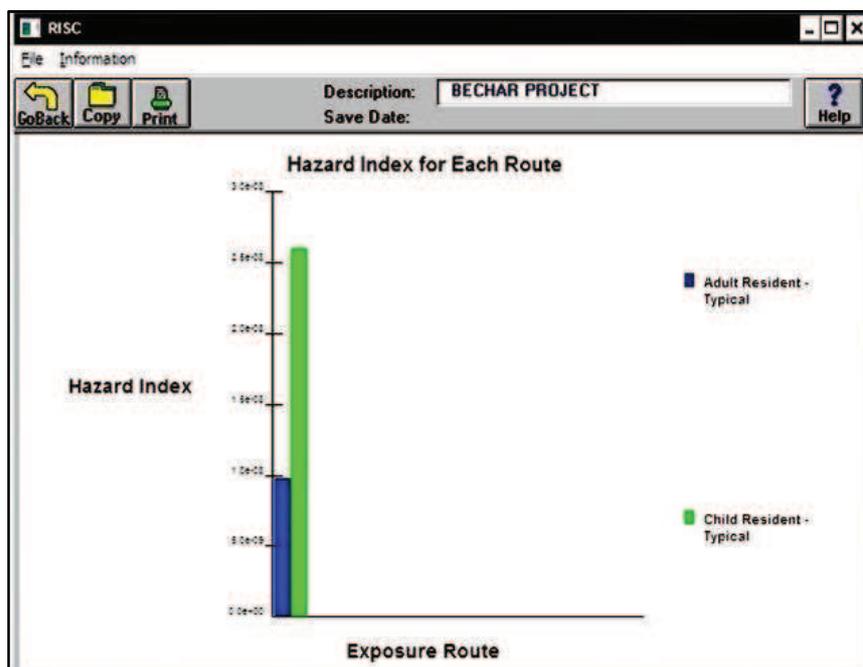
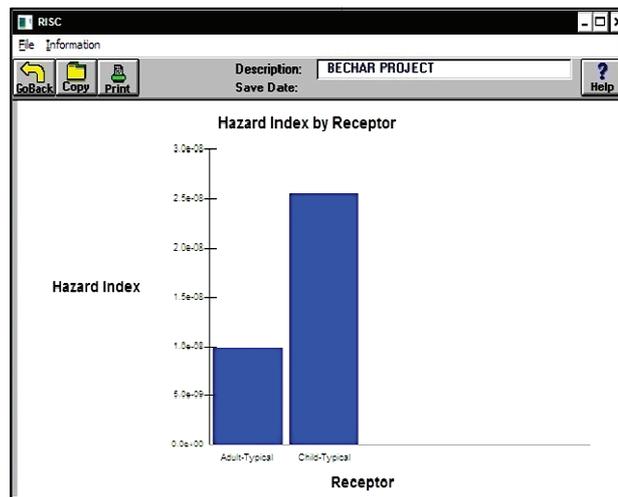
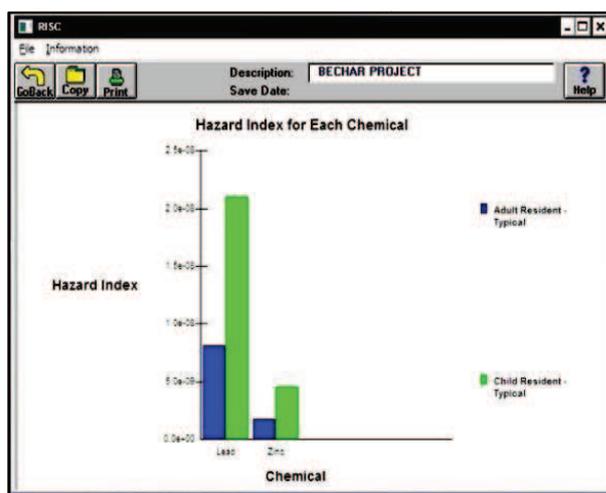
## Annexe 11:

Tableau 1 Principales infections humaines transmissibles par l'eau.(Hartemann 2004)

	Agent responsable	Origine la plus fréquente
<b>Pathologie digestive</b>		
Fièvres typhoïdes	<i>Salmonella typhi</i> (PARA A – B)	Aliments Eau de boisson (EB)
Gastroentérites	<i>E. coli</i> <i>Salmonella sp.</i> <i>Shigella sp</i> <i>Yersinia</i> <i>Campylobacter</i> <i>Giardia</i> <i>Cryptosporidium</i>	EB  Aliments crus  Baignades
Choléra	Rotavirus <i>Vibrio cholerae</i>	EB, Aliments
Hépatites A, E	Virus	
<b>Pathologie respiratoire-ORL</b>		
Légionellose	<i>Legionella sp.</i>	Eaux aérosolisées
Mycoses pulmonaires.	<i>Aspergillus sp</i> <i>Actinomycetes</i> Thermophiles	Compostage
Affections ORL	Adénovirus Reovirus	Piscines Baignades Baignades (eau douce)
Méningoencéphalites ambiennes		
<b>Pathologie cutanéomuqueuse</b>		
Dermatomycoses	Dermatophytes	Métiers au contact de l'eau :
Candidoses	<i>Candida albicans</i>	piscines, baignades
Leptospirose	<i>Leptospire</i>	eaux usées, terrassment
Suppurations Bactériennes	Streptocoque hémolytique du groupe A <i>Staphylococcus</i> <i>Pseudomonas</i> Furcocercaires	
Dermatites		
ORL : Oto-rhino-laryngologique.		

## Annexe 12:

Résultats de l'application de l'évaluation de l'indice de risque pour la ville de Bechar.



# Impact des eaux usées domestiques sur l'environnement, et évaluation de l'indice de risque sur la santé publique: Cas de la ville de Bechar, SW Algérien

**Kabour Abdesselem**

*Laboratoire FIMAS, Université de Bechar, BP: 417, Bechar 08000 /Algérie*

E-mail: kabour\_abs@yahoo.fr

Tel : (+213) 0561227583 ; Fax : (+213) 49815244

**Hani Azedine**

*Département des Sciences de la Terre, Université d'Annaba, BP: 12, Annaba 23000 / Algérie*

E-mail: haniazzedine@yahoo.fr

**Chebbah Lynda**

*Département Hydraulique, Université de Bechar, BP: 417, Bechar 08000 /Algérie*

E-mail: Cheblyn@yahoo.fr

## Abstract

This work concerns the study of the groundwater physicochemical characteristics of Bechar city (Algerian SW), and on the sewage urban poured in the Bechar Wadi, their environmental impact, mainly on quality, and secondarily on the public health.

The approach initially was done by the determination of the facies by the Piper diagram, where the majority of the samples are chlorinated calcic, and then the regrouping by a dendrogram give results by associating the four groups determined with the indicators of pollution.

The analysis of the chemical results shows that a pollution of anthropologic origin (71%), constitutes a significant impact on the environment, by the deterioration of the groundwater quality, by the proliferation of the indicators marking this presence (NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub>, Pb, Zn).

Bacteriological quality tested (Coliformes fecal, Streptocoques, Clostridiums sulfite reducing) shows signs of contamination confirmed by relatively high average values of the required germs.

The evaluation of the hazard of risk for the determinant: ingestion of groundwater, with the ions Pb and Zn, for the children and the adults, is meaning, of value of "1,3" (Pb, children), expresses the presence of a risk, and measurements owe beings recommended to eliminate it.

**Keywords:** Bechar, hydrochemistry, impact, pollution, hazard of risk.

## 1. Introduction

Les grandes villes des pays en voie de développement connaissent généralement une croissance démographique galopante qui engendre des problèmes multiples et complexes [1]. Au défi croissant

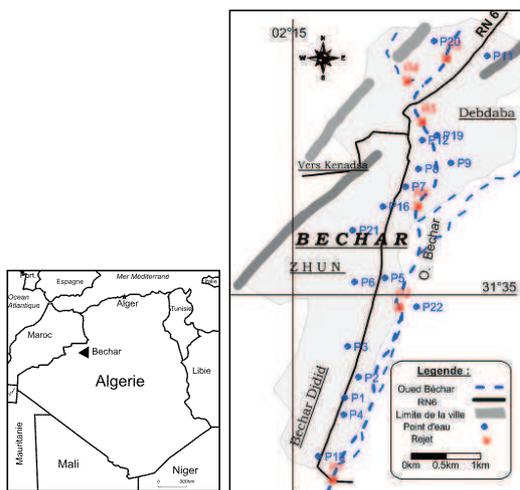
que pose la demande en eau et leur gestion, se rajoute les problèmes de rejet des eaux usées [26], et leur influence directe ou indirect, à long ou à court terme sur l'environnement et la santé publique. [1].

La composition des eaux usées d'origine domestiques peut être extrêmement variable et dépend de trois facteurs, qui sont la composition originelle de l'eau potable, les diverses utilisations par les particuliers qui peuvent apporter un nombre quasi-infini de polluants, et enfin les utilisateurs eux-mêmes qui vont rejeter la matière organique dans les égouts (urines, fèces) [4].

La contamination des eaux souterraines dans un environnement urbain est due à l'infiltration des eaux usées domestiques rejetées, sans contrôle, dans le milieu récepteur naturel, accentuée par des conditions hydrogéologiques favorables [21].

Lorsqu'on effectue une évaluation environnementale, il est souhaitable de situer le volet santé comme une composante importante. Les facteurs contextuels qui peuvent être pertinents pour déterminer l'importance des impacts environnementaux comprennent principalement les couches vulnérables de la population humaine susceptibles d'être touchées par les impacts (les enfants, les personnes âgées), ainsi que leur ampleur, leur durée, leur fréquence et la possibilité de répétition [8].

**Figure 1:** Situation géographique du site et inventaire des puits et des rejets.



## 2. Matériel et Méthode

La ville de Bechar est située au Sud Ouest Algérien (figure 1), dans un climat aride à tendance saharienne, où la précipitation est irrégulière durant l'année, avec une moyenne de 71,48 mm, pour la série 1988-2008. L'évaporation (moyenne 305,29 mm) ainsi que l'évapotranspiration dépassent les précipitations, par conséquent toute l'année est sèche [18].

Elle subit, comme toutes les villes algériennes, une forte demande en eau, proportionnelle à l'augmentation du nombre de la population, au taux d'accroissement de 3,11%, elle est de 161902 habitants en 2007 [18].

La ville de Bechar s'étale sur une superficie d'environ 160 km<sup>2</sup>, elle est raccordée au réseau d'alimentation en eau potable avec un taux de 96 %, une dotation réelle de 139 litre/habitant/jour, et un taux de satisfaction de 71%. Toutefois, les eaux souterraines gardent leur place dans le quotidien des autochtones (irrigation, bain turc, etc.) [18].

L'oued Bechar, par son inferoflux, sur sa trajectoire du Nord au Sud, traverse les affleurements des formations suivantes: les alluvions du Quaternaire ancien (d'épaisseur variable entre 5 à 10 m), les calcaires de l'Eocène dit Barga II (d'épaisseur supérieure à 60 m), ensuite les calcaires du Turonien dit Barga I (de 25 à 45 m d'épaisseur) et les intercalations des calcaires et des grès du Carbonifère Westphalien et enfin un contact latéral avec les alluvions du Namurien [24, 10, 16, 14].

L'oued longe la ville de Bechar des deux cotés sur toute sa longueur, où sont déversées les eaux usées en plusieurs points de rejets, le débit des rejets de la ville est estimé à 248,28 litre/ seconde [17].

Cette situation nécessite de mener une étude objective pour dégager un diagnostic du degré de pollution de la qualité des eaux souterraines de la ville de Bechar et de l'impact des eaux de ces rejets sur la santé publique et sur l'environnement.

Trois campagnes d'échantillonnages, deux ont été effectuées durant les mois d'avril 2007 et avril 2008 sur 14 puits et 6 points de rejets (figure 1). Pour caractériser le contenu physico-chimique de ces eaux, les éléments suivants ont été dosés: CE, pH, Mg, Ca, Cu, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, Pb (avril 2007) et CE, pH, Eh, TDS, sal, O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, I, Ca, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>, B, PO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, Zn, Mn, HCO<sub>3</sub>, Na, K(avril 2008); la troisième est établie au mois d'avril 2010, sur 22 échantillons pour réaliser une analyse microbiologique (Coliformes fécaux, Streptocoques, Clostridium sulfite réducteurs).

### 3. Résultat et Interprétation

Les résultats des analyses chimiques sont projetés sur le diagramme de Piper (figure 2), qui montre la dominance du faciès chloruré calcique et une tendance vers le pôle nitraté lié à la pollution par les rejets. Le classement des éléments chimiques [2], indique que 50% présente un faciès chloruré calcique, 29% de faciès sulfaté calcique, 14% chloruré magnésien et 7% bicarbonaté calcique.

La comparaison des éléments physicochimiques avec les normes usuelles de l'ADE (Algérienne Des Eaux), montre que la conductivité oscille entre 1130 et 4540 mS/cm, elle dépasse la norme dans 74% des puits analysés (Tableau 1). Les teneurs moyennes en: CE, Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Mg, NH<sub>4</sub> présentent des valeurs supérieures aux normes de potabilité admissibles.

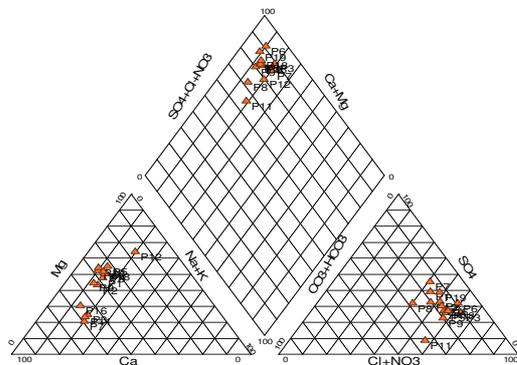
Les niveaux piézométriques mesurés varient de 3 m (P18) à 6 m (P8) avec une moyenne de 5 m, ce qui favorise une infiltration rapide des eaux de surface [16].

Le regroupement des échantillons analysés, en tenant compte de leur qualité physicochimique [12], par l'intermédiaire du dendrogramme (figure 3), par la distance euclidienne, au niveau 40, a permis de distinguer quatre groupes, qui se traduit par: l'influence de la minéralisation des puits P12, P3, P19, P7, P11, par l'ion NO<sub>2</sub>; les eaux des P8, P5, P4, P9, par le PO<sub>4</sub>; le P18 par l'ion NH<sub>4</sub>; le P6 par l'ion NO<sub>3</sub>, et les P1, P2, P16 par Cl et SO<sub>4</sub>. Les éléments: NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, sont considérés comme des indicateurs d'une pollution d'origine anthropique [23,15, 1, 21, 13,7].

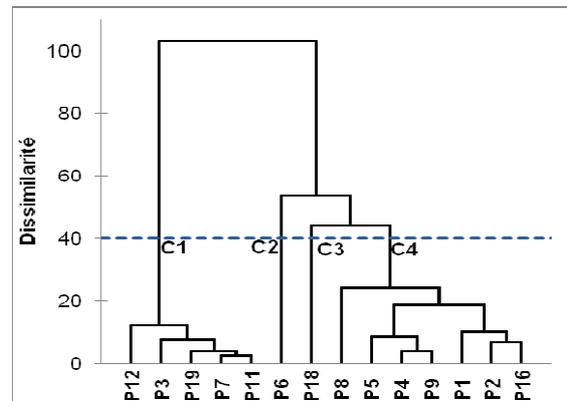
**Tableau 1:** Statistique simple et comparaison des moyennes aux normes de l'ADE, des eaux souterraines de la ville de Bechar (avril 2007, 2008)

Variable	Norme ADE	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
CE (µS/cm)	2800	1130,00	4540,00	2865,71	1258,82
pH	6,5-8,5	7,20	8,12	7,75	0,30
Eh (v)	-	-80,00	-25,00	-53,57	19,81
MES (mg/l)	1500-2000	330,00	2230,00	1045,71	613,84
Sal (mg/l)	-	0,30	2,20	0,98	0,65
O <sub>2</sub> (mg/l)	-	4,14	6,89	5,33	0,73
C <sub>1</sub> (mg/l)	200-500	250,00	1060,00	595,00	295,13
NO <sub>3</sub> (mg/l)	50	9,75	99,23	45,44	28,31
SO <sub>4</sub> (mg/l)	200-400	55,26	822,36	474,52	206,49
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	-	134,20	610,00	345,09	155,51
Ca (mg/l)	75-200	28,00	254,00	145,00	58,15
Mg (mg/l)	150	21,60	214,80	100,54	55,07
Na (mg/l)	200	31,51	74,00	52,91	14,50
K (mg/l)	20	2,85	7,80	4,84	1,62
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,5	0,20	4,40	0,68	1,17
NO <sub>2</sub> (mg/l)	0,1	1,00	8,00	3,71	2,58
PO <sub>4</sub> (mg/l)	-	0,90	4,50	1,84	0,88
P (mg/l)	-	0,00	0,50	0,21	0,13
B (mg/l)	-	0,02	1,53	0,27	0,37
Zn (mg/l)	5	0,80	4,40	3,38	1,12
Iode (mg/l)	-	0,00	6,80	0,65	1,79

**Figure 2** Diagramme de Piper des eaux souterraines de la ville de Bechar (Avril 2008).



**Figure 3**: Dendrogramme des eaux De la ville de Bechar (Avril, 2008)

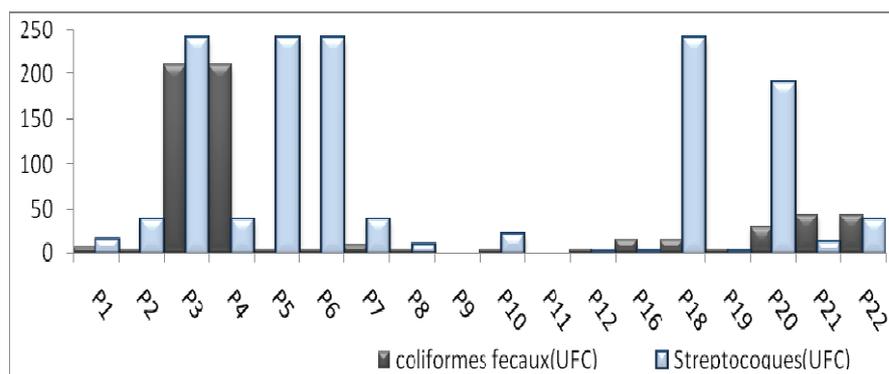


### 3.1. Caractéristiques Bactériologiques des eaux Souterraines de la ville de Bechar

La microbiologie de l'eau potable est un domaine d'analyse très important, entre autre: Les streptocoques, les clostridiens sulfito-réducteurs, et Les bactéries coliformes fécales, qui sont considérées comme le meilleur indicateur de contamination fécale (présence probable de microorganismes pathogène) [29].

L'analyse microbiologique établie au mois d'avril 2010, sur 22 échantillons, permet ainsi de confirmer la contamination d'origine anthropique; on remarque que (figure 4): les Coliformes fécaux présentent une valeur moyenne de 33.83 UFC et un max de 210 UFC au puits P3 et P4; les Streptocoques, avec une valeur moyenne de 69.49 UFC et un max de 240 UFC au puits P3, P5, P6 et P18; et en fin pour les Clostridiens sulfito réducteurs de forme sporulée, un seul puits est déclaré positif (P18), dans les autres puits une absence total est observée; il faut noter que pour les deux prélèvements P9 et P11, aucun signe de contamination n a été détecté.

**Figure 4**: Analyse bactériologique des eaux souterraines de la ville de Bechar (Avril 2010).



### 3.2. Evaluation du Risque, et Impact sur la Santé

Les eaux usées chargées en polluants et en contaminants divers, pose le problème de risque sanitaire [4, 22, 8]. Il peut s'agir des effets directs sur la santé d'une population ou des effets plus indirects à partir de facteurs intermédiaires ayant une influence sur les déterminants de la santé de la population. De tels impacts peuvent être ressentis immédiatement à court terme ou après un long délai [27, 9, 3].

Des « évaluations du risque sanitaire » [8, 5, 6, 11], sont conduites afin de déterminer l'excès de risque pouvant provoquer une maladie du fait d'une exposition spécifique à un polluant

(atmosphérique par exemple). L'évaluation du risque sanitaire (ERS) est un processus que l'on décompose, par convention, en 4 étapes.

1. L'identification du danger (qui traduit le danger potentiel du polluant considéré) décrit les troubles biologiques ou les pathologies susceptibles d'apparaître du fait des propriétés intrinsèques d'un polluant; elle décrit aussi le degré de vraisemblance de la relation causale entre l'exposition au polluant et le développement de ces troubles et pathologies «le poids de la preuve».
2. La relation « dose-réponse », on dit aussi «exposition-risque» décrit mathématiquement l'association entre une dose d'exposition et la réponse observée (l'apparition d'un effet sur la santé, c'est-à-dire la présence d'un risque) sur une période de temps donné.
3. L'importance des excès de risque pour la santé dépend non seulement du « danger », mais aussi du niveau d'exposition et de sa durée (intensité de l'exposition) ainsi que de sa fréquence. La détermination de ces paramètres fait partie de l'évaluation de l'exposition.
4. La caractérisation du risque utilise les résultats des étapes précédentes afin de décrire le type et l'amplitude de l'excès de risque attendu du fait des conditions d'exposition au polluant identifié au sein d'une population, considérée dans sa diversité. Elle intègre également une discussion sur les incertitudes associées aux estimations du risque [28].

L'évaluation du risque sanitaire (tableau 2) lié à cet usage des eaux souterraines de la ville de Bechar n'a semble-t-il, jamais été réalisée. L'impact sur l'environnement et sur la santé peut se traduire par la contamination des eaux de consommation [26], la présence de cas de Dysenterie et de fièvre Typhoidale au niveau des autochtones le confirme (figure 6). La Dysenterie (maladie transmise par l'eau contaminée) [22] présente des valeurs allant de 37 (2007) à 181 (2001) cas sur 100 000 Habitants, pour les tranches d'âge de 0 - 4, 20 - 29, et supérieures à 65 ans, et la fièvre Typhoidale (une maladie diarrhéique très grave transmise par l'eau) [22], varie de un à 14 cas/100 000 Habitants (en 2004), pour les tranches d'âge de 10-19, 20-29 ans [30].

L'indice de risque total porte sur la somme des indices de risque évalués pour les substances Plomb et Zinc, aux facteurs suivants (figure 7):

Ingestion des légumes évalués entre  $10^{-4}$  et 1.

Contacte cutané des eaux d'irrigation estimé entre  $10^{-4}$  et  $10^{-6}$ .

L'inhalation pendant la douche considéré comme nul.

Contact cutané dans la douche est situé entre  $10^{-4}$  et  $10^{-2}$ .

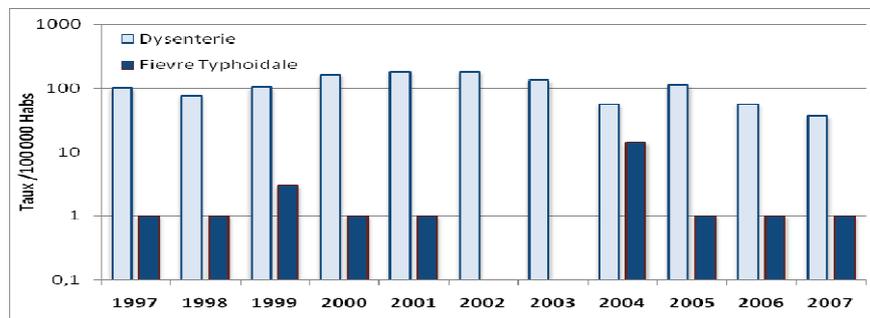
Et principalement l'ingestion des eaux souterraines, qui est de  $10^{-2}$  à  $>1$ .

L'évaluation de l'indice de risque total (figure 7) qui prend en considération les deux éléments Zn et Pb, et qui est de 1,3 (Pb), 0,47 (Zn) pour les enfants, et de 0,63 (Pb), 0,17 (Zn) pour les adultes. En se référant au tableau 2, pour les eaux souterraines de la ville de Bechar, l'indice de risque total présume un risque possible pour les adultes, et un risque à influence anthropique présent, et des mesures doivent être entreprises pour minimiser ou éliminer le risque pour les enfants.

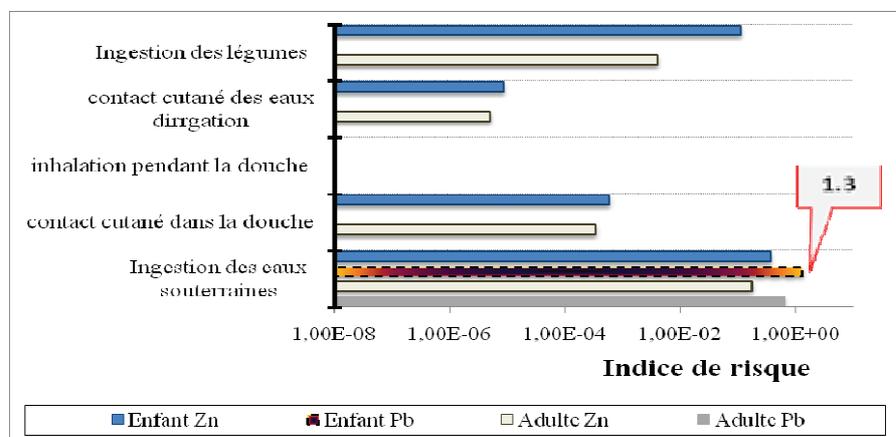
**Tableau 2:** Les valeurs de l'indice de risque et leurs interprétations [8].

Valeurs de l'indice de risqué	Interprétations
De $10^{-9}$ à $10^{-6}$	Risque probable
De $10^{-6}$ à $10^{-4}$	Risque très probable
De $10^{-4}$ à $10^{-2}$	Risque hautement probable
De $10^{-2}$ à 1	Risque possible
Supérieur à 1	Risque à influence anthropique présent, et des dispositions doivent être entreprises.

**Figure 6:** Evolution de la Dysenterie et de la Fièvre Typhoidale dans la wilaya de Bechar. ([www.sante-dz/insp/](http://www.sante-dz/insp/))



**Figure 7:** Indice de risque en fonction des différents déterminants, Pour les paramètres Pb et Zn.



#### 4. Conclusion

La composition de l'eau à usage domestique en Algérie doit répondre à certaines normes de l'ADE (Algérienne Des Eaux), de caractères physicochimiques et organoleptiques. Sur le plan hydro chimique, 71 % des puits échantillonnés des eaux souterraines de Bechar sont contaminées. Le dendrogramme montre que la minéralisation de ces eaux est influencée par une contamination organique.

Les analyses microbiologiques (Coliformes fécaux, Streptocoques, Clostridium sulfite réducteurs) indiquent que la charge microbienne est très importante et révèlent qu'il y a des signes de contamination dans la majorité de prélèvement où les valeurs moyennes du nombre des germes recherchés dépasse la norme, sauf pour deux prélèvement (P9 et P11) où il n'y a aucun signe de contamination.

Cette pollution, d'origine anthropique (rejets des eaux usées dans l'Oued) rend ces eaux impropres à la consommation humaine. La population qui utilise ces eaux pour ses besoins quotidiens, s'expose à des risques sanitaires. L'indice de risque, d'une valeur de 1,3 pour l'élément Pb, pour les enfants, détermine pour le paramètre: ingestion des eaux souterraines, exprime la nécessité de prendre des mesures afin de réduire voir éliminer le risque d'atteinte à la santé public.

La présence d'une pollution organique renforce l'importance de faire un suivi régulier de la qualité de l'eau, d'apporter les correctifs appropriés pour prévenir toute contamination. Si une nouvelle analyse confirme la présence de coliformes totaux à des concentrations excédant les normes (au-delà de 10 ufc/100 ml), il s'avère alors pertinent d'effectuer un traitement choc de désinfection des puits.

## Références

- [1] Ahoussi kouassi E., N. Soro, G.B. Soro, T. Lasm, M.S. Oga, S.P. Zade, 2008. "Groundwater pollution in African Biggest Towns: case of the town of Abidjan (Cote d'Ivoire)", *EJSR* vol 20 N°2, pp. 302-316.
- [2] Al shaibani A.M., 2008. "Hydrogeology and hydrochemistry of a shallow alluvial aquifer, Western Saudi Arabia", *Hydrogeology journal* 16, pp. 155-165.
- [3] Basil TIongor, Long-Cang S., 2007. "Groundwater overdraft vulnerability and environmental impact assessment in Arusha", *Environmental geology* 51, pp. 1171-1176.
- [4] Baumont S., 2005. "Réutilisation des eaux usées épurées: risques sanitaires et faisabilités en ile de France", *ORS, ENSAT*, France.
- [5] Belousova A.P., I.V. Proskuriva., 2008. "Principal of zoning a territory by the hazard and risks of groundwater pollution", *Water resources* Vol 35 N 1, pp. 108-119.
- [6] Bonnard R., 2001. "le risque biologique et la méthode d'évaluation du risque, Rapport final", *INERIS*, France.
- [7] Cetindag B, O. Olzem Oztekin., 2004. "Hydro chemical characteristics and pollution potential of Uluova aquifers, Elazig, Turkey", *Environmental geology* 45, pp. 796-807.
- [8] CFPHTMT, 2005. "Guide canadien d'évaluation des incidences sur la santé. V2, approches et prise de décision", rapport, canada.
- [9] CSHPF, 1995. "Recommandation sanitaire relative a la désinfection des eaux usées urbaines, section des eaux", Rapport, canada.
- [10] Delau P. 1951. "Les bassins Houillers du Sud-Oranais, dans la région de Colomb-Bechar-Abadla", (livre1). *Bulletin du service de la carte géologique de l'Algérie*, 2 séries N°20.
- [11] FAO/OMS, 2004. "Caractérisation des dangers lies à la présence de pathogènes dans les aliments et dans l'eau", FAO/OMS.
- [12] Fehdi C., A. Boudoukha, A. Rouabhia, E. Salameh., 2009. "Caractérisation hydro chimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsot-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud Est Algérien)", *Afrique science* 05 (2), pp. 217-231.
- [13] Graniel CE, L.B. Moris, J.J. Carrillo-Rivera., 1999. "Effect of urbanization on groundwater resources of Merida, Yucantan, Mexico", *Environmental geology* 37 (4), pp. 303- 312.
- [14] Guerre C., 1974. "Alimentation en eau potable de Bechar et de Kenadsa", DEMRH, Alger.
- [15] Jalali M., 2007. "Hydro chemical identification of groundwater resources and their changes under the impact of human activity in the Chah basin in western Iran", *Environment Monit Asses* 130, pp. 347- 364.
- [16] Kabour A, L. Chebbah, A. Hani, A. Boudoukha, S. Meguellati., 11-12 mai 2009. "Identification hydrogéologique de la région de Bechar-Kenadsa (SW Algérien)", *Premier séminaire national « les ressources hydriques Sahariennes*, Centre Universitaire EL Oued, Algérie.
- [17] Kabour A, A. Hani, L. Chebbah., 13-14 mai 2009. "Impact des rejets urbains sur les eaux souterraines, dans une région aride (cas de la ville de Bechar, SW Algérien)", GIGE09, Facultés des sciences, Fès – Maroc.
- [18] Kabour A, A. Mekkaoui, L. Chebbah., du 23 et 24 Nov 2008. "Évaluation et gestion des ressources hydriques dans une zone aride: cas de la ville de Bechar. (Sud ouest algérien)", SNHYC08 - CHLEF, Algérie.
- [19] Labbardi H, O. Ettahiri, S. Lazor, Z. Massik, S. El antri., 2005 "Etude de la variation spatiotemporelle des paramètres physicochimiques caractérisant la qualité des eaux d'une lagune côtière et ses zonations écologique, cas de Moulay Boussalem, Maroc", *CR Geosciences* 337, pp. 505-514.
- [20] Mondal NC., 2005. "Assessment of groundwater pollution due to tannery industries in arid climate around Dindigul, Tamilnadu, India", *Environ Geol* 48, pp. 149- 157.
- [21] Navarro A, M. Carbonel., 2007. "Evaluation of groundwater contamination beneath an urban environment: the Besos river basin (Barcelona, Spain)", *Journal of environment management* 85, pp. 259-269.

- [22] OMS, 2005. "Etude de l'impact sur la santé, principaux concepts et méthode proposée, (consensus de Göteborg), centre collaborateur de l'OMS, pour les villes-santé francophones", France.
- [23] Rabiet M., 2006. "Contamination de la ressource en eau par les eaux usées dans un bassin versant méditerranéen, apport des éléments majeurs, traces et terres rares", Doc. Thesis, Montpellier II University.
- [24] Roche M.A., 1973 "Hydrogéologie de la haute Saoura (Sahara Nord Occidental)", *CNRS (Recherche sur les zones arides)*.
- [25] Srivastava S.K, A.L. Ramanathan, 2008. "Geochemical assessment of groundwater quality in vicinity of Bhalswa Landfill, Delhi, India, using graphical and multivariate statistical methods", *Environ Geol* 53, pp. 1509-1528.
- [26] Tandia A.A., E.S Diop., C.B. Gaye, 1999 "Pollution par les nitrates des nappes phréatiques sous environnement semi-urbain non assaini: Exemple de la nappe de Yeumbeul, Sénégal", *Journal of African earth sciences* Vol 29 N 4, pp. 809-822.
- [27] Venugopal T., L. Giritharan, M. Jayaprakash, P. Periakali, 2009. "Environmental impact assessment and seasonal variation study of the groundwater in the vicinity river Adyar, Chennai, India", *Environ Monit Assess* 149, pp. 81-97.
- [28] [www.AFSSET.fr](http://www.AFSSET.fr).
- [29] [www.bioservices.ca/cge](http://www.bioservices.ca/cge)
- [30] [www.sante-dz/insp/](http://www.sante-dz/insp/)
- [31] [www.santeweb.ch](http://www.santeweb.ch)



## ÉVALUATION ET GESTION DES RESSOURCES HYDRIQUES DANS UNE ZONE ARIDE. CAS DE LA VILLE DE BECHAR (SUD OUEST ALGÉRIEN)

*KABOUR A.<sup>1</sup>, HANI A.<sup>2</sup>, MEKKAOUI A.<sup>1</sup>, CHEBBAH L.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Département d'hydraulique, université de Bechar. BP 417, 08000/ Algérie.

kabour\_abs@yahoo.fr

<sup>2</sup>Département des sciences de la terre, université d'Annaba.

### RESUME

La ville de Bechar située dans le Sud Ouest algérien, se caractérise d'un climat aride à tendance saharienne, avec une température moyenne de 28,80°C et une précipitation moyenne de 72,97 mm, (série 1985-2006). Elle subit comme toutes les villes algériennes, une forte demande en eau, proportionnellement à l'augmentation du nombre de la population, et au taux d'accroissements de 3,6 %, qui est de 192909 h en 2007, estimée à 348415 h en 2027.

L'eau dans le réseau d'AEP de la ville de Bechar (737 km), provient principalement du barrage de Djorf Torba (80%), et secondairement de l'aquifère du Turonien de Ouakda (20%), avec des débits, respectivement de 358,72 l/s et 97 l/s.

La ville de Bechar est raccordée avec un taux de 96 %, et une dotation réelle de 139 litre / habitant/ jour, et un taux de satisfaction de 58%, ce qui est très satisfaisant pour une situation pareille.

Le présent travail consiste à dresser un bilan sur la situation des différentes ressources hydriques, dont la ville de Bechar puise son potentiel hydrique, pour subvenir à la demande croissante en AEP (alimentation en eau potable) et AEI (2 400 000 m<sup>3</sup>/an) (alimentation en d'irrigation), et analyser le schéma de la gestion de ces ressources.

**Mots clés :** zone aride, ressources hydriques, gestion, Bechar, alimentation en eau potable.

## ABSTRACT

The town of Bechar located in the Western South of Algeria, is characterized by an arid climate with Saharan tendency, an average temperature of 28.80°C and an average precipitation of 72.97 mm, (series 1985– 2006). It undergoes like all the Algerian cities, a keen water demand, proportionally with the increase in the number of the population, and at the rate of increase in 3.6 %, which of 192909 H in 2007, is estimated with 348415 H in 2027.

Water in the feeder system of the town of Bechar (737 km), comes mainly from the dam Djorf Torba (80%), and secondarily from the aquifer of Turonien of Ouakda (20%), with flows, respectively of 358.72 l/s and 97 l/s.

The town of Bechar is connected with a rate of 96 %, a real equipment of 139 liter/inhabitant/day, and a satisfaction rate of 58%, which is very satisfactory for a similar situation.

This work consists in drawing up an assessment on the situation of the various hydrous resources, whose town of Bechar draws its hydrous potential, to provide for the increasing demand for drinking water and AEI (2 400 000 m<sup>3</sup> / year) supply irrigation, and to analyze the diagram of the management of these resources.

**Keywords:** arid region, hydrous resources, management, Bechar, supply drinking water.

## INTRODUCTION

Il apparaît que les problèmes liés à la gestion de l'eau deviennent une préoccupation majeure. Les besoins ne cessent d'augmenter alors que les ressources sont limitées. Ainsi, de nombreuses régions connaissent, dès à présent, des pénuries quantitatives et qualitatives (*Valiron*, 1990).

Au Sahara, les évolutions culturelles et l'explosion démographique du 20ème siècle ont cependant engendré de graves conséquences sur le fonctionnement et l'équilibre de cet environnement fragile. Si rien n'est entrepris, la ressource en eau et le milieu naturel risquent de se dégrader, ce qui affectera le développement des êtres humains, de la faune et de la flore.

A l'origine des pénuries, on trouve les aléas climatiques, mais également des lacunes dans la gestion des risques et d'exploitation des ressources. Afin d'y remédier, il faut prendre les mesures nécessaires et suffisantes en considérant l'ensemble du système « eau » et ses relations avec les éléments tiers, tels que la disponibilité et la gestion, comme un patrimoine global à sauvegarder pour les générations futures.

Notre zone d'étude connaît divers problèmes d'eau dus à des lacunes de gestion et la méconnaissance des ressources souterraines exploitées.

## PRÉSENTATION DU SITE

### Situation géographique

La ville de Bechar située au pied du revers méridional de l'atlas saharien a une distance de 950 km au Sud-Ouest de la capitale Alger, (Figure 1) Elle est limitée Au Nord par les massifs septentrionaux (Djebel Antar 1960m) et Djebel Horriet (1461m)), et la hamada de Oum Sbaâ, au Sud par Chabket Mennouna, à l'Est par Djebel Bechar (1500m), et à l'Ouest par la région de Kenadsa.

La commune de Bechar s'étend sur une superficie de 5050 km<sup>2</sup> (URBAT, 1999). L'oued Bechar naît dans les versants des Djebel Antar et Horreit et va s'ensabler après 150 Km de parcours à Dhaïet Tiour, sans atteindre l'Oued Guir. (IDROTECNECO, 1979).

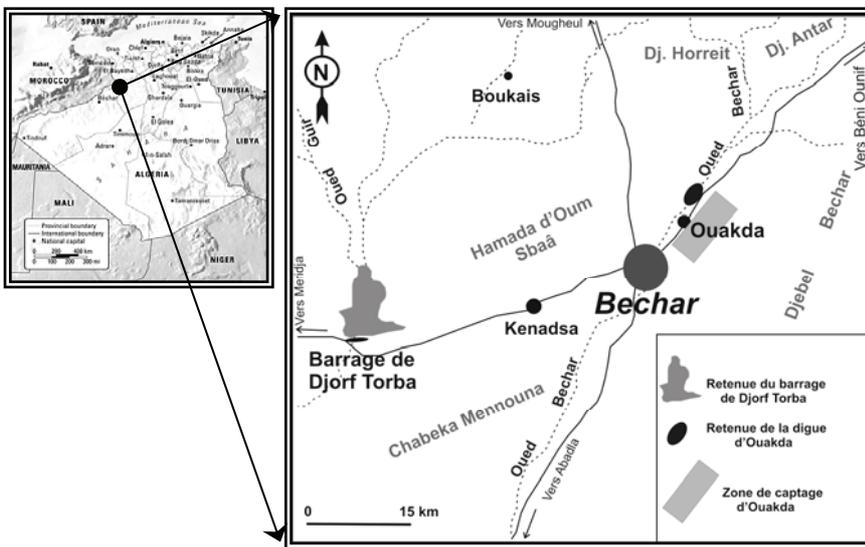


Figure 1: Situation géographique de la ville de Bechar (SW Algérie)

### Evolution de la population

La commune de Bechar présente presque 62% de la population totale de la wilaya. En 2007, elle compte environ 192909 habitants. La population projetée est calculée à la base d'un taux d'accroissement annuel de 3,0%, elle s'élèverait à 348415 habitants en 2027, (Benkadour, 2007) (figure2). Cette population est répartie sur plusieurs quartiers avec des proportions variables dans le temps et

dans l'espace, liées au développement socioéconomique de la ville, et l'extension par la construction de nouveaux pôles urbanisés vers le Sud (Zhun, Zone Bleu...etc.). Toutefois, le centre ville et le quartier de Debdaba demeurent encore peuplés (Figure 3).

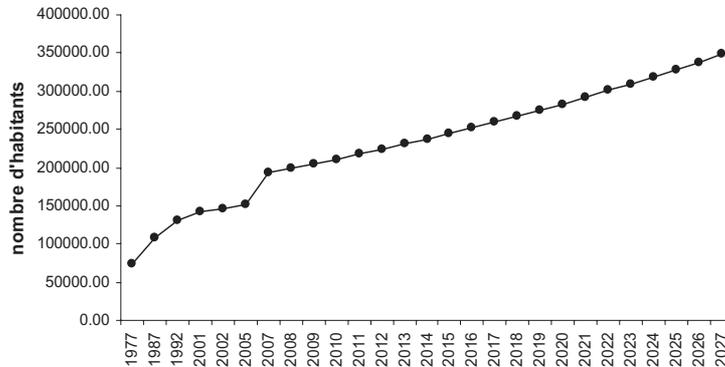


Figure 2 : Graphe de l'évolution de la population de la ville de Bechar

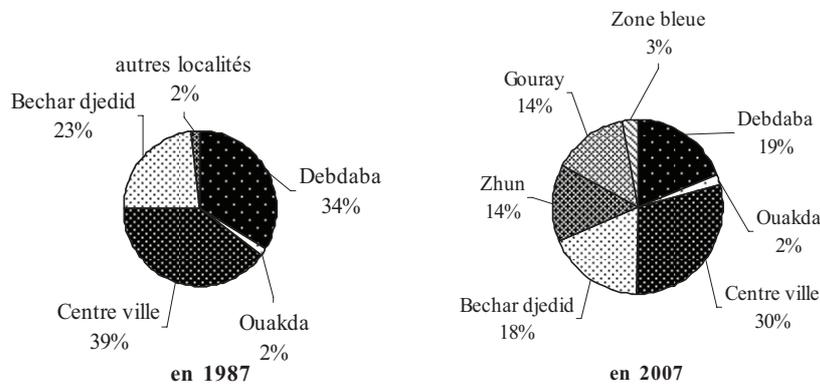


Figure 3 : Répartition de la population de la ville de Bechar par quartier

### Aperçu climatique

Le climat de la ville de Bechar est suivi par une station, localisée sur la Longitude 31°37' 00" N et la Latitude 02°14' 00" W, à une altitude de 772 m, indexée 13 01 32 par l'ANRH.

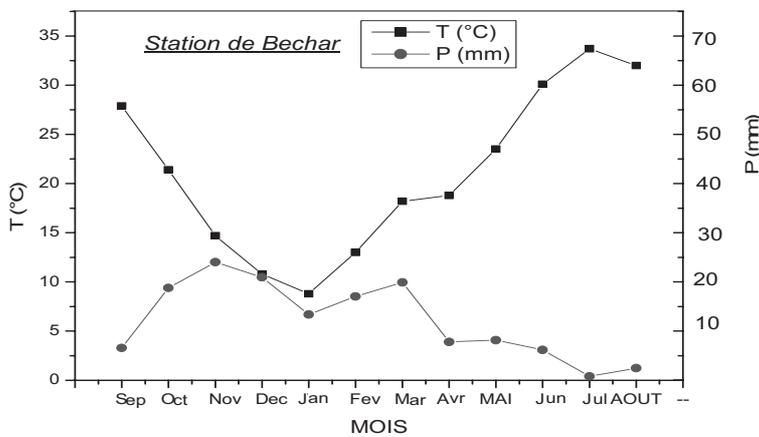
Pour la série 1985-2006, la température moyenne mensuelle interannuelle de la station est de 33,70°C et la précipitation moyenne mensuelle interannuelle est de 76,97 mm. Les paramètres du bilan hydrologique sont synthétisés dans le tableau 1.

**Tableau 1 :** Bilan hydrologique de la station de Bechar (1985-2006)

Paramètres (mm)	P	ETP	ETR	R	I
Bechar (1985-2006)	76,97	1223,79	76,92	0,10149	/

### Diagramme pluviométrique de *Gausсен et Bagnouls*

D'après ce diagramme (figure 4), la période sèche s'étale sur toute de l'année et la courbe des pluies passe au dessous de la courbe des températures, également sur toute l'année.



**Figure 4 :** Diagramme pluviométrique de *Gausсен et Bagnouls* pour la station de Béchar. Série (1985-2006).

## ÉVALUATION DES RESSOURCES HYDRIQUES

### Les ressources

Les ressources hydriques au niveau de la ville sont représentées par :

#### *Eaux de surface*

- Barrage Djorf Torba : d'une capacité théorique de 360 millions de m<sup>3</sup>, est un ouvrage important, situé à 70 km à l'ouest de Béchar, réalisé en 1969 dans le cadre du programme de la mise en valeur de la plaine d'Abadla, ([www.anb-dz.com](http://www.anb-dz.com)). En 2005, sa capacité réelle était de 190 millions de m<sup>3</sup>,

avec un volume régularisé de 100 hm<sup>3</sup>/an, dont 16 millions de m<sup>3</sup> sont destinés à l'alimentation en eau potable de la ville de Béchar et environ 50 millions de m<sup>3</sup>/an pour l'irrigation du périmètre agricole d'Abadla, ([www.anb-dz.com](http://www.anb-dz.com)).

- Digue de Ouakda : Située au Nord Est de la ville de Bechar, elle a été construite en 1993 sur le cours de l'Oued Bechar, et rénovée en 1995. Sa capacité est de 400.000 m<sup>3</sup>, destinée principalement à l'irrigation des périmètres agricoles de la plaine de Ouakda, (*Lefkir, 2005; Djelouli, 2003*).

### ***Eaux souterraines***

En dehors du système multicouche du Carbonifère, on note l'existence d'autres aquifères qui sont :

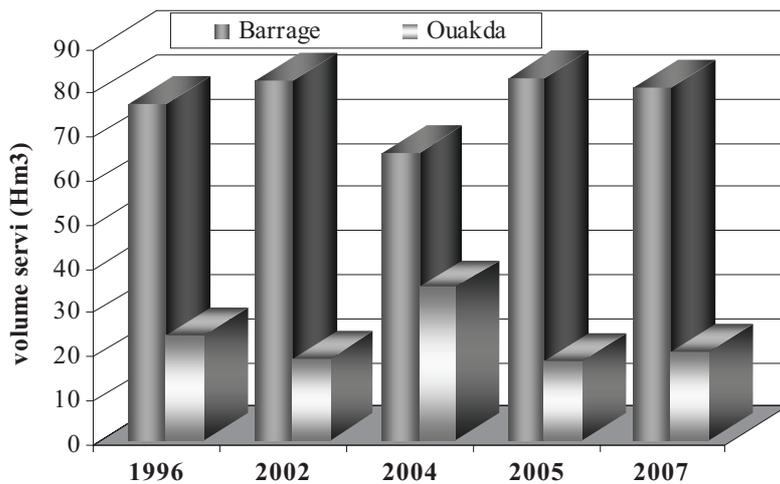
- Nappe turonienne de Ouakda : Les calcaires turoniens représentent un aquifère à caractère important par son extension de 2018 km<sup>2</sup>, malgré son épaisseur relativement faible de 25 à 45 mètres, (*IDROTECNECO, 1979*).

Le champ de captage de cette nappe se situe au niveau de Ouakda et compte 5 forages (*Hassi 20 ; Ouakda V ; HycobarIII ; OuakdaII ; OuakdaIII*), produisant un débit total de 97 l/s en 2005 (*Benkadour, 2007; Benoudjafar, 2003*).

- Nappe du Quaternaire de Ouakda : Par sa lithologie le Quaternaire renferme une nappe, alimentée par son impluvium et par l'Oued Bechar. Elle est actuellement exploitée par 211 points d'eau dont 186 puits et 25 forages. Le volume d'eau extrait de cette nappe est de 784.574,08 m<sup>3</sup>/an (un débit de 24,85l/s en 2007), (*Benkadour, 2007; Benoudjafar, 2003*).

- Nappe jurassique de Mougheul : Le champ captant de Mougheul, situé au nord à 70km de la ville de Bechar, est formé de quatre forages de profondeur variant entre 45 à 95 m. Ces forages, implantés dans le Jurassique, produisent un débit d'exploitation de 75 l/s, (*DHWB, 2004*).

On note que le barrage de Djorf Torba assure un rôle prépondérant dans l'alimentation en eau potable de la ville de Bechar (figure 5). Le barrage fournit deux à quatre fois le volume exploité d'Ouakda, pour atteindre les 80% en 2007.



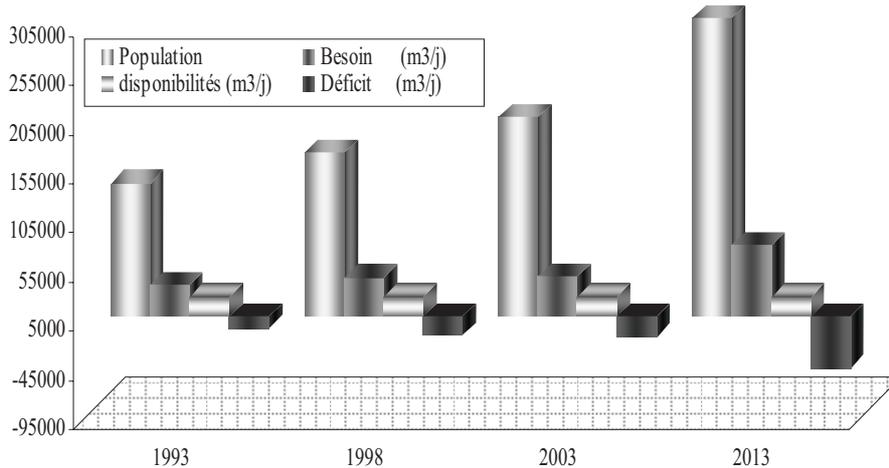
**Figure 5 :** Evolution du pourcentage du volume servi des deux ressources de la ville de Bechar

### Les besoins

Les besoins sont fonction de la population (figure 6). Ils sont estimés sur la base d'une dotation de 240 l/h/j, desservie 10h/24h. Le tableau 2 regroupe les besoins et les disponibilités (considérées comme constantes), ainsi que les déficits en eau. Par conséquent, l'augmentation des déficits et la diminution des débits de consommation fournissent engendrent la réduction du taux de satisfaction (DHWB, 2004).

**Tableau 2 :** Evolution des besoins en fonction des disponibilités et du déficit

Années	Besoin (m3/j)	disponibilités (m3/j)	Déficit (m3/j)	Débit de consommation L/h /j
1993	32724	21000	-11724	154
1998	39986	21000	-18986	126
2003	40860	21000	-19860	103
2013	72954	21000	-51954	69



**Figure 6 :** Evolution des disponibilités, besoins et déficit et de la population

### SCHÉMA D'ÉVALUATION ET DE GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Il synthétise l'état de connaissances des ressources et leur gestion au niveau de la ville de Bechar (figure 7). Il se résume en :

- Les ressources de la ville de Bechar, en l'occurrence le barrage Djorf Torba et l'aquifère de Ouakda, ne peuvent plus satisfaire l'AEP. L'aquifère de Mougheul, caractérisé par un débit de 73 l/s, représente une perspective en réalisation pour remédier au problème du déficit.
- La gestion est assurée par des structures étatiques à savoir : le barrage par l'ANBT, l'AEP par l'algérienne des eaux, l'assainissement par l'office national d'assainissement. Les eaux usées sont rejetées dans l'oued Bechar (428,67 l/s). (DHWB, 2002).

Evaluation et gestion des ressources hydriques dans une zone aride.  
Cas de la ville de Bechar (Sud Ouest algérien)

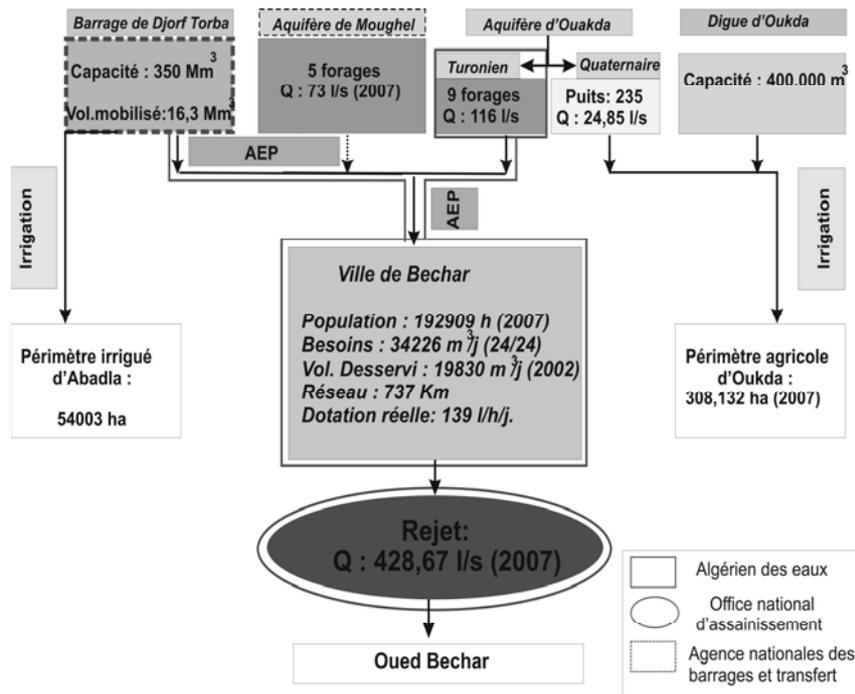
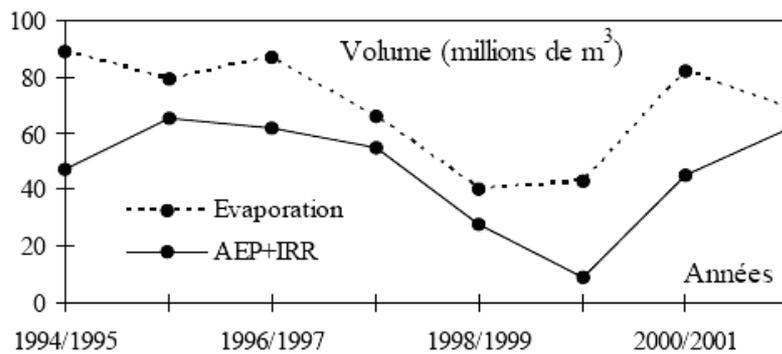


Figure 7 : Ressources et gestion des eaux de la ville de Bechar (2007)

## LES CONTRAINTES

1. Les ressources en eau souterraines et superficielles demeurent limitées.
2. Le climat : été chaud prolongé sur cinq mois (du 01 juin au 30 octobre) avec une température qui atteint 43°C, et un hiver froid et sec. Cette situation engendre une augmentation de la consommation en eau.
3. Nous remarquons sur la figure 8 que les valeurs de l'évaporation du barrage de Djorf El Torba (Bechar) sont les plus élevées de l'Algérie, compte tenu de la situation géographique de l'ouvrage (zone saharienne). Le volume évaporé dépasse même la quantité d'eau destinée à l'AEP et à l'irrigation durant la période 1992- 2002, (Remini, 2005).



**Figure 8 :** Evolution de l'évaporation dans le barrage Djorf Torba. (Remini, 2005).

4. La population : elle augmentation de manière continue (taux d'accroissement 3%), (Ettabet, 2005), en raison principalement de l'exode rural.
5. Absence d'inventaires exacts du potentiel hydrique des aquifères exploités.
6. Tendance au stockage par les consommateurs.
7. Le retard dans le règlement des redevances de la consommation par les clients (pour améliorer le service et les infrastructures).
8. Les fuites et les pertes au niveau du réseau, estimées à 10% des volumes desservis, (URBAT, 1999) (vieillesse du réseau, mauvaise connexion).
9. La variabilité du volume mobilisé au niveau du Barrage Djorf Torba est fonction de plusieurs facteurs, principalement la quantité de précipitation qui varie dans le temps.
10. Etat du Barrage et problème d'envasement, estimé à 30% en 2007, (www.anb-dz.com).
11. Mutation dans l'utilisation d'eau par la population (développement de l'urbanisme : taches de manages).
12. Protection quantitative (surexploitation) et qualitatives (pollution) des ressources.
13. La progression de la superficie agricole de la plaine de Ouakda qui passe de 200 Ha en 1991 à 281 Ha en 2007 (Benkadour, 2007).  
Cette extension alourdit les besoins en eau d'irrigation (augmentation de l'exploitation des eaux souterraines).

## **CONSEQUENCES**

1. Augmentation continue des besoins en eau à satisfaire avec des ressources constantes (tendance à la surexploitation).
2. Diminution de la dotation réelle.
3. Diminution du temps de distribution.
4. Diminution du taux de satisfaction.
5. Tendance au stockage par les consommateurs. A titre indicatif, en 1993 le nombre de logements était de 4858 à raison de 6 personnes par logement (DHWB, 2002). Chaque logement est doté d'une citerne de 1000 litres en moyenne, ce qui engendre un volume stocké de 4858000 litres.
6. L'abandon des eaux usées sans traitement constitue un gaspillage et une menace directe des eaux souterraines de l'inféoflux et du Carbonifère.

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

La gestion actuelle de l'eau potable pour la ville de Bechar a été exposée en se basant sur les différents documents établis par la DHWB, AE, ANRH, URBAT, IDROTECNECO...etc.

Les problèmes rencontrés tout au long de ce travail étaient de caractères humain et technique d'un côté et la non exhaustivité des données qui n'a pas permis d'atteindre certains objectifs. On constate par exemple que pour la même année, les données, au niveau des différentes structures de gestion de l'eau, sont différentes.

*Cheelan* en 1954 (in *IDROTECNECO*, 1979), après un essai de pompage au niveau du champ captant de Ouakda avec un débit de 65,5 l/s, a constaté que la nappe s'est rabattue de plus de 4m, et il a conclu que le débit d'exploitation ne devrait en aucun cas dépasser les 52,08 l/s en été. Cette hypothèse a été confirmée par *Guerre* (1979) et par l'étude hydrogéologique réalisée par IDROTECNECO qui affirme que les prélèvements ne devraient pas dépasser un débit de 70 l/s en moyenne. Mais cette consigne n'est pas respectée, car le débit atteint les 115l/s en certaines périodes de l'année (*Lefkir*, 2005).

La gestion durable de l'eau peut être atteinte, d'une part, à l'aide d'une intégration horizontale entre l'offre et les besoins et d'une intégration verticale entre les différentes échelles de gestion et à l'aide d'une prise de conscience des différents acteurs d'autre part (gestion patrimoniale). Ainsi, une meilleure connaissance des ressources exploitées est essentielle. Les nombreux paramètres qu'il faut prendre en considération nécessitent la collecte d'énormes volumes de données qui seront échangées à de multiples reprises, en raison des différents niveaux (Structures) impliqués localement dans la gestion de l'eau. Des outils spécifiques répondant à ces besoins sont nécessaires. L'utilisation des

SIG est devenue une nécessité absolue, car ils permettent entre autres de digitaliser, stocker, analyser, gérer, représenter, rechercher et modéliser des données. Leurs fonctionnalités peuvent être adaptées en fonction des besoins des utilisateurs et contribuent à améliorer l'état des connaissances afin de favoriser la prise de bonnes décisions.

La dotation journalière réelle assurée en été est de 90 l/h/j et en hiver elle est de 120 à 139 l/h/j, avec un rythme d'un jour sur deux à trois et une durée moyenne de 6 heures/ jour (DHWB, 2002). L'apport du champ captant de Mougheul (75 l/s) (DHWB, 2004) devrait soulager l'exploitation des eaux de Ouakda, à condition de respecter l'équilibre du bilan hydrique de la nappe.

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Comme bilan, nous pouvons dire que l'alimentation en eau potable de la ville de Bechar a subi plusieurs mutations qui sont fonction principalement de l'équilibre entre les ressources disponibles et les besoins, et secondairement du climat et de la population, face à ce bilan, on se doit d'émettre certaines recommandations et qui sont :

1. Approfondir l'état de connaissances sur les ressources en eau et élaborer un document technique fondamental, permettant d'arriver à une gestion intégrée de ces ressources (SIG).
2. Une étude démographique poussée à l'échelle des zones de consommation pourrait être nécessaire afin de comprendre l'évolution de la consommation en eau et mieux l'anticiper.
3. Donner une priorité à l'organisation et à la concertation entre les différentes structures locales impliquées dans la gestion de l'eau, afin d'aboutir à une véritable gestion patrimoniale et partagée de la ressource en eau.
4. Etablir un programme incluant des mesures pour améliorer la gestion quantitative.
5. Améliorer les équipements de prélèvement, de distribution et leur utilisation.
6. Maintenir l'équilibre entre les prélèvements et leur renouvellement pour toutes les ressources (éviter la surexploitation).
7. Obligation de recycler les eaux usées et les utilisées à des fins d'irrigation (arrosage des espaces verts).
8. Limiter les constructions (l'urbanisme) en zone de périmètre de protection des ressources.
9. Mener des campagnes de sensibilisation pour les structures professionnelles et pour le grand public.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENOUDJAFAR R., TALHI R.N. (2003). Contribution a l'élaboration du périmètre de protection du champ captant de la ville de Bechar, la plaine d'Ouakda, Centre Universitaire de Bechar, 90 p.
- BENKADOUR O., GHEZAL K. (2007). Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe du Turonien de Ouakda–W. Bechar (SW algérien), CU Bechar, 80p.
- CHEHAM O.K. (2002). Etude de l'utilisation des oxydants chimiques en post-oxydation, et leur influence sur la santé public, d'une filière de potabilisation appliquée à une eau souterraines, W de Bechar, CU Bechar, 95p.
- DHWB. (2002). Situation hydraulique de la willaya de Bechar – rapport interne – Bechar, 26p.
- DHWB. (2004). Étude du transfert pour le renforcement de l'AEP de Bechar à partir du champ comptant de Mougheul, rapport interne, 28p.
- DJELLOULI C., KOUIDRI F. (2003). Elaboration de carte thématique des ressources hydriques de la wilaya de Bechar. C U de Bechar. 90p
- ETTABET. (2005). Schéma directeur de l'alimentation en eau potable de la ville de Bechar, 23p.
- GUERRE C., (1979). Alimentation en de la ville de Bechar et Kenadsa, rapport interne EPIDEMIA, 25p.
- IDROTECNECO. (1979). Etude hydrogéologique de la région de Bechar. Rapport interne, DHWB. 170p.
- LEFKIR A., (2005). Elaboration de cartes thématiques sur les ressources hydriques dans une zone saharienne, cas de la willaya de Bechar, Séminaire N2E, Bechar, 08p.
- REMINI B., (2005). L'évaporation des lacs de barrages dans les régions arides et semi arides : exemples algériens. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 04, 81-89.
- URBAT. (1999). Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de la commune de Bechar, 31 p.
- VALIRON F., (1990). Gestion de l'eau, principe, moyen, structure. Presse de l'école Nationale des ponts et chaussées, France, 350p.
- www.anb-dz.com



ISWEE'11

## Wastewater Discharge Impact on Groundwater Quality of Béchar City, Southwestern Algeria: An Anthropogenic Activities Mapping Approach

Kabour abdesselem<sup>a\*</sup>, Heni Azedine<sup>b</sup>, Chebbah Lynda<sup>c</sup>, Sadek Younes<sup>a</sup>

<sup>a</sup>FIMAS Lab, University of Bechar, PB. 417 Bechar 08000, Algeria

<sup>b</sup>Department of Earth Science, University of Annaba, PB 12, Annaba 23000, Algeria

<sup>c</sup> Department of Hydraulic, University of Bechar, PB 417, Bechar 08000, Algeria

---

### Abstract

Southwestern Algeria, where Béchar city is located, crossed along 16 Km by the Béchar wadi from north to south. Very large wastewater outflow is discharging in this river, which has negative impact on groundwater quality. In spite of water supply network coverage estimated by 96% (2007), are solicited for very sensitive daily tasks (irrigation, Turk bath, public bath, washing...). Assessing human activity impact is an approach that is selected in this work to determine the impact of wastewater on groundwater quality. Some elements are selected like  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , Eh, and  $\text{O}_2$  as pollution indicators and potential tracers of wastewater.

© 2012 Published by Elsevier Ltd. Selection and/or peer-review under responsibility of ISWEE'11

*Keywords:* Bechar ; hydrochemistry; onthropogenic activities; Groundwater; Wastewater.

---

### 1. Introduction

The Study area is located in the south west of Algeria (Fig. 1), with arid climate and irregular precipitation, with an average of 71.48 mm/year (data collected from 1988-2008). The lowest temperature recorded in January is 4 °C and the highest in July of 40 °C, with an average of 27.16 °C. Evaporation (mean of 305.29 mm) and evapotranspiration exceeds the precipitation, therefore the temperature is warm during the Whole year. [1]

Bechar city suffers a high water demand, proportional to the population increase; growth rate of 3.11%, up to 161 902 of population in 2007 [1].

---

\* Corresponding author.

E-mail address: [kabour\\_abs@yahoo.fr](mailto:kabour_abs@yahoo.fr)

Béchar city occupy an area of 160 square kilometers approximately, supplied by a drinking water network (96%), endowment of 139 liter/person/ day, and a satisfaction rate of 71% [2]. However, groundwater plays an important role in daily human activities (irrigation, Turkish bath, washing) [3].

The river of Béchar, has from over 16 Km long north to south of infero-flux, crossing the outcrop of the old Quaternary alluvial formations (variable thickness between 5 and 10 m), Eocene limestone called Barga II (more than 60 m of thickness), The Turonian limestone called Barga I (25 to 45 m thick), inter-bedded limestone, sandstone of Carboniferous Westphalian and finally a lateral contact with the alluvium of Namurian [3,4,5, 6, 7, 8, 9].

## 2. Results and discussion

The human activity is the main source of groundwater contamination in Bechar city. Water samples were collected in April 2008, with pervasion through the whole study area, of 14 logged water and 6 surface water samples (fig 1). To determine the wastewater impact [10, 11, 12, 13, 14], we used the concentrations of the following elements:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , Eh and  $\text{O}_2$ .

Polyethylene bottles, with a volume of 1.5 l, are taken and destined to physicochemical analyses; the sampling bottles were transported to the laboratory in a low temperature icebox ( $4^\circ\text{C}$ ). The physical parameters (Eh,  $\text{O}_2$ ) have been measured in situ by means of multi-parameter (Consort 861).

At the laboratory, the nitrates dosing method used [15] is the potentiometric method (HI 121) using a specific electrode.

Results of these analysis shown in table 1 indicate varying concentrations,  $\text{NO}_2^-$  varies from 1-8 mg / l with an average of 3.7 mg / l,  $\text{NO}_3^-$  oscillates between 9.7 and 99.23 mg / l, its average is 45.44 mg / l and  $\text{NH}_4^+$  has a minimum of 0.2 mg / l and maximum of 4.4 mg / l, an average of 0.68 mg / l. Eh values range from -80 to -25 Mv, around an average of -53.57 Mv and dissolved oxygen  $\text{O}_2$  is 4.14 to 6.89 mg / l with an average value of 5.3 mg / l.

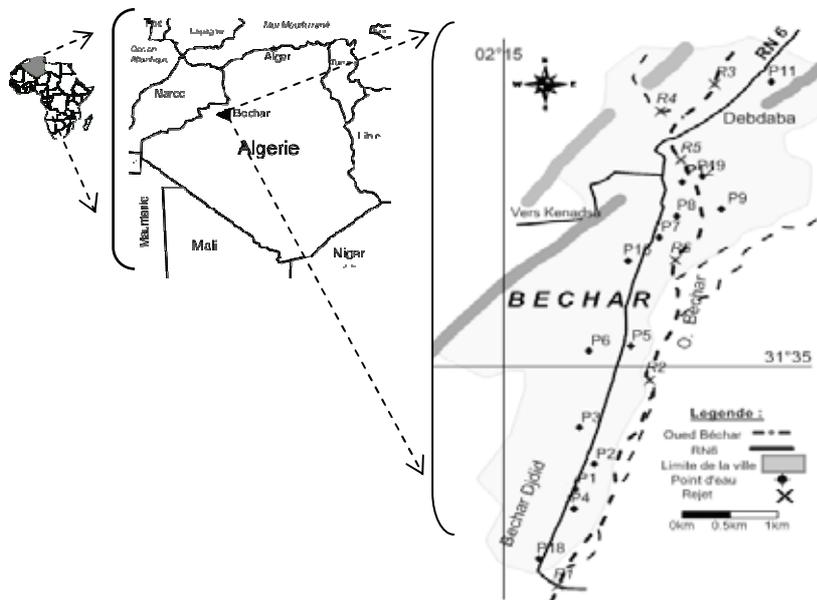


Fig. 1 : Location map of Bechar town (SW Algeria), and sampling network.

Firstly, to prove the detected contamination [2] and on the other hand to assess the variability of the contribution of wastewater hydrogeological conditions [16], the calculation of the parameter named anthropogenic activity is obtained by using the following formula [17]:

Anthropogenic activity (CA) (%) =  $\{([X]_{\text{effluent}} - [X]_{\text{uptake}}) \times 100\} / [X]_{\text{effluent}}$

Where:  $[X]_{\text{effluent}}$  - X element concentration in the effluent (discharge).  
 $[X]_{\text{uptake}}$  - X element concentration in the uptake point (closest well).

The results are shown in Table 2, where CA (Anthropogenic activity) of nitrate is  $-121.07 \pm 173.88\%$ , when that of nitrite is  $52.94 \pm 49.06\%$  and  $68.14 \pm 51.41\%$  for  $\text{NH}_4^+$  ion. The AC value of Eh is  $-57.24 \pm 90.03\%$ , and finally that of the dissolved oxygen is  $-58.24 \pm 92.70\%$ .

The quantities of absolute CA value exceed 50% for all considered ions, which confirm that the wastewater in the river has a significant contribution in the chemical composition of groundwater of Béchar city.

The interpretation of the spatial distribution maps for the anthropogenic activity values can establish the following findings:

On the map (Fig. 2) of the CA of nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) shows that 42.9% of the wells have a CA between -62 and -65%, divided from north and south of the city, the rest is divided into three almost equal parts, relatively low value of the CA, is located in the center.

On the map (Fig. 3) of the CA of nitrites, where the majority, 64.3% of the wells are belong to the 56 to 95% of the CA, which are distributed over almost the entire area of the city.

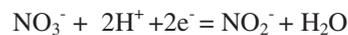
On the map (Fig. 4) of the CA of the  $\text{NH}_4^+$ , 85.7% of the wells are in the range 56.93 to 97.51%, that CA has spatial distribution of all the groundwater.

On the map (Fig. 5), CA value of the dissolved  $\text{O}_2$ , we see that the wells that are in the range of -54 to 18% exceeding the 78% is occupying almost the entire area.

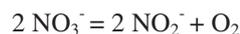
CA value for the parameter Eh shown in the map (Fig. 6), can describe, four interval values of CA, which are distributed irregularly from north to south, such as: 35% from -4 to -67%, 28% from 76 to -4%, 21% between -76 and -148%, and finally 14% of values are between -148 and -220% of the CA.

According to these results, some interpretations are needed:

- If we classify the different ions by the average value of CA, we will obtain, in descending order;  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , Eh and finally  $\text{O}_2$ . If we focus on nitrogen form when the solution action, and excluding of  $\text{N}_2$ , the most common species are  $\text{NO}_2^-$ , nitrite and  $\text{NH}_4^+$  in ammonium form [18].



This will be more easily written:



Moreover, nitrite as ammonium form  $\text{NH}_4^+$  are deducted from



- The ammonium ion ( $\text{NH}_4^+$ ) is the most reduced form from nitrogen in fresh water. It has the property to be adsorbed on the mineral surface. The source of ammonia nitrogen are varied, either meteoric water (0.1 to 2 mg / l), the nitrates reduction by the autotrophic bacteria, metal components, or degradation of organic matter [19, 20].
- Although the potential redox (Eh) is relatively low, reflecting a reducing environment and a partial presence of  $\text{NH}_4^+$  [19].

Faced with an aquifer whose content of  $\text{NO}_3^-$  decreases in time or space, several hypotheses can be formulated, nitrate assimilation by plants in the root zone, in case of shallow groundwater, the nitrate consumption will be by denitrification.

Negative values of CA indicates the presence of nitrate nitrification, it is probably the matter that can be dismissed as ammonia nitrogen ( $\text{NH}_4^+$ ), which can be oxidize into  $\text{NO}_3^-$  once in the aqueous environment. Also, nitrate content observed in wells ( $\text{NO}_3^- 10 \text{ mg/ l}$ ) can nonetheless considers that the wastewater in the river impact nitrate contribution in groundwater.

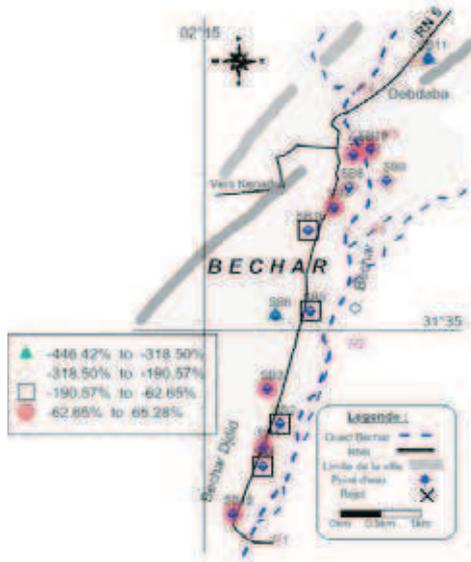


Fig.2. Spatial distribution of CA for  $\text{NO}_3^-$  (%)

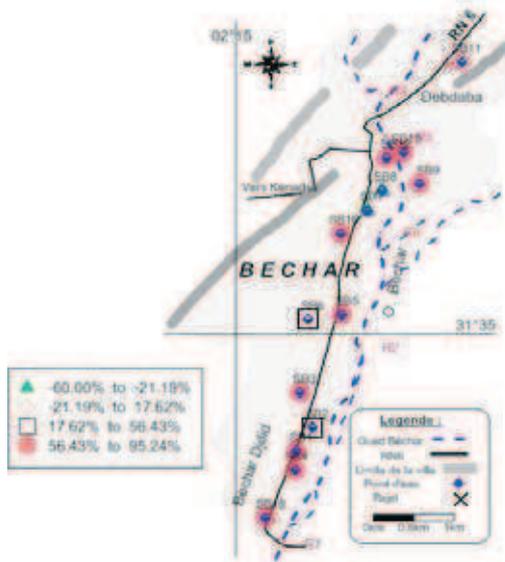


Fig.3. Spatial distribution of CA for  $\text{NO}_2^-$  (%)

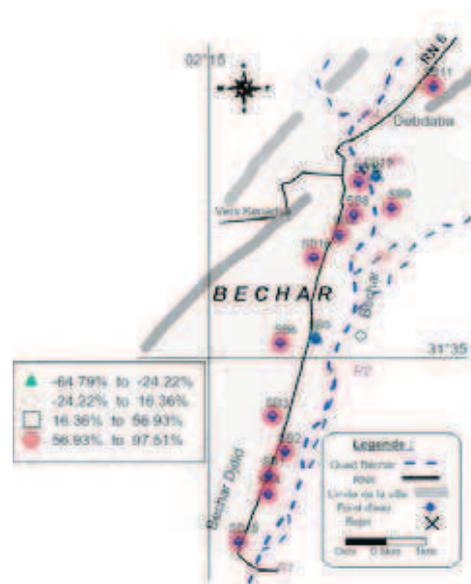


Fig.4. Spatial distribution of CA for  $\text{NH}_4^+$  (%)

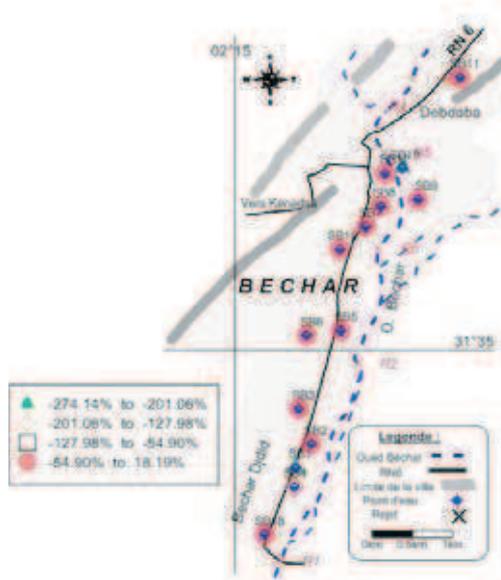
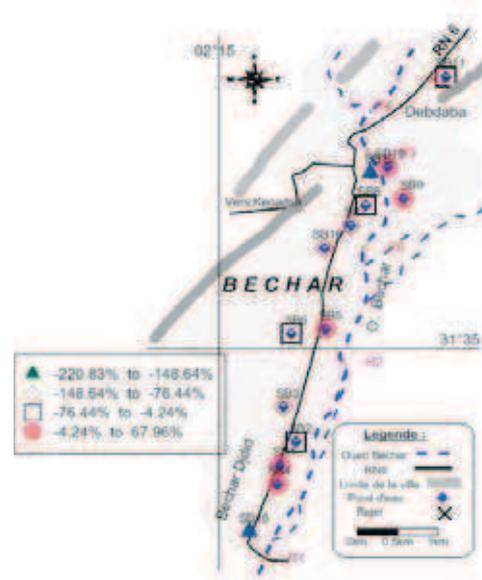
Fig.5. Spatial distribution of CA for O<sub>2</sub> (%)

Fig.6. Spatial distribution of CA for Eh (%)

### 3. Conclusion

Our objective in this work was to determine the anthropogenic activity for different selected elements ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , Eh and O<sub>2</sub>) exiting in the chemical composition of groundwater of Bechar city, as well as their spatial distribution, which reflects irregular and widespread contamination highlighting a variable pollution with the proximity of both solid waste and wastewater in Bechar river, accenting the hydrogeological conditions which is too favourable for the infero-flux aquifer formation, allows infiltration of these elements to groundwater.

The negative effect of urban waste on this aquifer, revealed, and it is important to stop this pollution by adopting the necessary technical solutions. The preservation of this resource requires a comprehensive redevelopment plan based on the location of an adequate wastewater disposal system to reach the wastewater for gathering all the waste into a channel that can deliver downstream, to a purification station that will impact very positively to the environment.

### References

- [1] Kabour A, Chebbah L, Hani A, Boudoukha A, Meguellati S. Identification hydrogéologique de la région de Bechar-Kenadsa (SW Algérie). *ISN « les ressources hydriques Sahariennes »*. 11-12 mai 2009. CU EL Oued: Algérie.
- [2] [www.mre.gov.dz/eau/aep-mre1-.htm](http://www.mre.gov.dz/eau/aep-mre1-.htm).
- [3] Kabour A, Hani A, Chebbah L. Impact des rejets urbains sur les eaux souterraines, dans une région aride (cas de la ville de Bechar, SW Algérie). *GIGE*, 13-14 mai 2009. Facultés des sciences. Fès: Maroc.
- [4] Deleau P. *Les bassins Houillers du Sud Oranais dans la région de Colomb-Bechar-Abadla*. 2 série, strat. N°20, *Bulletin de service de la carte géologique de l'Algérie*. France; 1951.
- [5] Kabour A, Lefkir A, Chebbah L. Cartographie des ressources hydriques de la willaya de Bechar (SW Algérie), approche par SIG. *Journée de l'eau*, 05 juin 2008. Univ. Bechar: Algérie; 2008.
- [6] Roche MA. *Hydrogéologie de la haute Saoura*. CNRS: France; 1973.
- [7] Guerre C. *Alimentation en eau potable de Bechar et de Kenadsa*. DEMRH; 1974.
- [8] Idrotecneco. *Etude hydrogéologique de la région de Bechar*. rapport interne DHW. Bechar: Algerie; 1979.
- [9] Schoeller H. *Hydrogéologie des régions arides, progrès récents*. Unesco: France; 1959.

- [10] Nassali H, Ben Bouih H, Srhiri A. Effect of wastewater on the degradation of water quality in the case of Fouarat lake- in Morocco *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management*. Tunis EPCOWM 2002, p.3-14
- [11] Comte JP. *Suivie de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison de pluie 2005, résultats et campagne de basse eau 2004, et la campagne saison de pluie 2004*, rapport final, BRGM /RP-547176-FR ; 2006.
- [12] Navarro A, Carbonel M, Evaluation of groundwater contamination beneath an urban environment : the Besos river basin (Barcelona, Spain). *Journal of environment management* 2007;**85**:259-269.
- [13] Petelet Giraud E. *Suivi de la qualité des eaux souterraines de la Martinique*. BRGM: France; 2005.
- [14] Tandia AA, Diop ES, Gaye CB. Pollution par les nitrates des nappes phréatiques sous environnement semi-urbain non assaini : Exemple de la nappe de Yeumbeul, Sénégal. *Journal of African earth sciences* 1999; Vol 29 N 4:809-822.
- [15] Rodier J. *L'analyse de l'eau*. 8rd ed. Paris: Dunod ; 1996.
- [16] Derwich E, Beziane Z, Benaabidate L, Belghyti D. Évaluation de la qualité des eaux de surface des oueds fes et sebou utilisées en agriculture maraichère au Maroc. *Larhyss Journal* Juin 2008; ISSN 1112-3680; n° 07:59-77.
- [17] Rabiet M. *Contamination de la ressource en eau par les eaux usées dans un bassin versant méditerranéen, apport des éléments majeurs, traces et terres rares*. Univ. Montpellier II. Th. Doc; 2006.
- [18] [www.terre-et-eau.univ-avignon.fr/redox\\_notions.htm](http://www.terre-et-eau.univ-avignon.fr/redox_notions.htm).
- [19] BRGM. *Guide technique , qualité des eaux souterraines. Méthodes de caractérisation des états de références des aquifères français*. France; 2006.
- [20] Katerjia N, Hoflackb P. Les pressions anthropiques et leurs impacts sur les situations qualitatives et quantitatives de l'eau dans le Bassin versant de la Seine. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA* février 2004; n°51:75-87.

## **WASTEWATER URBAN REJECTIONS IMPACT ON GROUNDWATER QUALITY IN BÉCHAR CITY (ALGERIAN SW), IN URBAN ENVIRONMENT UNDER AN ARID CLIMATE**

*Abdesselem KABOUR<sup>1</sup>, Azedine HANI<sup>2</sup>, Lynda CHEBBAH<sup>3</sup>*

### **ABSTRACT**

This work treats the problem of the urban wastewater (sewage) influence identification on the groundwater chemistry, in particular the quality parameter in an urban environment, under an arid climate in Béchar city, located at the Algerian Western south. The ability of this groundwater for consumption is treated by comparing its chemical composition to Algerian standards, according to which half of the wells is not potable, whereas those of the World Health Organization (WHO) qualify the majority of samples by drinkable ones. The irrigation suitability is also examined, where the distribution of the samples is variable among different classes, where the projection of some points is except Wilcox diagram (very bad quality). The determination of the chemical facies allows the different groups identification and their changes over time, and factors influencing this mineralogical mobility. The main identified facies are chlorinated calcium, and chlorinated sodium. Microbiological analysis (total germs, Total Coliforms, Streptococcus, Clostridium Sulfite-reducer) including research organisms indicator of sewage pollution (fecal coliforms) is also carried out, confirmed and interpreted by microbial load sizeable presence, the largest is located south of the city. Studying the spatiotemporal variation of the chemical and microbiological composition of groundwater in Béchar city identifies the intensity of this impact that influx directly on its quality.

*Key-words:* *Quality, groundwater, hydrochemistry, microbiology, urban wastewater, Béchar.*

### **1. INTRODUCTION**

The chemical composition of water plays an important role in determining its quality, so the possibility of its use for drinking and other uses (irrigation, industry ... etc.). In Béchar city, the groundwater chemistry is influenced by the geological formations dissolution and wadi water (water discharges or precipitation) (Kabour et al, 2011). And, because of the multiple uses of these waters (irrigation, Turkish bath, etc...), this study was conducted to check this groundwater chemistry current status, its evolution over time and space.

Sampling is conducted to identify Béchar city groundwater quality, this characterization is performed by a graphical treatment of physical, chemical and microbiological parameters (Subbarao, 2002; Debieche, 2002; Mondal, 2005; Petelet-

---

<sup>1</sup> *ENERGARID Laboratory, University of Béchar, Algeria, kabour\_abs@yahoo.fr*

<sup>2</sup> *REDD Laboratory, University of Annaba, Algeria, haniazzedine@yahoo.fr*

<sup>3</sup> *ENERGARID Laboratory, University of Béchar, Algeria, cheblyn@yahoo.fr*

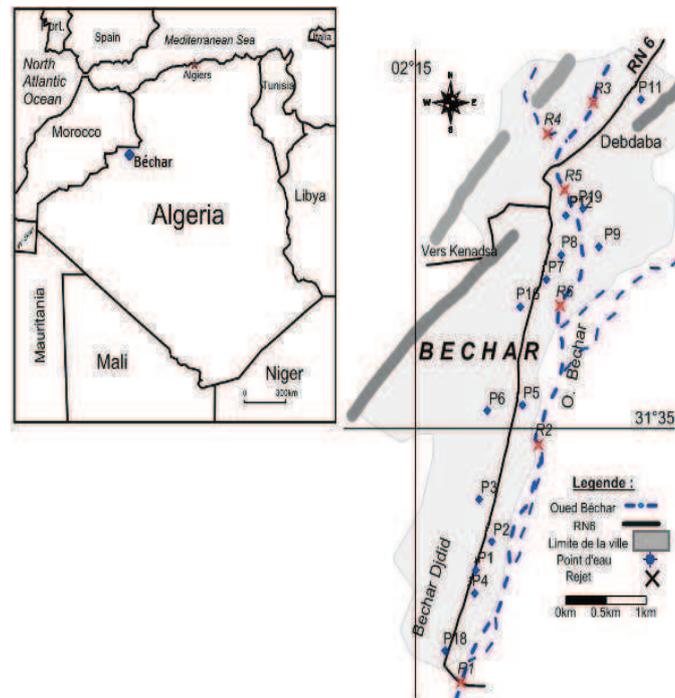
Guiraud, 2005; BRGM, 2006; Comte, 2006; Srivastava & Ramanathan, 2008; Fehdi et al, 2009).

The city of Béchar is located in the south west Algeria (**Fig. 1**), in an arid climate with Saharan tendency, where precipitation is irregular during the year, with an average of 71.48 mm for the 1988-2008 series. The lowest temperature is recorded in January (4 °C) and the highest in July (40 °C), with an average of 27.16 °C. Evaporation (average 305.29 mm) and evapotranspiration exceeds precipitation, consequently all the year is dry (Kabour et al, 2011).

The Béchar wadi through the town of Béchar along its entire length, where untreated wastewater is discharged into several discharge points, waste flow of the city is estimated at 248, 28 l/s (Kabour et al, 2011), these wastewater in running out in the bed of the wadi through several aquifers, the hydrogeological conditions make a very favorable contact, sometimes, direct, facilitating chemical elements reciprocal transfers, the water levels (depth) measured vary from 3 m (P18) to 6 m (P8) with an average of 5 m, which promotes rapid infiltration of Béchar wadi water (Kabour et al, 2012).

The waters of these layers are stretched, despite the low rate for daily needs; this situation requires an objective study to reach a diagnosis impact of these water discharges on the environment, including the pollution degree of the groundwater quality in Béchar city.

Sampling was carried out during April 2008 and 2010, 18 wells and six discharge points were selected (**Fig. 1**).



**Fig.1** Location map of Béchar city (SW Algeria) and sampling network.

## 2. RESULTS AND INTERPRETATION

### 2.1. Potability ability (compared to standards Algerian (ADE) and WHO)

Comparison of physicochemical elements with standards usual (6362-1995) of the ADE (Algerian Des Eaux : Algerian Of Water) and the Official Journal Algerian republic (JORA) directives No. 35 and 51, on the water quality drinks (www.joradp.dz), as well as those of the World Health Organization (Elmore, Miller & Parker, 2005; WHO, 2006) shows that (Fig. 2):

for the parameters EC (electrical conductivity),  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , respectively, 63%, 64%, 100%, 56%, 64%, 100%, 35% of the wells tested exceed the ADE potability standard, also for the ions  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , were respectively, 77%, 88%, 6%, 71%, 75%, 35%, 35%, wells with values above the WHO drinking water standards.

The total percentage (Fig. 2) wells with non- potable water are 50.45% compared to the standards of ADE, and 40.68% compared to those of WHO.

Determining the potability of water depends not only on global parameters compared to different standards, but also on the comparison of individual elements of the water wells sampled chemical composition, where it is noted that this composition presents at least one parameter which exceeds either one or the other standard of potability, which allows us to deduce that almost all wells are non drinkable, this is confirmed by microbiological analysis, where the simple presence of germs gives these waters a undrinkable qualifier.

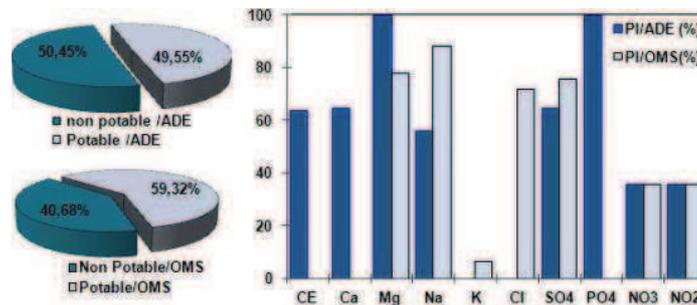


Fig. 2 Percentage of the non drinkable wells compared to the Algerian standards (ADE) and WHO (PI: infected well).

### 2.2. Irrigation ability (Wilcox diagram)

Wilcox diagram is used to determine the water suitability for irrigation, according to the percentage of sodium (meq / L) on the abscissa and the electrical conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$  at  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ) axis. The  $\% \text{Na}^+$  is defined by the relation:

$$\% \text{Na}^+ = \frac{[\text{Na}^+ + \text{K}^+]}{[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+]} \times 100 \quad (\text{All ions are expressed in meq/l.})$$

The application of this method on the Béchar city groundwater (Fig. 3 and Table 1), shows that: 2008 samples are spread over the classes: good (28%), poor (14%), unsuitable (14%) and more than 42% are except diagram; whereas, for 2010 samples, the distribution is: 23% in the fair class, 23% classified poor, and over 52% are except diagram.

Table 1. Wilcox diagram Results

	2008	2010	
Excellent	-	-	
Good	28,57 %	-	
Fair	-	23,53 %	
Poor	14,29 %	23,53 %	
Unsuitable	14,29 %	-	
Except diagram	42,86 %	52,94 %	

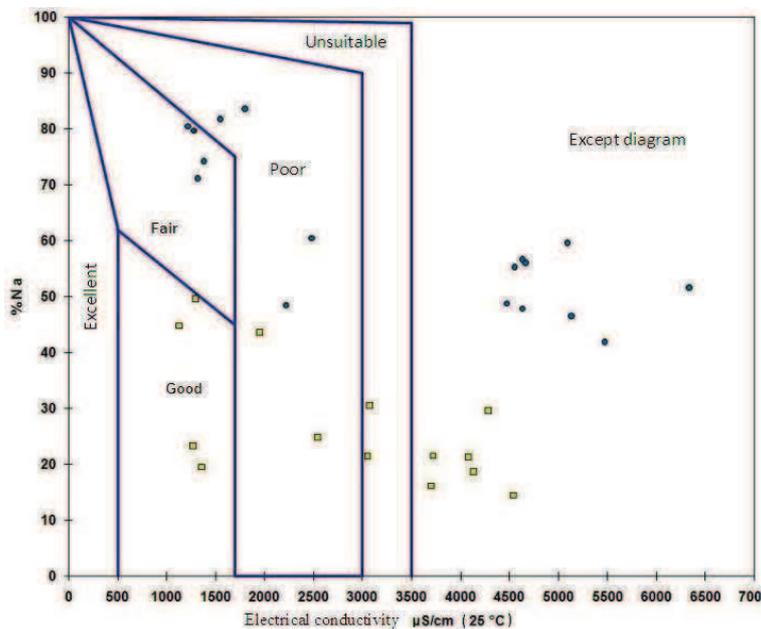


Fig. 3 Wilcox Diagram of Béchar city groundwater (2008, 2010).

### 2.3. Chemical facies

Classification based on the ionic formulas consists in arranging from left to right in descending order quantities of chemical elements in reaction starting with the anions then the cations (Schoeller, 1959; Al shaibani, 2008).

The percentage for each chemical facies is as shows in **Figure 4**, where, for 2008 samples, chlorinated calcium water represents 50% of the total analyzed samples, 22% are sulfated calcium, 14% are chlorinated magnesiumian, and 14% is calcium bicarbonate water. And 2010 samples, there are significant variations: the chlorinated sodium facies dominates with 50%, after sodium sulphate and sodium bicarbonate with 22% , and ending the calcium chloride facies with only 6%.

We can say that the dominant chemical facies in Béchar groundwater are chlorinated calcium (2008) and the chlorinated sodium (2010).

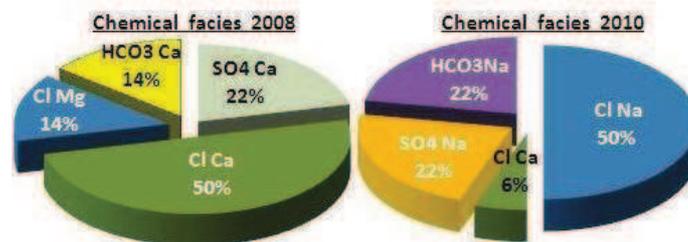


Fig. 4 Chemical Facies of Béchar city groundwater (2008, 2010).

#### 2.4. Microbiological analyses

The microbiological analysis of water used for consumption allows assessing the risk due to pathogens micro-organisms; these organisms have as a normal habitat the intestines of humans or certain warm-blooded animals (Elmore, Miller & Parker, 2005; Rabiet, 2006; Alhou, 2007; Lamrani, Oufdou & Mezrioui, 2008).

Biologically, wastewater contains various microorganisms, which, in an aquifer contributes significantly changed their biological properties and damage the water medical state (Belousova & Proskuriva, 2008). Among them, there are many pathogenic organisms, usually from human origin. As their identification is complex and tedious, coliforms and fecal *Streptococci* organisms, more and therefore easier to assess, are used as indicators of pathogens presence and thus wastewater presence (Rabiet, 2006). High concentrations can cause health-risk (Bontoux, 1993; Bonnard, 2001; Venugopal et al, 2009).

Groundwater microbiological quality assessment Béchar city was performed on 18 water points distributed on both sides of the wadi (Fig. 1), sampling in the month of April 2010. The results are shown on graphs, whose x-axis is oriented north - south from the city to better visualizing the spatial distribution of different parameters.

Groundwater microbiological analysis in Béchar city show significant microbial load and reveal that there are signs of contamination by urban waste water (Wadi) in the majority of samples where the number of germs exceeds the standard.

Total germs are flora including all natural germs or contamination ones which lives in the presence of oxygen (Rodier, 2005; Rabiet, 2006; Alhou, 2007).

The results show that the rate of bacteria (colony forming units (Cfu/ml) at 20 °C and 37 °C) is very high (Fig. 5). It exceeds the Algerian standard (NA 6360-1992), the concentrations are limited between 8 to 1110 Cfu/ml, and from 28.67 to 1308 Cfu/ml (at 20 °C), with an average of 292.22 Cfu/ml (at 37 °C), and 382.09 Cfu/ml (at 20 °C).

The spatial distribution (Fig. 5) shows relatively low values in the north and center (< 200 Cfu/ml) (P22-20), except the P12, and strong values (> 500 Cfu/ml) in South from P3 to P18.

Total Coliforms (TC), as qualitative indicators, provides information on the character of water potability and the environmental condition of the water resource in question (Belousova & Proskuriva, 2008; Shashikanth et al, 2008).

The results (Fig. 6) show that the majority of samples, by the mere presence of CT are not drinking. Values are between 0 and 210 MPN/100 ml (Most Probable Number), while the average is 30.38 MPN/100 ml, high concentrations are located south of the city (P3, P4, P18) only P9 and P11 have a total absence of coliforms.



Fig. 5 Total germs in Béchar city groundwater (2010).

The detection and enumeration of fecal coliforms (FC) is a proposed review due to statistical concordance between their presence and an almost certain recent fecal contamination existence (Gaujous, 1995; Rodier, 1996; Rodier, 2005) and provides water, which contains them the non-potability character.

Fecal coliforms or *Escherichia coli* is a bacterial species belonging to the total coliforms group. This bacterium is always found in the feces of warm-blooded animals, but the difference of total coliforms, it is not present in a natural way in the environment (Jestin, 2005; Alhou, 2007).

Figure 6 presents the results of analyzes, where values are limited between 0 and 210 MPN/100 ml, and an average of 33.83 MPN/100 ml, the highest values are located south of the city (P3, P4); the wells P11 and P9 present a total absence of fecal coliforms.

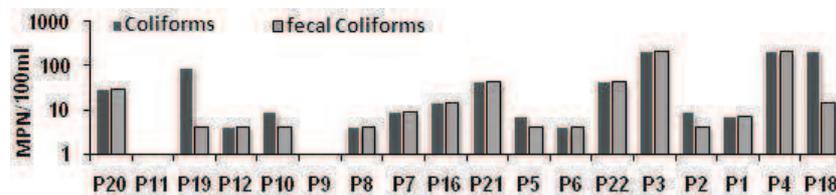


Fig. 6 Fecal coliforms and coliforms in Béchar city groundwater (2010).

Streptococci are serological group D streptococci of Lance Field, facultative anaerobic, associated with fecal coliforms, they are good indicators of recent pollution, they are indicative of fecal contamination rather resistant, even in saline environments (Gaujous, 1995). They can also multiply in environments with pH up to 9.6 and can therefore be used as indicators of pathogenic organisms that are resistant to high pH (WHO, 1979).

In all analyzed samples (Fig. 7) the number of germ is between 2 and 240 streptococci per 100 ml, with an average of 80.30 MPN/100 ml, this represents a majority samples contamination, the highest concentrations are located south of the city (P5, P6, P3, P18); at North only P20 has a value of 190 MPN/100ml, the others present low values (P19, P12, P10, P8, P7, P16, P21), and Null (P11, P9).

The water potability, in this case, is simply function of these germs existence confirmation in the water.

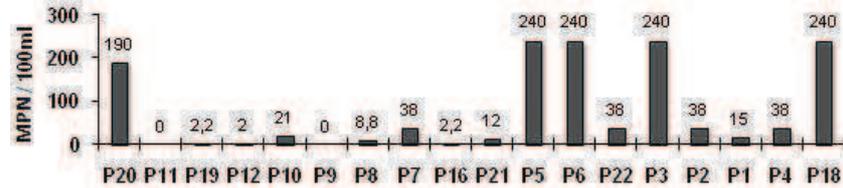


Fig. 7 *Streptococci* in Béchar city groundwater (2010).

Clostridium Sulfite-reducers (CSR) are forms of resistance anaerobic organisms. They are normally found in feces but in smaller quantities than *Escherichia Coli*, Clostridium Sulfite-reducing presence is an indicator of an old contamination, they come in two forms vegetative and spore (Gaujous,1995; Jestin, 2005; Alhou, 2007).

In the search of Clostridium sulfite-reducers, with a number of tubes giving a positive reaction on 4 tests (Fig. 8), the organism absence in some samples (P11, 19, P12, P9, P16, P5, P2, P1) is noted, while others present the vegetative form (P20, P10, P8, P7, P21, P6, P22, P4), only P18 contains both spore and vegetative forms, probably due to its situation at the extreme south of the city and its direct contact with water rejections.

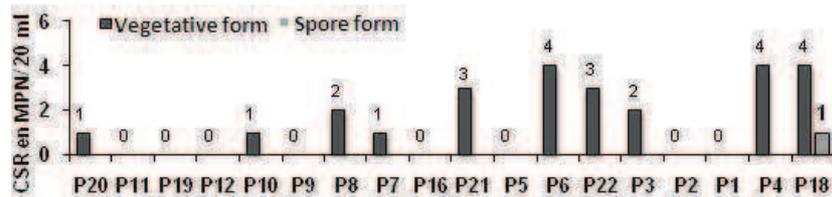


Fig. 8 ClostridiumSulfiteReducer (CSR) in Béchar city groundwater (2010).

### 3. DISTANCE WELL / REJECTIONS

It was observed that 89% of wells have been contaminated by bacteriological fecal coliforms. The absence of coliforms in other wells does not guarantee that water is free of bacteriological pollution (Tandia, Diop & Gaye, 1999; Belousova & Proskuriva, 2008).

The correlation between fecal coliforms and distances wells / rejections (Fig. 9) shows no clear relationship between proximity to sewage discharges and wells bacteriological pollution, which expresses that the wells bacterial contamination mechanisms seem more complex (Tandia, Diop & Gaye, 1999; Belousova & Proskuriva, 2008).

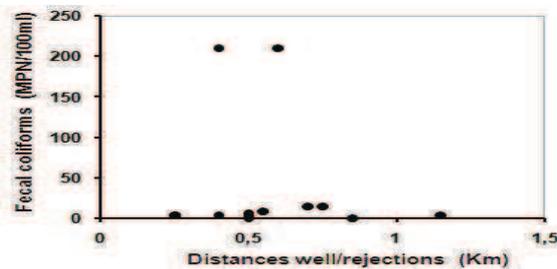


Fig. 9 Correlation between fecal coliforms and the distances well/wastewater discharges.

#### 4. CONCLUSION

The results of the physicochemical and microbiological analysis of groundwater in Béchar city used to make some observations:

Comparison with physicochemical levels ADE standards water drinks quality, as well as the WHO, showed that the total percentage of wells with non-potable water is 50.45% compared to standards ADE, and 40.68% with respect to those of WHO.

To determine groundwater Béchar city suitability for irrigation, diagram Wilcox was applied, and where only 28% (2008) of the point are in the right class and the majority (42 % for 2008, 52% in 2010) is except diagram, so very bad quality.

Microbiological analysis shows that almost all the wells are not drinkable; this is confirmed by the simple germs presence in the water samples, which constitutes a real threat to the environment, including a real risk to the health of this water consumers.

In addition, the correlation between fecal coliforms and distance wells / wastewater discharges, describes a fairly complex contamination mechanism, which opens an opportunity for research.

#### REFERENCES

- Ahoussi, Kouassi, E., Soro, N., Soro, G. B., Lasm, T., Oga, M. S. & Zade S. P. (2008) Groundwater pollution in African Biggest Towns: case of the town of Abidjan (Cote d'Ivoire). *EJSR*, ISSN 1450-216x, 20 (2), 302-316.
- Al Shaibani, A. M. (2008) Hydrogeology and hydrochemistry of a shallow alluvial aquifer, Western Saudi Arabia. *Hydrogeology journal*, 16, 155-165.
- Alhou, B. (2007) *Impact des rejets de la ville de Niamey (Niger) sur la qualité des eaux du fleuve Niger.*, Th. Doc, facultés universitaires Notre-Dame de la paix –Namur, Belgique, 299 p.
- Belousova, A. P. & Proskuriva I. V. (2008) Principal of zoning a territory by the hazard and risks of groundwater pollution. *Water resources*, 35(1), 108-119.
- Bonnard, R. (2001) *Le risque biologique et la méthode d'évaluation du risque.* Rapport final, INERIS, 79 p.
- Bontoux, J. (1993) *Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson.* Liège , Cebedoc Ed., 169 p.
- BRGM. 2006. *Guides techniques, qualité des eaux souterraines. Méthodes de caractérisation des états de références des aquifères français.* France, 237p.
- Comte, J. P. (2006) *Suivie de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison de pluie 2005, résultats et campagne de basse eau 2004, et la campagne saison de pluie 2004,* Rapport final, BRGM /RP-547176-FR, 58 p.
- Debieche, T. H. (2002) *Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle, u. f. r. des sciences et techniques de l'université de Franche-Comté.* Th. Doc., 235 p.
- Elmore, A. C., Miller, G. R. & Parker B. (2005) Water quality in Lemoa, Guatemala. *Environ Geol.*, 48, 901–907.
- Fehdi, C., Boudoukha, A., Rouabhia, A. & Salameha, E. (2009) Caractérisation hydro chimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsot-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud Est Algérien). *Afrique science*, 5 (2), 217-231.

- Gaujous, D. (1995) *La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire*. Paris, Edition Tec & Doc Lavoisier, 220 p.
- Jestin, E. (2005) *La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires*. Agence de l'eau Saint Normandie, Rapport, 34p.
- Journal Officiel De La République Algérienne (JORA), (35), 51, 26, 27.[Online] Available from: <http://www.joradp.dz>.
- Kabour, A., Hani, A., Mekkaoui, A. & Chebbah L. (2011) Évaluation et gestion des ressources hydriques dans une zone aride : cas de la ville de Béchar. (Sud ouest algérien), *Le courrier du savoir. LARHYSS*, (9), 7-19.
- Kabour, A., Hani, A. & Chebbah, L. (2011) Impact des eaux usées domestiques sur l'environnement, et évaluation de l'indice de risque sur la santé publique: Cas de la ville de Béchar, SW Algérie. *European Journal of Scientific Research*, 53 (4), 582-589.
- Kabour, A., Hani, A., Chebbah, L. & Sadek Y. (2012) Wastewater Discharge Impact on Groundwater Quality of Béchar City, Southwestern Algeria: An Anthropogenic Activities Mapping Approach. *Procedia Engineering*, 33, 242 – 247.
- Lamrani, Alaoui H., Oufdou, K. & Mezrioui, N. (2007) Environmental pollutions impacts on the bacteriological and physicochemical quality of suburban and rural groundwater supplies in Marrakesh area (Morocco). *Environ Monit Assess.*, 145, 195-207.
- Mondal, N. C. (2005) Assessment of groundwater pollution due to tannery industries in arid climate around Dindigul, Tamilnadu. *India. Environ. Geol.* 48, 149- 157.
- World Health Organization (WHO: Organisation Mondiale de la Sante (OMS)).2006. *Guidelines for drinking-water quality, incorporating first addendum*. Recommendations. – 3rd ed, 1.
- Petelet-Giraud, E. (2005) *Suivi de la qualité des eaux souterraines de la Martinique*. France, BRGM, 81 p.
- Rabiet, M. (2006) *Contamination de la ressource en eau par les eaux usées dans un bassin versant méditerranéen, apport des éléments majeurs, traces et terres rares*. Th. Doc., Univ. Montpellier II, 307p.
- Rodier, J. (1996) *L'analyse de l'eau*. 8ème édition, Dunod, Paris.
- Rodier J., (2005). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles - eaux résiduaires - eau de mer*, Dunod, Paris.
- Schoeller, H. (1959) *Hydrogéologie des régions arides, progrès récents*. France, Unesco, 127 p.
- Shashikanth, M., Vijaykumar, K., Rajshekhar, M. & Vasanthkumar, B. (2008) Chemistry of groundwater in Gulbarga district, Karnataka, India. *Environ Monit Assess.*, 136 , 347–354.
- Srivastava, S. K. & Ramanathan, A. L. (2008) Geochemical assessment of groundwater quality in vicinity of Bhalswa Landfill, Delhi, India, using graphical and multivariate statistical methods. *Environ. Geol* , 53, 1509-1528.
- Subba Rao, N. (2002) Geochemistry of groundwater in parts of Guntur district, Andhra Pradesh, India. *Environmental geology*, 41, 552 – 562.
- Tandia. A. A., Diop. E. S. & Gaye, C. B. (1999) Pollution par les nitrates des nappes phréatiques sous environnement semi-urbain non assaini : Exemple de la nappe de Yeumbeul, Sénégal. *Journal of African Earth Sciences*, 29 (4), 809-822.
- Venugopal, T., Giritharan, L., Jayaprakash, M. & Periakali, P. (2009) Environmental impact assessment and seasonal variation study of the groundwater in the vicinity river Adyar, Chennai, India. *Environ Monit Assess.*, 149, 81-97.



ERROR: undefined  
OFFENDING COMMAND: eexec

STACK:

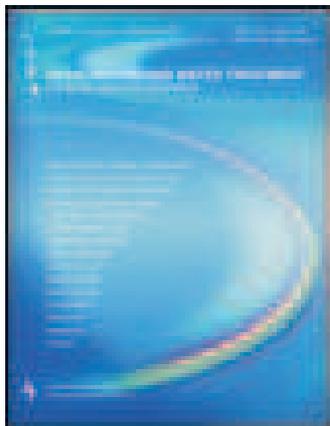
/quit  
-dictionary-  
-mark-

This article was downloaded by: [105.97.118.230]

On: 25 June 2015, At: 06:17

Publisher: Taylor & Francis

Informa Ltd Registered in England and Wales Registered Number: 1072954 Registered office: Mortimer House, 37-41 Mortimer Street, London W1T 3JH, UK



## Desalination and Water Treatment

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.tandfonline.com/loi/tdwt20>

### Groundwater hydrochemistry and effects of anthropogenic pollution in Béchar city (SW Algeria)

Kabour Abdesselem<sup>a</sup>, Hani Azedine<sup>b</sup> & Chebbah Lynda<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Hydraulic Department, Batna University, Batna 05000, Algeria, Tel. +213 561227583

<sup>b</sup> Water Resources and Sustainable Development Laboratory, University Badji Mokhtar, BP 12, Annaba 23000, Algeria

<sup>c</sup> Sciences and Technology Department, Center University of Mila, BP26-43000, Algeria

Published online: 25 Jun 2015.



[Click for updates](#)

**To cite this article:** Kabour Abdesselem, Hani Azedine & Chebbah Lynda (2015): Groundwater hydrochemistry and effects of anthropogenic pollution in Béchar city (SW Algeria), *Desalination and Water Treatment*, DOI: [10.1080/19443994.2015.1060899](https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1060899)

**To link to this article:** <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2015.1060899>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Taylor & Francis makes every effort to ensure the accuracy of all the information (the "Content") contained in the publications on our platform. However, Taylor & Francis, our agents, and our licensors make no representations or warranties whatsoever as to the accuracy, completeness, or suitability for any purpose of the Content. Any opinions and views expressed in this publication are the opinions and views of the authors, and are not the views of or endorsed by Taylor & Francis. The accuracy of the Content should not be relied upon and should be independently verified with primary sources of information. Taylor and Francis shall not be liable for any losses, actions, claims, proceedings, demands, costs, expenses, damages, and other liabilities whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with, in relation to or arising out of the use of the Content.

This article may be used for research, teaching, and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, redistribution, reselling, loan, sub-licensing, systematic supply, or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. Terms & Conditions of access and use can be found at <http://www.tandfonline.com/page/terms-and-conditions>



## Groundwater hydrochemistry and effects of anthropogenic pollution in Béchar city (SW Algeria)

Kabour Abdesselem<sup>a,\*</sup>, Hani Azedine<sup>b</sup>, Chebbah Lynda<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Hydraulic Department, Batna University, Batna 05000, Algeria, Tel. +213 561227583; email: kabour\_abs@yahoo.fr

<sup>b</sup>Water Resources and Sustainable Development Laboratory, University Badji Mokhtar, BP 12, Annaba 23000, Algeria, email: haniazedine@yahoo.fr

<sup>c</sup>Sciences and Technology Department, Center University of Mila, BP26-43000, Algeria, email: cheblym@yahoo.fr

Received 11 July 2014; Accepted 6 June 2015

### ABSTRACT

Béchar city is located in the southwest part of Algeria, characterized by an arid climate with Saharan tendency. It is subject to an increasing demand for water like all the great agglomerations, due to the economic and demographic development. In spite of a rate of rather significant connection with drinking water feeder system, the groundwater remains solicited for daily human activities (irrigation, sanitation, etc.). However, after use, the wastewater are rejected into Béchar wadi (river), which flows along the city, where the sewerage is discharged without treatment, causing a real threat to the environment, particularly to the groundwater, due to the nature and the hydrodynamic aquifer system in the city. The identification of facies, principal component analysis, Gibbs diagram, and reporting features have all given satisfactory results. This facies varies with dilution (wet period) or concentration (dry period) preferably elements of  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ , and  $\text{HCO}_3^-$ , depending on groundwater recharge. The chemistry of groundwater is related to a mechanism of acquisition that depends on the hydrogeology of the city and the significant anthropogenic input.

*Keywords:* Béchar; Wastewater; Groundwater; Hydrochemistry; Anthropogenic contributions

### 1. Introduction

Major cities in developing countries generally experience rapid population growth that generates multiple and complex problems [1–3]. On top of the challenges that pose high demand and water management, are added problems relating to its quality, and in our case to the influence of arid climate on water resources (availability) [4,5]. The groundwater pollution by domestic sewage in an urban environment is a

problem that is growing in importance, and many scientists have studied it by several approaches, such as physicochemical, statistical and microbiological, and so as transfer mechanisms contaminants into this groundwater. Determining the origin of the chemical elements in groundwater can lead to the identification of the parameters of anthropogenic origin, as well as the understanding of the acquisition mechanisms of natural and/or anthropogenic chemistry in these waters [6,7]. In this paper, a triple objective is pursued: first of all, the spatiotemporal characterization of groundwater chemistry, and then the mechanisms of

\*Corresponding author.

acquisition of chemical elements composing their mineralization, and in the end, the identification of anthropogenic inputs in these waters.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Study area

The city of Béchar is located in the southwest of Algeria (Fig. 1), with an arid climate to Saharian tendency. Rainfall is erratic during the year, with an average of about 72 mm for the period of 1988–2008. The lowest temperature (4°C) was recorded in January and the highest (40°C) in July, with an average of 27.16°C. The average evaporation is 306 mm, while the values of evapotranspiration exceed those of rainfall, involving a drought throughout the year [8]. Béchar is like all Algerian cities, which have a high water demand proportional to the increase in the population, with a growth rate of 3.11% (in 2007 the population

was 161,902 inhabitants) [8]. The city of Béchar extends over an area of approximately 160 km. It is connected to the main drinking water at a rate of 99%, with an actual staffing estimated at 139 liters/capita/day and a satisfaction rate of 71%. However, groundwaters are widely used for irrigation, Turkish baths, public showers, mosque, etc. [8]. The wadi crosses on its path, from north to south, the former Quaternary alluviums of variable thickness between 5 and 10 m, the Eocene limestones said Barga II, thicker than 60 m, then the limestone Turonian said Barga I with a thickness ranging from 25 to 45 m of interbedded limestones and sandstones of the Carboniferous Westphalian and finally a lateral contact with the alluvium adjacent Namurian [9–12].

### 2.2. Methodology

The physicochemical composition of water plays an important role in determining its quality, as well as

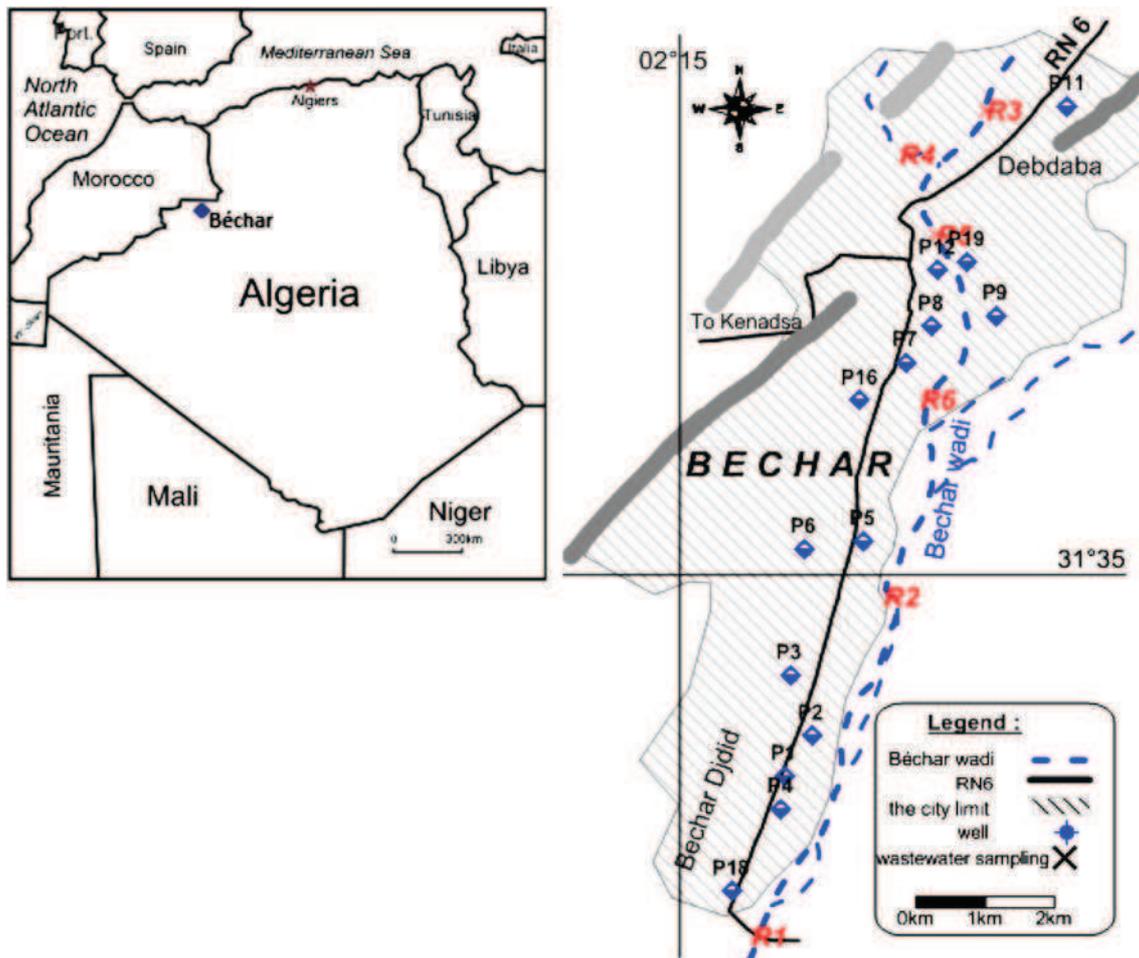


Fig. 1. Location map of Béchar town (SW Algeria) and sampling network.

the possibility of its use to supply drinking water or for other purposes (irrigation, industry, etc.) [13–17]. Sampling was conducted during the months of April 2008 (14 wells) and 2010 (18 wells) (Fig. 1) to identify the mineral composition of Béchar city groundwaters. The parameters analyzed are EC, pH, total dissolved solids (TDS), Eh, O<sub>2</sub>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Mn<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, I<sup>-</sup>, B, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, and Zn<sup>2+</sup>. The water characterization was carried out using a graphical and statistical analysis of the physicochemical parameters. The methods described by Rodier [16,18,19] were followed during field and laboratory work. The goal was to ensure that the water samples truly represented the properties and conditions of the subsurface environment. Water was pumped from the well until the temperature, EC, and pH became constant. The collected samples were analyzed for major cations, anions, and TDS. Concentrations of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> were determined using a flame photometer. As for Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, and Cl<sup>-</sup> concentrations, these were determined by volumetric titration method, and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> spectrophotometrically. Samples with an error of less than 5% in the cation–anion balance were exclusively used for interpretation; additionally, statistical analysis was carried out using Statistica8 for Windows.

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Identification and classification of facies

The chemical facies representation of Béchar city groundwater in the diagram (Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup>) vs. (Cl<sup>-</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) [18–20] shows the dominance of two characteristics poles (Fig. 2). Both poles are represented by two facies, firstly sodium bicarbonate (2008) and secondly the sodium chloride (2010). A gradual facies transition occurred from 2008 to 2010 sampling. The

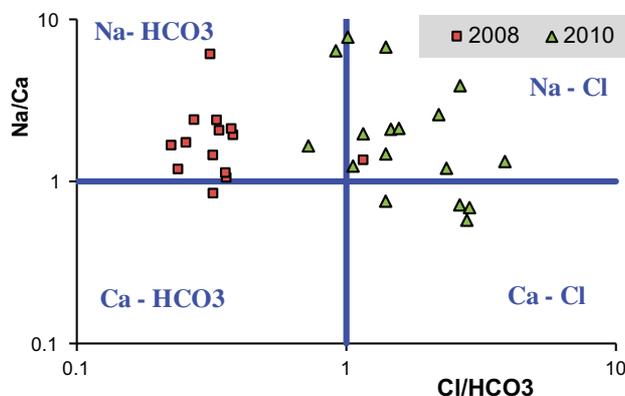


Fig. 2. Report (Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup>)—(Cl<sup>-</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

calcium chloride facies is also present (2010) by four points. The dominance of ions Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, and Cl<sup>-</sup> [18–20] allowed the representation of the analysis of Béchar city groundwater in the (Ca<sup>2+</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) vs. (Na<sup>+</sup>/Cl<sup>-</sup>) diagram (Fig. 3), where the points are concentrated in the calcium sulfate pole with 100% of the 2008 samples, also 50% samples of 2010, and nearly 38% from 2010 are Ca<sup>2+</sup> Cl<sup>-</sup>.

#### 3.2. Contribution of the principal component analysis

Many studies have been devoted to the analysis of chemical data of water through multivariate statistical techniques, among others principal component analysis, they are also used to distinguish between multiple signatures clean groundwater or contaminated, by agricultural activities, mining, and also sewage pollution [6,21–25].

Applying principal component analysis method on Béchar city groundwater has led to the following conclusions (Figs. (4) and (5)):

- (1) For the 2008 sampling, the first two axes explain 60.92% of the information contained in the data matrix (Fig. 4). Factor F1 represents 43.86% of the total inertia, it is determined by HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, EC, pH, TDS, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Eh, Cl<sup>-</sup>, I, B, P, and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. The combination of these variables along axis F1 indicates that this factor explains the predominant mechanisms for acquiring mineralization of groundwater in the town of Béchar.
- (2) Factor F2 represents 17.05% of the variance expressed, it is determined by the ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and nutrients, it is a factor characteristic of nitrogen pollution, mainly due to sewage presence. The groundwaters of the city are

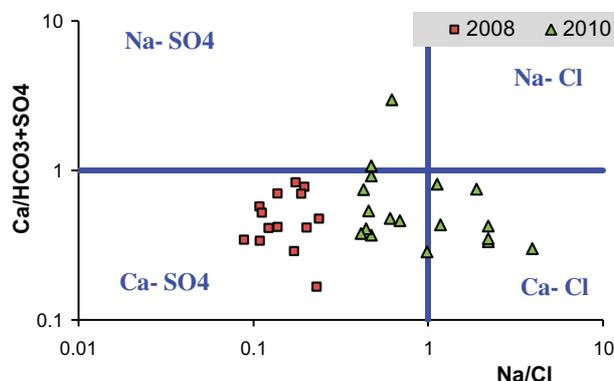


Fig. 3. Report (Ca<sup>2+</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)—(Na<sup>+</sup>/Cl<sup>-</sup>).

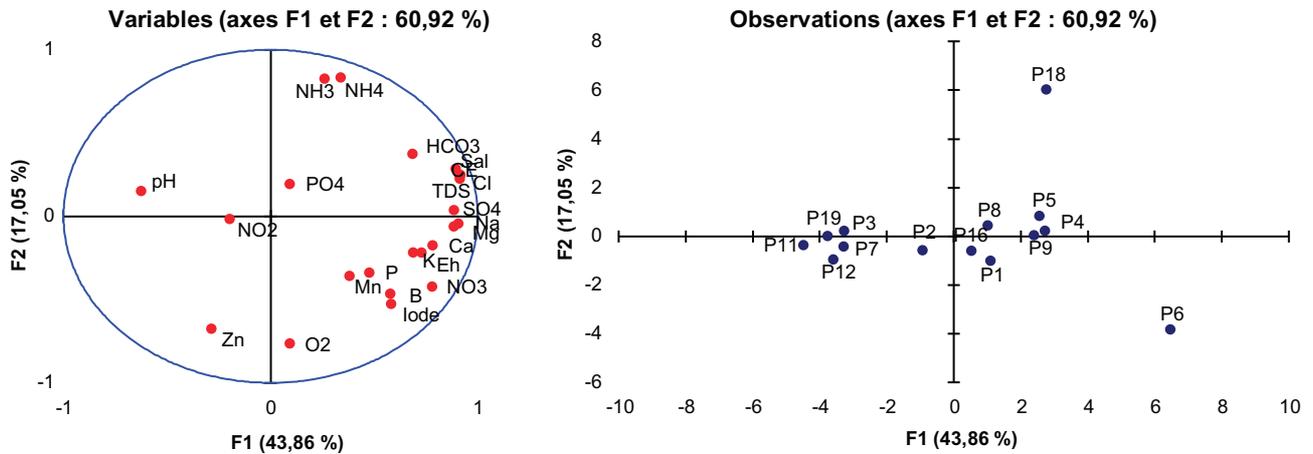


Fig. 4. Factorial plan F1/F2 (2008).

shallow allowing a direct relationship with the wadi water, and ease of movement of organic pollution. The good correlation between the different variables that define the factor F1 reflects a common origin of these ions (Fig. 4). The analysis in the space of the statistical units allows the identification of several groups of water. Also, the mineralization of water from the P18 well is influenced by the presence of  $\text{NH}_4^+$  ions, the P6 sample by the  $\text{NO}_3^-$ , points P8, P5, P4, and P9 by the  $\text{PO}_4^{3-}$ , wells P3, P1, P7, and P19 by  $\text{NO}_2^-$ , and then the wells P2, P1, and P16 by mineralization related to their recharge ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ).

For the 2010 sampling (Fig. 5), the first two axes F1 and F2 explain 59.82% of the overall information; the factor F1 represents 44.04% of the variance, it is determined by  $\text{Cl}^-$ , Eh,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{NO}_3^-$ , the combination of these variables along axis F1 indicates that this factor explains the acquisition of mineralization of these waters; the Factor F2 represents 17.05% of the variance expressed, it is determined by the ions  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{O}_2$ , and nutrients; it is the factor of mineralization shallow waters mainly due to the presence of oxygen.

The correlation between the different variables that define the factor F1 indicates a possible common origin of these ions; knowing that the grouping of analyzed water is identified by the analysis in the space of statistical units, we can say that the mineralization of water wells P19 is influenced by the presence of  $\text{NO}_3^-$  ions implying an anthropogenic input. The sample P21 is characterized by the  $\text{O}_2$ , the P16, P3, and P8 by the  $\text{K}^+$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ , and wells P3, P18, P4, P6, P5, P1,

P19, and P21 by a mineralization linked to traversed geological formations ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , and  $\text{Ca}^{2+}$ ).

### 3.3. Gibbs diagram (1970)

The Gibbs diagram enables us to determine the different origins of the chemical elements from the correlation established between them, including the geological origin. This is explained by the wells recharge under the effect of the refill by the rainfall and contact wadi/groundwater. There is a change between the two periods, with increased concentrations of chemical elements  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , and  $\text{HCO}_3^-$ , during low water due to evaporation [6,26–29].

Application of Gibbs diagram (Table 1 and Fig. 6) leads to certain conclusions:

- (1) For the graph:  $\text{Na}^+/\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} = f$  (TDS), where the origin of  $\text{Na}^+$  compared to  $\text{Ca}^{2+}$ , for the majority of samples is the interaction water/rock (38% for 2010 and 100% in 2008), the remaining 62% of 2010 samples are divided into two groups, the first originates from the evaporation of shallow water, and the second from evaporation of water from precipitation.
- (2) The graph  $\text{Cl}^-/(\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-) = f$  (TDS) describes the origin of  $\text{Cl}^-$  compared to the  $\text{HCO}_3^-$ , which is for the majority of wells, mainly, the interaction water/rock (50% for 2010 and 64% in 2008), while 37% (2010) and 21% (2008) are from shallow water evaporation, and the remainder, namely 14% (2008) and 12% (2010) are from water evaporation precipitation.

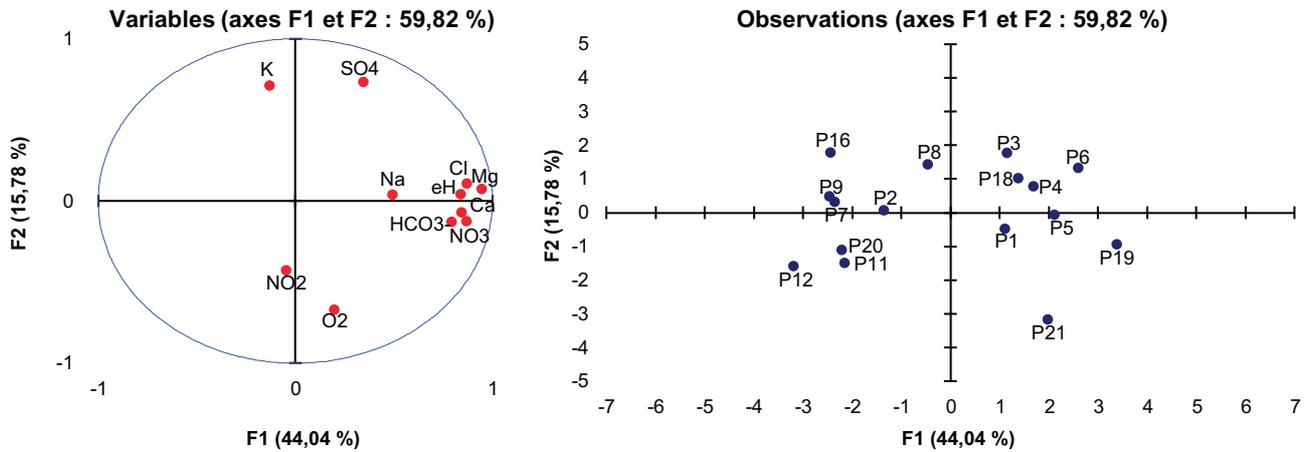


Fig. 5. Factorial plan F1/F2 (2010).

Table 1  
Chemistry origin of Béchar city groundwater according to Gibbs diagram (1970)

Classes	Diagram: Na/(Na + Ca)		Diagram: Cl/(Cl + HCO <sub>3</sub> )				
	2008	2010	2008	2010			
Rock dominance	All samples	6.4.8.2.1.3	<b>37.5%</b>	4.9.2.16.1.7.8.12.11	<b>64.2%</b>	9.8.7.20.11.2.16.12.	<b>50%</b>
Evaporation dominance	–	19.10.18.5.21	<b>31.2%</b>	6.18.5	<b>21.4%</b>	18.6.21.19.5.4	<b>37.5%</b>
Evaporation of rainfall dominated waters	–	7.16.20.11.12	<b>31.2%</b>	18.3	<b>14.2%</b>	1.3	<b>12.5%</b>
Rainfall dominance	–	–	–	–	–	–	–

Note: Bold value indicates the percentage from all samples.

### 3.4. Reporting features

The use of reporting features, in meq/L, can be an indicator of the water quality. The study of the most common features reports used in hydrogeochemistry, to specify the origin environment of groundwater and compare their chemical elements concentration [6,30,31].

#### 3.4.1. Report $rSO_4^{2-}/rCl^-$

The use of report  $rSO_4^{2-}/rCl^-$  [6,20,25] indicates that groundwater samples from the town of Béchar are chlorinated (Fig. 7). This ratio is less than 1 for 92.95% (2008) and 77.77% (2010) of the samples analyzed; therefore, there is a predominance of chlorides on sulfates which can be explained by the leaching of marl gypsiferous in hydraulically upstream.

The graph in Fig. 7 shows that the anthropogenic input in ions  $SO_4^{2-}$  and  $Cl^-$  is 21.21% of water wells, in 3% points, mineralization is due to water–rock interaction, conditioned by the relatively long

residence time of water in this environment. Finally, in 75.73% of cases, mineralization is due to leaching of gypsiferous marly formations by rainwater infiltration.

#### 3.4.2. Report $rNa^+/rCl^-$

The presence of these two chemical elements (Na and Cl) in natural waters are often related to the dissolution of halite. The evolution of  $Na^+$  is studied as a function of chloride contents because it is considered as stable and conservative tracer evaporites, very soluble, rarely entering in the salt precipitation, not involved in the redox processes and low influenced by the intervention of bacteria. In addition, its movement is not delayed in water [6].

The graphical representation of the evolution of the sodium contents based on chloride concentrations on a logarithmic scale [2,6,23–25,27,30] (Fig. 8), allows us to observe four acquiring process of  $Na^+$  and  $Cl^-$  ions: by dilution, human input, interaction water/rock and enrichment by evaporation. In cases where the correlation between Na and Cl ions is significant, this

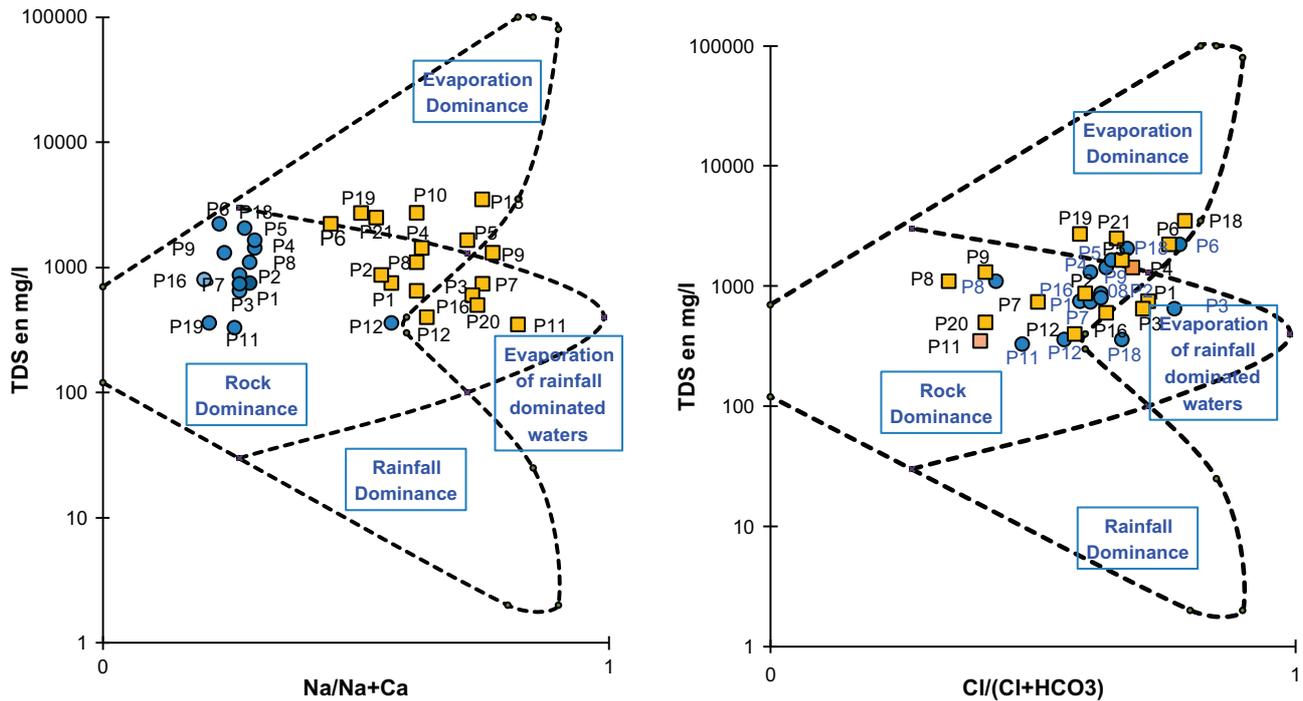


Fig. 6. Various chemical elements origin in Béchar city groundwater (2008, 2010) (Gibbs plot 1970).

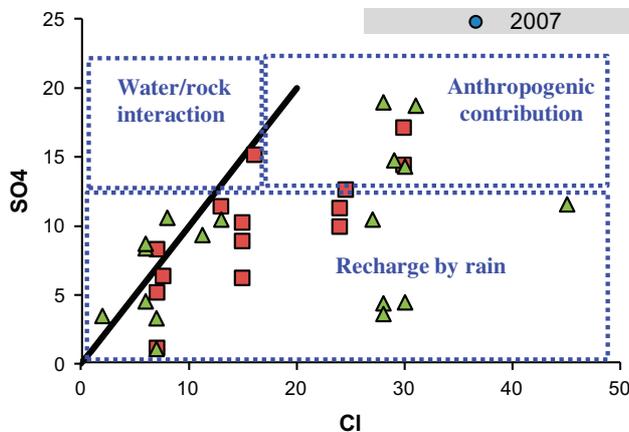


Fig. 7. Report evaluation  $rSO_4^{2-}/rCl^-$ .

indicates a common origin, which is the halite dissolution in the groundwater transition [30]. The anthropogenic contribution is 58.62% of the wells tested, while the water–rock interaction is 24.13%, and the enrichment by evaporation is around 17.24%. The few points with low chloride concentration, lower to 15 meq/l, and an excess of sodium levels in relation to the slope 1, can be explained by the existence of another source for sodium ions, which actually increase the concentration of sodium. This additional contribution could come from the weathering of clay

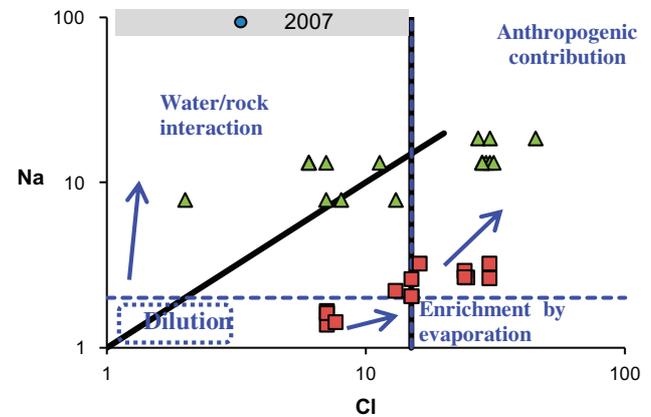


Fig. 8.  $Na^+$  and  $Cl^-$  origin.

formations, given the fact that the excess  $Na^+$  is accompanied by a deficiency of  $Ca^{2+}$  to  $HCO_3^-$  and  $SO_4^{2-}$  (Fig. 8). The increased levels of  $Na^+$  cannot be explained by base exchange related to clay minerals which set a  $Ca^{2+}$  ion, after release two  $Na^+$  ions [24]. This ratio is less than 1 for 82.76% of the water samples analyzed; this can be explained by the deposition of salts in specific climatic conditions, low rainfall and enrichment by evaporation or by leaching of clay soil by recharge water, or by anthropogenic inputs such as discharges.

### 3.4.3. Correlation between $\text{Ca}^{2+}/(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ and $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$

An examination of the calcium origin vs. the bicarbonates and sulfates can highlight key exchange base exerted in the water–rock and identify the two main sources of  $\text{Ca}^{2+}$ , namely carbonates and gypsum [20,32,33]. The ion exchange with the rock matrix also controls the calcium content in the groundwater of the city of Béchar (Fig. 9); in case the residence time is relatively long and where the carbon dioxide content is low, and a low water aggressiveness. A decrease in the calcium content compared to  $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$  is a decrease of  $\text{Na}^+$  relative to  $\text{Cl}^-$ , which implies a high concentration of  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ . This situation is frequently encountered by the dissolution of evaporitic sedimentary rocks, including gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) [6,24]. The projection of the points on the graph  $\text{Ca}^{2+}/(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ — $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  (Fig. 9) shows that 20% of water points undergo base exchange with a relatively long residence time, 3% points are in their natural state and 7% have an  $\text{Ca}^{2+}$  ions excess compared to  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ , probably due to gypsum formations that provide more  $\text{Ca}^{2+}$  ions that can consume the effect of chemical precipitation or effect of calcium binding by clays [24].

### 3.4.4. Report $\text{rNO}_3^-/\text{rCl}^-$

The correlation between chlorides and nitrates (Fig. 10) [6,34] indicates the dominance of chlorine on the nitrate, because 100% of the points are below the 1:1 rights, where we note that 32.14% are in anthropogenic input field, 51.72% brought by denitrification loss, or addition of  $\text{Cl}^-$  meteoric, or recent recharge, and only 3% of the points are located in the natural environment, the presence of  $\text{NO}_3^-$  in these waters

suggests a mixture of two waters, a  $\text{Cl}^-$  rich one and the other contains some concentration of  $\text{NO}_3^-$  [6].

### 3.5. Origin of chemical elements and identification of anthropogenic inputs

The acquisition of the chemistry of groundwater in the town of Béchar is governed by several parameters [1,5,35]:

- (1) The aquifer where the wells are located: the wells taken into consideration, for the evaluation of the chemical quality of Béchar city groundwater, are located as follows:
  - (a) P11 in the limestone.
  - (b) P20 in the old quaternary.
  - (c) P12, P19, P9, P8, P7, P16, P21, and P6 in the recent quaternary and gypsiferous marls.
  - (d) P5, P3, P2, P1, and P4 interbedded Carboniferous sandstones with marls and clays.
  - (e) P18 in the inferoflux, and end, P22 in alluvium in contact with the Namurian.
- (2) The distance between the wells and the discharge point (in the wadi).
- (3) The residence time of the water in the aquifer.
- (4) The feeding flow direction (hydraulic gradient).
- (5) The geological formations crossed by water before arriving at the well.
- (6) The power flow during the rainy period.
- (7) The hydrochemical evolution is influenced by hydrodynamics wells, due to evaporation (low water period), and under the effect of recharge by rainfall (during high water) [24].

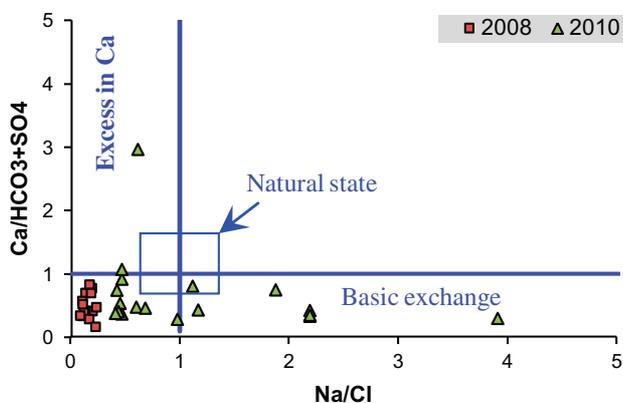


Fig. 9. Basic exchange.

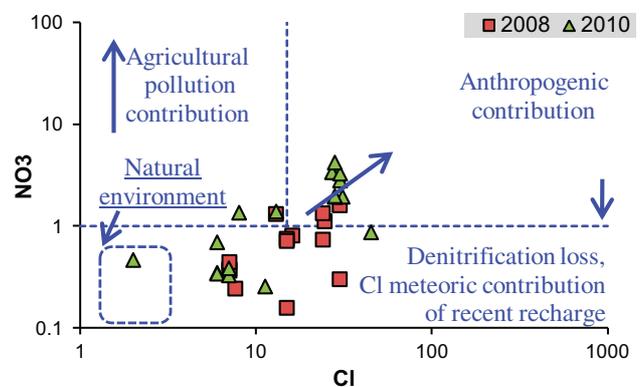


Fig. 10.  $\text{NO}_3^-$  origin.

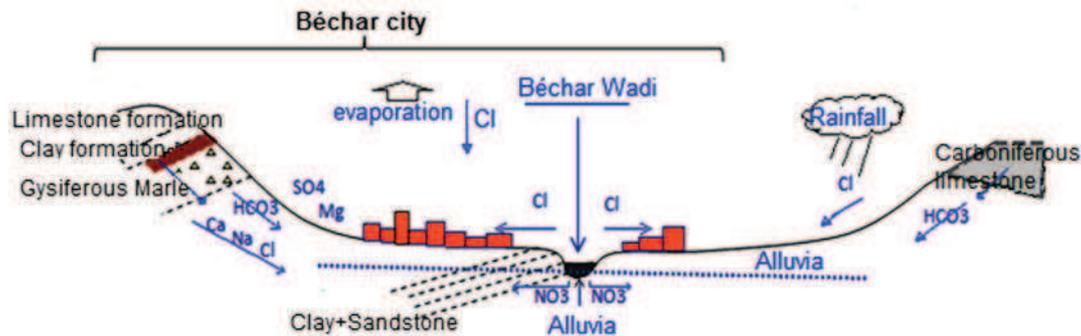


Fig. 11. Acquisition mechanism of chemistry groundwater in Béchar city.

- (8) The anthropogenic contribution is also significant source of chemical ions ( $\text{NO}_3^-$ ) [31,36].

We can describe the mechanism of acquisition of the chemistry of Béchar city groundwater (Fig. 11) by the movement of chemical elements such as  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{Ca}^{2+}$  from Carboniferous limestone formations, and  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  ions from sandstone and clay formations,  $\text{Na}^+$  from gypsiferous and marly formations, the  $\text{Cl}^-$  comes from several origins: the Béchar wadi, evaporation, and marley and gypsum formations, the  $\text{NO}_3^-$  comes from wastewater of the wadi. The mechanisms are primarily activated by leaching, residence time, and basic exchange.

#### 4. Conclusion

This study investigated the physicochemical properties of the Béchar city aquifer to understand the status of water quality and also to detect the sources of contamination. The representation of data on chemical facies classification diagrams allows that analyzed samples are arranged in a calcium sulfate facies and bicarbonate sodium facies (during 2008), and two categories for the analyzed samples during 2010, which are chloride sodium and calcium chloride. This classification is probably due to the variation of the feed stream (rainiest year during 2008). Some chemical ions are from anthropogenic input origin, mainly the nitrates. The chemistry of groundwater in the city of Béchar can be explained by a mechanism of acquisition rather complex, resulting in the movement of chemical elements such as  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{Ca}^{2+}$  from Carboniferous limestone formations, and the ions  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  from sandstone and clay formations,  $\text{Na}^+$  from gypsiferous marly formations, the chloride comes from several sources, either releases of the wadi (anthropogenic), evaporation, marl and gypsum formations, or carbonate formations; the most likely

source of  $\text{NO}_3^-$  is wastewater of the wadi; leaching, time stays, and base exchange are the main actions that activate the chemical elements acquisition mechanism.

#### References

- [1] L. Fedrigoni, M. Krimissa, K. Zouari, A. Maliki, G.M. Zuppi, Origine de la minéralisation et comportement hydrogéochimique d'une nappe phréatique soumise à des contraintes naturelles et anthropiques sévères: Exemple de la nappe de Djebeniana (Tunisie) (Origin of mineralization and hydrogeochemical behavior of groundwater under severe natural and anthropogenic stresses: Example of the Djebeniana aquifer (Tunisia)), C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes/Earth Planet. Sci., 332 (2001) 665–671.
- [2] M. Jalali, Hydrochemical identification of groundwater resources and their changes under the impacts of human, activity in the Chah Basin in Western Iran, Environ. Monit. Assess. 130 (2007) 347–364.
- [3] E. Kouassi Ahoussi, N. Soro, G.B. Soro, T. Lasm, M.S. Oga, S.P. Zadé, Groundwater pollution in Africans biggest towns: Case of the town of Abidjan (Cote d'Ivoire), Eur. J. Sci. Res. 20 (2008) 302–316.
- [4] N.C. Mondal, V.K. Saxena, V.S. Singh, Assessment of groundwater pollution due to tannery industries in and around Dindigul, Tamilnadu, India, Environ. Geol. 48 (2005) 149–157.
- [5] M. Rodríguez-Rodríguez, J. Benavente, J.J. Cruz-San Julián, F.M. Martos, Estimation of ground-water exchange with semi-arid playa lakes (Antequera region, southern Spain), J. Arid Environ. 66 (2006) 272–289.
- [6] L. Chery (Ed.), Guides techniques, qualité des eaux souterraines. Méthodes de caractérisation des états de références des aquifères français (Technical Guides, Groundwater Quality. Statements of Characterization Methods of Reference for French Aquifers), BRGM, France, 2006.
- [7] A. Kabour, A. Hani, L. Chebbah, Y. Sadek, Wastewater discharge impact on groundwater quality of Béchar City, Southwestern Algeria: An anthropogenic activities mapping approach, Proc. Eng. 33 (2012) 242–247.

- [8] A. Kabour, A. Hani, A. Mekkaoui, L. Chebbah, Évaluation et gestion des ressources hydriques dans une zone aride: Cas de la ville de Béchar (Sud ouest algérien) (Assessment and management of water resources in an arid area: Case of the city of Béchar. (South western Algeria)), LARHYSS 09 (2011) 7–19.
- [9] P. Deleau, Les bassins Houillers du Sud Oranais dans la région de Colomb-Béchar-Abadla (Coalfields of South Oran in the region of Colomb-Béchar-Abadla), Série 2, strat. N°20, Bulletin de service de la carte géologique de l'Algérie, France, 1951.
- [10] M.A. Roche, Hydrogéologie de la haute Saoura (Sahara Nord Occidental) (Hydrogeology of the high Saoura (Sahara Occidental North)), CNRS (Recherche sur les zones arides), France, 1973.
- [11] C. Guerre, Alimentation en eau potable de Béchar et de Kenadsa (Drinking water supply Bechar and Kenadsa), DEMRH, Béchar, 1974.
- [12] A. Kabour, A. Hani, L. Chebbah, Impact des eaux usées domestiques sur l'environnement, et évaluation de l'indice de risque sur la santé publique: Cas de la ville de Béchar, SW Algérien (Impact of domestic wastewater on the environment, and evaluation of the risk index on public health: the case of the city of Bechar, Algeria SW), *Europ. J. Sci. Res.* 53(4) (2011) 582–589.
- [13] M. Rosen, S. Jones, Controls on the chemical composition of groundwater from alluvial aquifers in the Wanaka and Wakatipu basins, Central Otago, New Zealand, *Hydrogeol. J.* 6 (1998) 264–281.
- [14] A. Navarro, M. Carbonell, Evaluation of groundwater contamination beneath an urban environment: The Besòs river basin (Barcelona, Spain), *J. Environ. Manage.* 85 (2007) 259–269.
- [15] N. Baran, Ph. Negrel, E. Malcuit and B. Vittecoq, Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison des pluies 2005: Résultats et comparaison avec la 1ère campagne de basses eaux (2004) et 1ère campagne de saison des pluies (2004) (Monitoring the quality of groundwater in Martinique 2005 rainy season campaign: results and comparison with the first campaign of low water (2004) and the first rainy season campaign (2004)), BRGM/RP-54717-FR, 2006.
- [16] J. Rodier, The analysis of the Water: Natural water, Waste Water, Sea Water, eighth ed., Dunod, Paris, 1996.
- [17] A.H. Gallardo, N. Tase, Hydrogeology and geochemical characterization of groundwater in a typical small scale agricultural area of Japan, *J. Asian Earth Sci.* 29 (2007) 18–28.
- [18] A.M. Al-Bassam, Determination of hydrochemical processes and classification of hydrochemical facies for the Sakakah Aquifer, northeastern Saudi Arabia, *J. Afr. Earth Sci.* 27 (1998) 27–38.
- [19] R.M. Al-Agha, A.H. El-Nakhal, Hydro chemical facies of groundwater in the Gaza Strip, Palestine, *Hydrol. Sci. J. Sci. Hydrol.* 49(3) (2004) 359–371.
- [20] M.S. Ghebouli, E.M. Bencheikh Elhocine, Origine de la salinité des eaux souterraines cas des hautes plaines sétifiennes (nord est algérien) (Origin of groundwater salinity case of high plains of Setif (Algeria North East)), *Sci. Technol. A28* (2008) 37–46.
- [21] E. Malcuit, B. Vittecoq, N. Baran, Ph. Negrel, Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison sèche 2006: résultats et comparaison avec la campagne de saison des pluies 2005 (Monitoring the quality of groundwater in Martinique, dry season campaign 2006: results and comparison with the 2005 campaign season rains), BRGM/RP-54909-FR, 2006.
- [22] F. Baali, Contribution à l'étude hydrogéologique, hydro chimique et vulnérabilité à la pollution d'un système aquifère karstique en zone semi aride. Cas du plateau de Chéria N. E. Algérien (Contribution to the Hydrogeological Study, Hydrochemical and Vulnerability to Pollution of a Karst Aquifer System in Semi-Arid zone. Case of Cheria tray, N.E. Algerian), Th. Doc. University Badji Mokhtar, Annaba, Algeria, 2007.
- [23] S.K. Srivastava, A.L. Ramanathan, Geochemical assessment of groundwater quality in vicinity of Bhalswa landfill, Delhi, India, using graphical and multivariate statistical methods, *Environ. Geol.* 53 (2008) 1509–1528.
- [24] T.H. Debieche, Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle (Changes in Water Quality (Salinity, Nitrogen and Heavy metals) in Response to Salt Pollution, Agricultural and Industrial), ufr. des sciences et techniques de l'université de Franche-Comté, Th. Doc, France, 2002.
- [25] C. Fehdi, A. Boudoukha, A. Rouabhia, E. Salameh, Caractérisation hydro chimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsot-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud Est Algérien) (Hydrochemical characterization of groundwater aquifer complex Morsot-Laouinet (Northern Region of Tebessa, South East Algeria)), *Afriq. Sc.* 05–2 (2009) 217–231.
- [26] N. Subba Rao, Geochemistry of groundwater in parts of Guntur district, Andhra Pradesh, India, *Environ. Geol.* 41 (2002) 552–562.
- [27] G.F. Zhu, Y.H. Su, Q. Feng, The hydrochemical characteristics and evolution of groundwater and surface water in the Heihe River Basin, northwest China, *Hydrogeol. J.* 16 (2008) 167–182.
- [28] Y. Srinivasarao, Groundwater quality suitable zones identification: Application of GIS, Chittoor area, Andhra Pradesh, India, *Environ. Geol.* 53(1) (2007) 201–210.
- [29] T. Venugopal, L. Giridharan, M. Jayaprakash, P. Periakali, Environmental impact assessment and seasonal variation study of the groundwater in the vicinity of River Adyar, Chennai, India, *Environ. Monit. Assess.* 149(1–4) (2009) 81–97.
- [30] I. Chenini, B. Farhat, A. Ben Mammou, Identification of major sources controlling groundwater chemistry from a multilayered aquifer system, *Chem. Speciation Bioavailability* 22(3) (2010) 183–189.
- [31] M. Rabiet, Contamination de la ressource en eau par les eaux usées dans un bassin versant méditerranéen, apport des élément majeurs, traces et terres rares (Contamination of water resources by wastewater in a Mediterranean watershed, providing major element, trace and rare earth), Th. Doc. Univ. Montpellier II, France, 2006.

- [32] N. Rajmohan, L. Elango, Identification and evolution of hydrogeochemical processes in the groundwater environment in an area of the Palar and Cheyyar River Basins, Southern India, *Environ. Geol.* 46–1 (2004) 47–61.
- [33] K. Abid, R. Trabelsi, K. Zouari, B. Abidi, Caractérisation hydrogéochimique de la nappe du Continental Intercalaire (sud tunisien)/Hydrogeochemical characterization of the Continental Intercalaire aquifer (southern Tunisia), *Hydrol. Sci. J.* 54 (2009) 526–537.
- [34] A. Charmoille, Étude Du Karst Profond De La Vallée du Doubs (Study of Karst Deep of the Doubs Valley), Université Franche-Comté, Besançon, Rapport, France, 2000.
- [35] M. Kumar, A.L. Ramanathan, M.S. Rao, B. Kumar, Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India, *Environ. Geol.* 50 (2006) 1025–1039.
- [36] K. Dragon, The Influence of Anthropogenic Contamination on the Groundwater Chemistry of a Semi-confined Aquifer (The Wielkopolska Buried Valley Aquifer, Poland), *Water Res. Manage.* 22 (2008) 343–355.