



UNIVERSITE KASDI MERBAH  
OUARGLA

---

N° d'ordre : .....

N° de série : .....

FACULTE DES SCIENCES  
ET SCIENCES DE L' INGENIEUR

---

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

---

## Mémoire

Présenté en vue de l'Obtention du Diplôme de

# MAGISTER

Spécialité : Agronomie Saharienne

Option : Protection des écosystème en zones arides

**Par Rabia SLIMANI**

### *Thème*

**Contribution à l'évaluation d'indicateurs de  
pollution environnementaux dans la région de  
Ouargla: Cas des eaux de rejets  
(agricoles et urbaines)**

Soutenu publiquement le 04 / 07 /2006

Devant le jury :

DADAMOUSA belkhir  
MESSAITFA Amar  
CHELOUFI Hamid  
OULD EI HADJ Med Didi  
HADJ Med Mahfoud  
TOUIL Youcef

Maître de Conférences, Université de Ouargla  
Maître de Conférences, Université de Ouargla  
Maître de Conférences, Université de Ouargla  
Maître de Conférences, Université de Ouargla  
Professeur, Université de Ouargla  
Maître Assistant, Université de Ouargla

Président  
Examineur  
Examineur  
Examineur  
Rapporteur  
Invité

*A ma famille.*

## Remerciements

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé dans le cadre des activités de recherche du Laboratoire de Biogéochimie des milieux désertiques de l'Université de Ouargla, que tous ses membres trouvent ici l'expression de ma gratitude.

A mon promoteur, Monsieur HADJ-MAHHAMED Mahfoud, Professeur au département des sciences physiques à l'Université de Ouargla, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'encadrer ce travail et m'avoir accueilli au sein de son laboratoire de biogéochimie en milieux désertiques.

Mon co-Promoteur, Monsieur TOUIL Youcef, Chargé de cours au département d'hydraulique et de génie civil de la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur à l'Université de Ouargla, pour sa disponibilité et ses nombreux conseils tout au long de mon travail.

Monsieur DADA MOUSSA Belkhir, Maître de Conférences à la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur à l'Université de Ouargla, qui m'a fait l'honneur de présider mon jury.

Monsieur MESSAITFA Amar, Monsieur CHELOUFI Hamid et Monsieur OUELD-EL HADJ Med. Didi, Maîtres de Conférences à la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur à l'Université de Ouargla, pour avoir accepté de juger ce travail.

Monsieur MAANE Hamid, ingénieur d'état au C.D.A.R.S pour ces conseils très précieux, pour sa participation aux campagnes de prélèvements et pour avoir relu mon travail.

Madame MAANE khedidja, responsable de la bibliothèque pour sa gentillesse et son aide.

Monsieur HAMDIAÏSSA Belhadj, Maître de conférence à la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur à l'université de Ouargla pour son aide précieuse qu'il m'a apporté.

Monsieur DJILI Brahim, Maître assistant à la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur à l'université de Ouargla pour sa gentillesse, ses conseils et sa disponibilité.

Fouzia et Monem pour leur sympathie, leur aide et amitié. Sans oublier Houria, ingénieur au Laboratoire de biogéochimie en milieux désertique.

Merci également à tout le personnel des laboratoires de contrôle de qualité et PQE à Ghardaïa pour toute l'aide qu'ils m'ont apporté dans les analyses bactériologiques,

Merci à Madame MESSAÏ, Monsieur IDDER Tahar, ingénieur d'état et à l'A.N.R.H. pour tous leurs renseignements et leurs aides.

Je tiens enfin à remercier plus personnellement mes proches pour leur aide et leur soutien permanent sans lesquels ce mémoire n'aurait pas abouti.

Merci à mes parents, mes sœurs, mon oncle BEDJA Madjid et mes beaux frères HAMMAR Achour et ZOUBIR Chakib.

## Résumé :

L'oasis de Ouargla connaît un grand problème d'excédents hydriques, causé par les rejets d'eaux de drainage et d'eaux résiduelles urbaines qui ne subissent aucune épuration préalable.

Notre étude est une contribution à l'évaluation de l'impact de ces rejets sur la qualité des eaux de la nappe phréatique à travers différents paramètres (température, pH, conductivité, les éléments majeurs, métaux lourds et indicateurs de pollution bactériologiques). Cette évaluation s'est portée sur trois sites (Ain Beida, Chott et Oum Reneb).

Les résultats obtenus durant le suivi spatio-temporel des eaux usées et celles de la nappe phréatique mettent en évidence un accroissement des valeurs de la CE, des concentrations en chlorures, en sulfates, en nitrates, la DBO<sub>5</sub> et de la DCO pendant la saison sèche.

La nappe phréatique, apparaît fortement contaminée par des matières organiques d'origines humaines et animales, puisque le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> = 2-3 (origine domestique). Mais les taux d'azote ammoniacaux et les nitrates élevés constatés pour les points de rejets du Chott et Aïn Beïda indiquent une origine différente de la pollution, à savoir l'activité agricole peut être.

Les germes indice de pollution bactériologique, confirment une contamination bactériologique par les eaux usées.

**Mots clés :** Indicateur de pollution, eaux usées, nappe phréatique, Ouargla.

## Summary :

Ouargla's oasis knows a big problem of hydric excesses, caused by the discharges of waters of drainage and urban waters which do not undergo any preliminary purge.

Our study is a contribution to the evaluation of the impact of these discharges on the quality of the waters of the groundwater through various parameters (temperature, pH, specific conductivity, the major elements, the heavy metals and the bacteriological indicators of pollution). This evaluation went on three sites (Ain Beida, Chott and Oum Reneb).

Results obtained during the spatiotemporal follow-up of waste water and those of the groundwater put in evidence an increase of the values of this, concentrations in chlorides, sulfates, nitrates, the DBO<sub>5</sub> and of the DCO during the dry season.

The groundwater, seems strongly contaminated with organic matters of human and animal origin, because the report DCO / DBO<sub>5</sub> = 2-3 (domestic origin). But the rates of ammoniacal nitrogen and the high nitrates noticed for the points of discharges of Chott and Aïn Beïda indicate a different origin of pollution, namely agricultural activity can be .

Germs indicate of bacteriological pollution, confirm a bacteriological contagion by waste water.

**Keywords:** Indicator of pollution, waste water, groundwater, Ouargla.

## ملخص :

تعاني واحة ورقلة من مشكل كبير يتعلق بفائض المياه، الناتج عن كل أنواع الصرف غير الخاضع لتطهير مسبق. تعتبر هذه الدراسة مساهمة في تقييم تأثير مناطق صب المياه المصروفة على نوعية المياه الجوفية (الطبقة الحرة) الواقعة بالقرب منها من خلال مختلف المتغيرات (درجة الحرارة، الحموضة، الناقلية الكهربائية، العناصر الوفيرة، المعادن الثقيلة و مؤشرات التلوث البكتريولوجي). و هذا التقييم خصص لثلاث مناطق (عين البيضاء، الشط و أم الرانب). النتائج المتحصل عليها من خلال دراسة المياه القذرة و مياه الطبقة الحرة سمحت لنا بالوضع بعين الاعتبار زيادة في قيم الناقلية الكهربائية، تركيز الكلور، السلفات، النترات، الطلب البيوكيميائي للأكسجين، الطلب الكيميائي للأكسجين خلال الفصل الجاف.

الطبقة الحرة تظهر جد ملوثة بالمواد العضوية ذات مصدر بشري و حيواني، لان العلاقة  $DCO/DBO_5 = 2-3$  (مصدر منزلي)، لكن نسب الازوت الامونياكي ( $NH_4^+$ ) و النترات ( $NO_3^-$ ) العالية المسجلة في منطقة عين البيضاء و الشط تدل على إمكانية وجود مصدر ثاني للتلوث، و نتحدث هنا عن النشاط الفلاحي.

بالنسبة للجراثيم، التي تعتبر مؤشر للتلوث البكتريولوجي، فإننا قد استطعنا أن نؤكد من خلالها وجود تلوث مصدره المياه القذرة.

**الكلمات المفتاحية :** مؤشر التلوث، مياه الصرف، الطبقة الجوفية الحرة، ورقلة.

# *Sommaire*

	<i>Page</i>
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I – PRESENTATION DE LA REGION D’ETUDE	4
1.1- Localisation géographique	5
1.2- Géologie	6
1.3- Relief	7
1.3.1- Plateau	7
1.3.2- Glacis	7
1.3.3- Chotts et Sebkhass	7
1.4- Contexte climatique	8
1.4.1- Climatologie	8
1.4.2- Synthèse climatique	9
1.5- Réseaux hydrographiques	11
1.6- Hydrogéologie	11
1.6.1- Nappe du Continental Intercalaire "Albien"	11
1.6.2- Complexe Terminal (CT)	13
1.6.3- Nappe superficielle (nappe phréatique)	15
CHAPITRE II: EAUX DE REJET DANS LA VILLE DE OUARGLA	19
2.1- Assainissement agricole	20
2.1.1- Délimitation de la palmeraie	20
2.1.2- Système du drainage de la palmeraie de la région de Ouargla	23
2.1.3- Problèmes de la collecte des eaux de drainage	23
2.2- Assainissement urbain	24
2.2.1- Réseau d'assainissement	24
2.2.2- Diagnostic des installations d'assainissement urbain	25
CHAPITRE III: ETUDE QUANTITATIVE DES EAUX DE REJET	30
3.1- Les eaux de drainage	31
3.1.1- Historique des débits prélevés	31

3.1.2- Evaluation quantitative des eaux de drainage	31
3.2- Les eaux résiduaires urbaines	32
3.2.1- Estimation du débit à la base de consommation en eau potable	33
3.2.2- Détermination du débit en fonction du pompage	36
3.2.3- Détermination du débit au niveau des points de rejet	36
CHAPITRE IV: MATERIELS ET METHODES	39
4.1- Choix des sites expérimentaux	40
4.2- Périodes de prélèvement	43
4.3- Méthodes analytiques	43
CHAPITRE V: RESULTATS ET DISCUSSION	48
5.1- Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées déversées et de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla	49
5.1.1- Eaux usées	49
5.1.2- Eaux de la nappe phréatique à proximité des points de rejets	50
5.2- Composition chimique des eaux étudiées	53
5.2.1- Faciès hydrochimiques des eaux	53
5.2.2- Profils ioniques des eaux	60
5.3- Aptitude des eaux de la nappe phréatique à l'utilisation	63
5.4- Détermination de la pollution	63
5.4.1- Pollution particulaire	63
5.4.2- Pollution organique	67
5.4.3- Pollution azotée	69
5.4.4- Pollution phosphorée	72
5.4.5- Pollution par les métaux lourds	73
5.4.6- Pollution bactériologique	76
5.5- Relation entre les indicateurs de pollution dans les eaux usées et la nappe phréatique	78
5.6- Le flux de pollution journalier des eaux usées.	80
CONCLUSION	81
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	84
ANNEXES	91

## Liste des figures

N°	Titre	Page
1.	Localisation de la zone d'étude.	5
2.	Carte géologique du grand erg oriental, (d'après Guendouz et al., 2003).	6
3.	Diagramme Ombrothermique de la région de Ouargla (1982-2004).	10
4.	Climagramme d'EMBERGER pour la région de Ouargla.	10
5.	Limites de l'aquifère du Continental Intercalaire, (d'après Castany 1982).	12
6.	Historique des prélèvements du Continental Intercalaire à Ouargla.	13
7.	Limites de l'aquifère du Complexe Terminal (CT), (d'après Castany 1982).	14
8.	Carte isopièze de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla, (d'après l'ENAGEO cité par Guendouz et al., 1992).	17
9.	Les oasis de la cuvette de Ouargla aux X <sup>e</sup> et XI <sup>e</sup> siècles, (d'après Chatellier, 1883 cité par Lethielleux, 1984).	21
10.	La répartition actuelle des palmeraies de la cuvette de Ouargla, (d'après Bonnard & Gardel, 2003).	22
11.	Taux de colmatage du réseau (d'après Bonnard & Gardel, 2001).	25
12.	Pente des collecteurs (d'après Bonnard & Gardel, 2001).	26
13.	Etat de l'écoulement dans les collecteurs (d'après Bonnard & Gardel, 2001).	26
14.	Longueurs de canalisation selon le type de matériaux (d'après Bonnard & Gardel, 2001).	27
15.	Position des regards par rapport au terrain naturel (d'après Bonnard & Gardel, 2001).	27
16.	L'ensemble des points de rejets des eaux usées de la cuvette de Ouargla.	34
17.	Implantation des stations de la Douane et de la STEP.	36
18.	Implantation des stations de Saïd Otba et de Beni Ouagguine.	36
19.	Localisation des points de rejet des eaux usées.	44
20.	Situation de point de rejet de Ain Bieda (R1).	45
21.	Situation de point de rejet de Chott (R2).	45
22.	Situation de point de rejet de Oum Raneb (R3).	45
23.	Représentation de la composition chimique des eaux des rejets de la région de Ouargla dans le diagramme de Piper.	53
24.	Représentation de la composition chimique des eaux de la nappe phréatique de la région de Ouargla dans le diagramme de Piper.	58
25.	Diagramme logarithmique de Schoëller pour les eaux usées.	59
26.	Diagramme logarithmique de Schoëller pour les eaux de la nappe phréatique.	59

27.	Evolution spatio-temporelle des anions dans les eaux usées.	61
28.	Evolution spatio-temporelle des cations dans les eaux usées.	62
29.	Classification des eaux de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla dans le diagramme de l'USSL modifié par Durand (1958,1983).	64
30.	L'évaluation spatio-temporelle de la matière en suspension des eaux usées (a) et les eaux de la nappe phréatique (b).	65
31.	L'évaluation spatio-temporelle de la turbidité des eaux usées et les eaux (a) de la nappe phréatique (b).	66
32.	L'évaluation spatio-temporelle de carbone organique total des eaux usées (a) et de la nappe phréatique (b).	69
33.	L'évaluation spatio-temporelle de l'azote ammoniacal des eaux usées (a) et de la nappe phréatique (b).	70
34.	L'évaluation spatio-temporelle de nitrate des eaux usées (a) et de la nappe phréatique (b).	71
35.	L'évaluation spatio-temporelle de nitrite des eaux usées (a) et de la nappe phréatique (b).	72
36.	L'évaluation spatio-temporelle de nitrite des eaux usées (a) et de la nappe phréatique (b).	73
37.	Relation entre les indicateurs de pollution dans les eaux usées et la nappe phréatique.	79



## Liste de tableaux

<i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
I	: Données climatiques de la région de Ouargla (1990- 2004).	8
II	: Débits exploités et exploitables à partir des nappes du Complexe Terminal dans la wilaya de Ouargla ( $l.s^{-1}$ ) (Nesson, 1978; Dubost, 1992; Idder, 1998; Hamdi-Aissa, 2001).	15
III	: Niveau de la nappe phréatique par rapport a la surface du sol dans la cuvette de Ouargla (m).	16
IV	: La répartition des longueurs des collecteurs par diamètre et matériau (Bonnard & Gardel, 2001).	24
V	: Débits estimés de drainage par secteur dans la palmeraie de Ouargla.	32
VI	: Le nombre d'habitants pour chaque ensemble.	35
VII	: Calcul des débits estimés des eaux usées.	35
VIII	: Les volumes journaliers rejetés ( $m^3$ ).	37
IX	: Différents débits de chaque ensemble.	37
X	: Evaluation spatio-temporelle de valeurs de la température, du pH et de la conductivité électrique des eaux résiduaires et les eaux de la nappe phréatique.	52
XI	: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 12/01/2005.	54
XII	: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 17/02/2005.	54
XIII	: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 18/03/2005.	55
XIV	: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 01/04/2005.	55
XV	: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 29/04/2005.	56
XVI	: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 26/05/2005.	56
XVII	: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 24/06/2005.	57
XVIII	: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 21/07/2005.	57
XIX	: L'évaluation spatio-temporelle de matières en suspension des eaux usées et la nappe phréatique.	64
XX	: L'évaluation spatio-temporelle de la turbidité des eaux usées et la nappe phréatique.	66
XXI	: Variations spatio-temporelles de la $DBO_5$ , la DCO dans les eaux usées.	67
XXII	: L'évaluation spatio-temporelle de carbone organique total des eaux usées et la nappe phréatique.	68

XXIII	: Concentrations des métaux lourds dans les eaux usées et la nappe phréatique.	74
XXIV	: Concentrations moyennes des indicateurs fécaux (NPP/ 100 ml) et des salmonelles dans les eaux usées.	76
XXV	: Concentrations moyennes des indicateurs fécaux (NPP/ 100 ml) et des salmonelles dans la nappe phréatique.	76
XXVI	: Le flux de pollution journalier des eaux usées.	79

## Liste des abréviations

- C.E.E : Direction du conseil des communautés européennes.  
CT : Complexe terminal.  
CI : Continental intercalaire.  
COT : Carbone Organique Total.  
DBO<sub>5</sub> : Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours.  
DCO : Demande Chimique en Oxygène.  
DHW : Direction d'hydraulique de la Wilaya.  
MES : Matières en suspension.  
Q : débit.

# *Introduction*

De toutes les nuisances à l'environnement, la pollution des eaux est non seulement celle qui a été la plus étudiée mais aussi celle dont on connaît le mieux la nature des constituants et leurs effets. Il n'empêche, et cela peut paraître paradoxal, que c'est celle même qui cause le plus de dégâts à l'environnement. Ce qui la différencie de la pollution atmosphérique, par exemple, et la rend plus complexe, c'est qu'un certain nombre de polluants sont solubles dans l'eau ou y restent en suspension, pouvant ainsi être transportés loin des sources d'émission (Ramade, 1995). Ceci est aggravé par le fait que l'eau reste, comparativement à l'air, assez pauvre en oxygène (Kebiche, 1998).

Cette pollution affecte aussi bien les pays industrialisés que ceux en voie de développement. Le problème est particulièrement grave pour les pays dont le climat est aride. En raison d'un déficit hydrique prononcé, la concentration des polluants dans l'eau demeure élevée alors que leur capacité de recyclage est très faible.

Pour évaluer le degré de pollution des eaux, notre travail s'est orienté vers une oasis particulière du Sahara septentrional c'est l'oasis de Ouargla. Elle correspond à une grande dépression qui s'étend sur la basse vallée fossile de l'Oued Mya, qui drainait le versant nord du plateau de Tadmait et se termine à sebkhat Safioune (40 Km au Nord de Ouargla). Ce grand oued Quaternaire ne coule pas actuellement, quoique des eaux peu profondes étaient exploitées localement dès le VIII<sup>ème</sup> siècle sous forme de sources (Rouvillois-Brigol, 1975).

Bien que les conditions climatiques soient sévères dans la zone d'étude, il existe un immense réservoir souterrain, considéré jadis comme inépuisable. Les prospections ont montré que les bassins sédimentaires du Bas-Sahara recèlent deux aquifères d'une puissance considérable, appelés Complexe Terminal (CT) et Continental Intercalaire (CI). La nappe de Complexe Terminal s'étend sur 350000 km<sup>2</sup> et celle du Continental Intercalaire sur 600000 km<sup>2</sup>. Le volume de cette dernière a été évalué à 60 000 milliards de m<sup>3</sup> (UNESCO, 1972).

La multiplication des forages, l'exploitation irrationnelle de ces eaux, associée à des conditions naturelles particulièrement défavorables ont contribué à faire de Ouargla un vaste "marais salé". L'oasis connaît donc un grave problème d'excédents hydriques, causé par les rejets d'eaux de drainage et d'eaux résiduaires urbaines.

L'évacuation de ces eaux se heurte au problème de l'absence d'un réseau hydrographique suffisamment important, susceptible de servir d'exutoire. Les eaux sont rejetées à même le sol, causant ainsi la remontée de la nappe superficielle et l'apparition de conditions d'insalubrité.

Partant de ces constats, ce travail constitue une contribution à l'étude de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux usées d'origine urbaine et agricole de l'agglomération de Ouargla et les conséquences sur la nappe phréatique de la basse Vallée de l'Oued Mya.

Pour réaliser ce travail, plusieurs visites de prospection sur le site d'étude ont été nécessaires pour acquérir une connaissance approfondie du cadre naturel, et pour effectuer les prélèvements d'échantillons pour l'analyse.

En se basant sur, l'examen des conditions naturelles (chapitre I), qualité de la gestion des ressources hydriques dans l'usage urbain et agricole (chapitre II), évaluation de la quantité de ces excédents (chapitre III), ce mémoire s'articule sur l'hydrochimie et la bactériologie des eaux usées et les eaux de la nappe phréatique (chapitre IV) et comporte :

- L'étude des caractéristiques physicochimiques des eaux usées déversées et les eaux de la nappe phréatique;
- La variation spatio-temporelle de la composition des eaux usées et les eaux de la nappe phréatique;
- La détermination des indicateurs de pollution;
- La relation entre les indicateurs de pollution dans les eaux usées et la nappe phréatique;
- Le flux de pollution journalier des eaux usées.

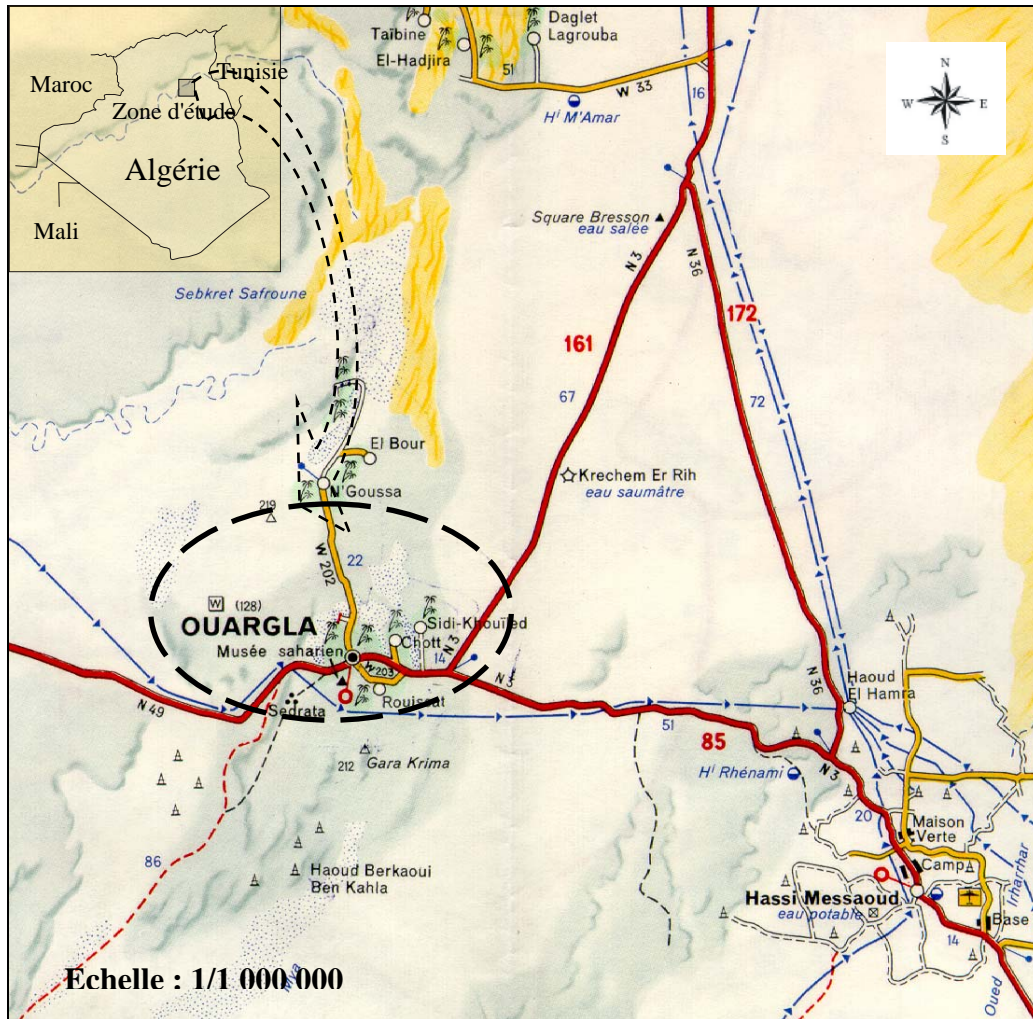
Notons qu'une contribution à l'évaluation des degrés de contamination de la nappe par ces eaux usées, et entreprise dans ce travail ponctué par une conclusion générale.

# **Chapitre I**

## *Présentation de la région d'étude*

## 1.1- Localisation géographique

Notre zone d'étude est située dans la wilaya de Ouargla, l'une des principales oasis du Sahara algérien. Elle est située au Sud-est de l'Algérie à une distance de 800 km de la capitale. Elle occupe une superficie de 163 238 km<sup>2</sup>, et limitée au Nord-est par la wilaya d'El Oued, Nord-ouest par la wilaya de Djelfa, au Sud-est par la wilaya d'Illizi et à l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa. Ses coordonnées géographiques sont : les longitudes 5°15' et 5°25' Est et les latitudes 31°55' et 32°00' Nord (figure. 1) (Rouillois-Brigol, 1975; ANAT, 1995).



### Légende :




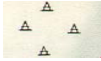

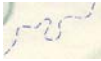


	Plateau		Dunes de sable
	Sebkha et Chott		Champs de pétrole ou de gaz
	Palmeraie		Lit d'oued
	Route principale		Oléoduc, gazoduc

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.



## 1.2- Géologie

La géologie de la région (figure 2) se caractérise par des formations sédimentaires qui, avec les temps, se sont accumulées dans la cuvette, notamment le continental intercalaire qui est constitué d'une série gréseuse dont l'épaisseur atteint 2000 m. Cette série détritique forme un important aquifère de 400 m d'épaisseur, reposant sur un substratum correspondant à la série imperméable du cénonanien anhydrique et argileux (Dutil, 1971).

Les crétacés moyen et supérieur se caractérisent par la mise en place des marnes-calcaires au cénonanien et des calcaires fissurés au turonien. Ce dernier constitue un aquifère (Dutil, 1971). Ces deux couches jouent un rôle fondamental dans le paysage morphologique de la région.

La superposition de la couche résistante, calcaire du turonien, sur les assises tendres du cénonanien donne des formes plus rigoureuses aux extrémités du plateau (Aumassip et *al.*, 1972).

Au tertiaire, la mer se retirant définitivement a laissé des bras de mer, lagune et lacs (Dutil, 1971).

Le mio-pliocène repose, quant à lui, en discordance sur le sénonien. Il est constitué d'une alternance d'argiles et de sables où l'on constate deux niveaux perméables séparés par une couche d'argiles.

Le quaternaire se caractérise par des affleurements d'alluvions récents et des dépôts sableux (Aumassip et *al.*, 1972).

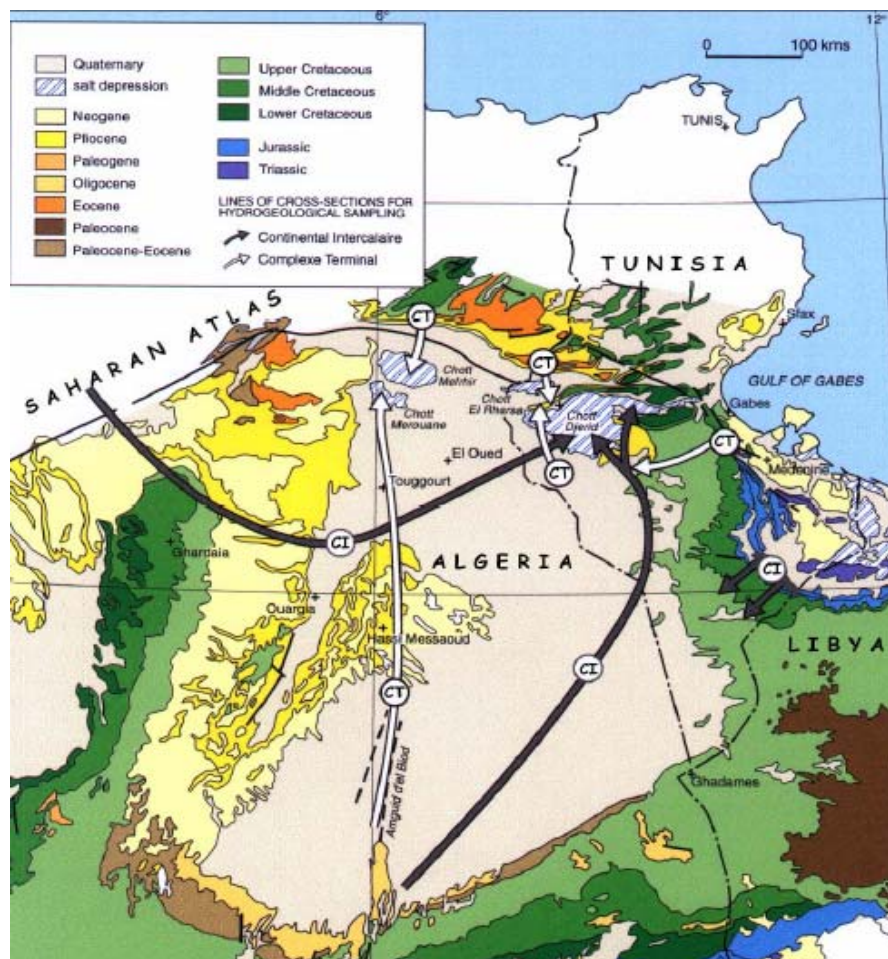


Figure 2: Carte géologique du grand erg oriental, (d'après Guendouz et *al.*, 2003).

### **1.3- Relief**

#### **1.3.1- Plateau**

Il domine la région de Ouargla à l'Ouest et dans lequel s'emboîtent les terrains quaternaires. Ce plateau de "gantra" est constitué de sables siliceux rougeâtres plus ou moins cimentés par du calcaire suivant les niveaux et selon les lieux, présentant parfois des stratifications entrecroisées, riches en bâtonnets gréseux ou gypseux et entrecoupés de concrétions gréseuses ou de bancs de poupees gréso-calcaires (Aumassip et *al.*, 1972)

La surface est plate et monotone, accidentée seulement de haouds (dépressions fermées aux bords abrupts dont les formes et les orientations sont diverses) parfois grossièrement circulaires. La dépression de Hassi-Mellala, est la plus grande et la plus profonde (30 km de long, de 6 à 11 km de large, 80 à 90 m de profondeur). Elle s'étend parallèlement à la vallée de l'Oued Mya. (Boyé et *al.*, 1969; Aumassip et *al.*, 1972; Rouvilois-Brigol, 1975).

#### **1.3.2- Glacis**

Sur le versant Ouest de la cuvette de Ouargla s'étagent des glacis caractéristiques, du plus ancien au plus récent, d'Ouest en Est sur quatre niveaux de 200 à 140 m. Les glacis de 180 et de 160 m très visibles se caractérisent par l'affleurement du substrat gréseux du Mio-Pliocène. La pente de ce substrat est faible, et souvent recouverte de sables et de graviers. L'Est de Ouargla est un vaste glacis alluvial, de 150 m d'altitude à sable grossier (Hamdi-Aïssa et *al.*, 2000).

#### **1.3.3- Chotts et Sebkhas**

Lorsque les eaux s'évaporent sous l'effet de la chaleur, des plaques de sels divers se déposent en surface formant suivant l'origine de leurs eaux (phréatiques ou superficielles) les chotts et les sebkhas (Dutil, 1971; Monod, 1992; Lezine, 1993; Briere, 2000).

Le niveau le plus bas de la vallée de l'oued Mya est un très vaste glacis, il constitue un chott dans lequel s'encaisse l'immense sebkha de Ouargla en forme de croissant qui entoure la ville. C'est sur le chott que sont implantées les principales oasis de Ouargla.

La pente Sud Nord de la vallée est légèrement inférieure à 150 m d'altitude aux ruines à Sedrata de 136 à 131 m dans la sebkha de Ouargla. Elle s'accentue légèrement en aval de Ouargla où les sebkhas (Oum Raneb, Nakhlet en-Nous, el-Mergueb et Safioune) (103 m) alternent avec les massifs dunaires (Touil, Arifdji, Bou-Khezana, ...etc).

## 1.4- Contexte climatique

### 1.4.1- Climatologie

Tableau I : Données climatiques de la région de Ouargla (1990- 2004).

Paramètre Mois	Température			Précipitation (mm)	Insolation (heure)	Humidité (%)	Evaporation (mm)	Vent (m.s <sup>-1</sup> )
	T <sub>min</sub> °C	T <sub>max</sub> °C	T <sub>moy</sub> °C					
janvier	4,95	18,55	11,75	18,29	210,33	62,97	112,07	2,79
Février	6,41	21,14	13,77	5,78	214,88	55,47	143,67	3,01
Mars	11,42	26,24	18,83	10,08	240,24	46,37	184,73	3,95
Avril	15,06	29,17	22,12	3,93	275,73	39,13	231,53	4,56
Mai	19,68	34,21	26,95	2,47	300,58	34,3	263,8	4,83
Juin	24,83	39,97	32,4	0,25	304,12	27,97	343,53	4,77
Juillet	28,02	43,5	35,76	0,1	337,61	28,33	382,6	4,45
Août	27,66	42,44	35,05	1,05	313,48	29,17	374,93	3,91
Septembre	23,5	37,28	30,39	3,44	262,21	36,97	275,36	3,94
Octobre	18,51	33,13	25,82	8,52	220,97	47,5	215,2	3,55
Novembre	10,48	23,22	16,85	6,85	208,09	59,33	139,6	2,78
Décembre	6,35	19,01	12,68	4,17	141,94	61,83	187,43	2,77
Moyenne	16,41	30,66	23,53	64,94*	252,52	44,11	2854,46*	3,78

(O.N.M. Ouargla, 2005)

\* Cumulé annuel

#### 1.4.1.1- Précipitations

Les précipitations sont très faibles et irrégulières, la moyenne annuelle est de 64,94 mm/an (Tableau I). Elles se produisent essentiellement en hiver et en automne après une période sèche généralement entre avril et octobre.

Cette insuffisance de pluies est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité interannuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse (Ozenda, 1983).

#### 1.4.1.2- Températures

La température moyenne annuelle est de 23,53 °C, avec un maximum en août de 34,88 °C (maxima moyen 43,50 °C), et un minimum en janvier de 4,95 °C (minima moyen 4,52 °C) (Tableau I).

#### 1.4.1.3- Vents

Selon le tableau I, nous remarquons que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période allant de avril jusqu'en juillet, avec un maximum de 4,83 m.s<sup>-1</sup> durant le mois de mai. La direction dominante des vents selon Dubief (1963), est le Nord ouest.

#### 1.4.1.4- Evaporation potentielle (ETP)

L'évaporation est très importante, la moyenne annuelle est de 2854,46 mm. Le maximum est atteint en période de juin, juillet et août avec une moyenne de 367,02 mm. Les minima sont enregistrés durant le mois de janvier (112,07 mm) (Tableau I).

#### 1.4.1.5- Humidité de l'air

L'humidité de l'air est très faible. La moyenne annuelle est de 44,11 % (Tableau I). Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année.

En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 27,97 % au mois de juin, sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds; alors qu'en hiver elle s'élève et atteint une moyenne maximale de 62,97 % au mois de janvier (Tableau I).

#### 1.4.1.6- Insolation

A cause de la faible nébulosité de l'atmosphère, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui à un effet desséchant en augmentant la température (Ozenda, 1983)

Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara et varient assez notablement d'une année à l'autre et même suivant les périodes de l'année envisagées (Dubief, 1963). La durée moyenne d'insolation est d'environ 235,07 heures, avec un maximum de 337,61 heures en juillet et un minimum de 210,33 heures en janvier (Tableau I).

#### 1.4.2-Synthèse climatique

Une caractérisation globale du climat peut être réalisée par l'emploi d'indices ou des diagrammes climatiques. Pour caractériser le climat de Ouargla, nous utiliserons les indices de Demartonne et d'Emberger, ainsi que le diagramme Ombrothermique de Gaussen.

Le diagramme Ombrothermique de Gaussen (figure 3) montrent que la durée de la saison sèche est de 12 mois (sécheresse permanente).

Pour classer le bioclimat, nous avons utilisé le quotient pluviométrique d'Emberger spécifique au climat méditerranéen (Claudin et al., 1979). Dont la formule est :

$$Q_2 = 2000 P / M^2 - m^2$$

Et de fait que M et m, les températures maxima et minima exprimées en degrés absolus (°K), Stewart (1969) cité par LE Houerou (1995) a montré que pour l'Algérie et le Maroc la dernière formule pouvait être simplifiée pour s'écrire:

$$Q_3 = 3,43P / M - m$$

*P* : Pluviosité moyenne annuelle en mm.

*M* : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud en °C.

*m* : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid en °C.

Pour la station de Ouargla et pour la période 1994- 2002,  $Q_3 = 5,77$ . Donc le bioclimat est type hyper aride (saharien) à hivers doux (figure 4).

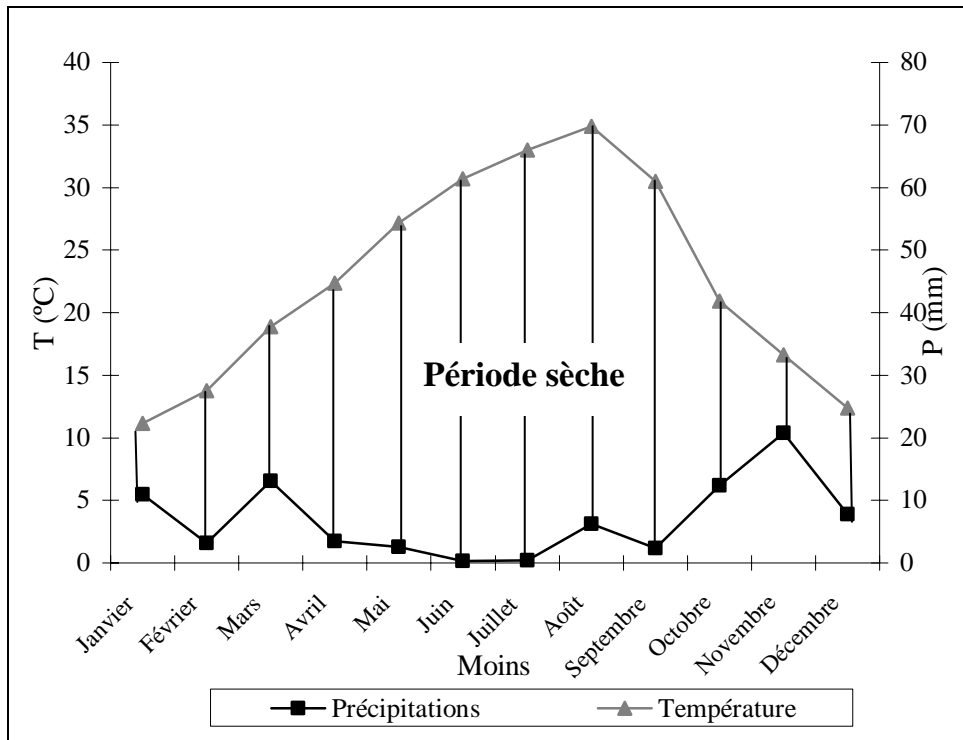


Figure 3: Diagramme Ombrothermique de la région de Ouargla (1990- 2004).

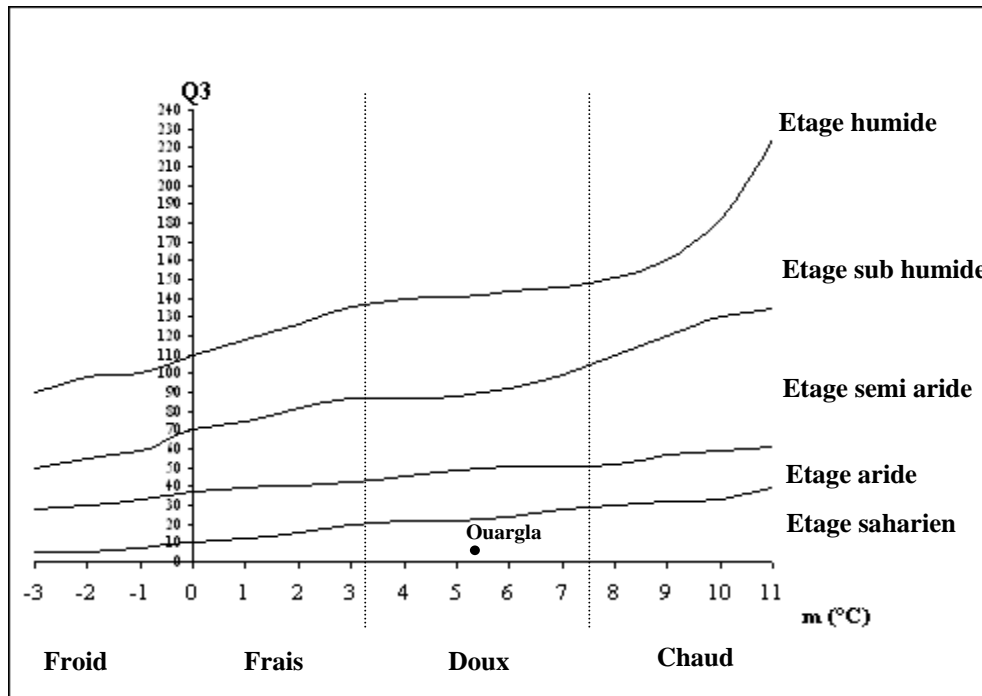


Figure 4: Climagramme d'Emberger pour la région de Ouargla.

## 1.5- Réseaux hydrographiques

L'hydrographie de la cuvette de Ouargla se caractérise par son endoréisme (Dubief, 1953). Le réseau hydrographique traversant la région est composé des oueds suivants:

- Au Nord-ouest : Oued N'sa qui selon les fréquences peut présenter des crues considérables. Le bassin versant de oued N'sa couvre une superficie de 7800 Km<sup>2</sup>, il reçoit divers affluents dont les plus importants sont le Ballouh et le Soudou qui arrosent l'oasis de Beriane (Dubief, 1953; ANAT, 1995; Dubost, 2002).

- Au Sud : Oued Mya draine la partie orientale du plateau de Tadmaït (Medinger, 1961; Dubief, 1953). Le bassin de l'oued Mya est en forme d'une vaste gouttière relevée du Sud (800 m) avec une inclinaison très faible (0,1 à 0,2 %) vers le Nord-est. Il s'étend sur 19 800 km<sup>2</sup>, le cours fossile de l'oued Mya inférieur est jalonné par de vastes sebkhas jusqu'à Ouargla, distant de 200 km environ du point externe atteint par les dernières crues. Si l'on admet cependant que l'oued Mya quaternaire se jetait dans le chott Melrhir actuel, sa longueur devrait atteindre 900 km (Dubief, 1953).

- A l'Ouest : Oued M'Zab, dont la superficie du bassin est d'environ 5000 km<sup>2</sup>, prend la direction Ouest-est sur une distance de 350 Km de la région de Batna Rouilla à une altitude de 750 m jusqu'à Sebkhet Safioune d'une altitude de 104 m. Les crues peuvent atteindre Sebkhet Safioune (Dubief, 1953).

- A l'Ouest : Oued Metlili et oued El Menia, dont le cheminement des eaux se fait par infiltration vers la cuvette durant les périodes de crues. Le bassin de Metlili, limite de l'oasis du même nom ne dépasse pas 400 km<sup>2</sup> (Dubost, 2002). D'une longueur totale de 210 Km, l'oued Metlili est barré à 134 Km de son origine par le cordon du naire de l'Erg Rhanem où plus en aval une grande partie des eaux de ruissellement est absorbée (Cornet, 1961; UNESCO, 1972).

## 1.6- Hydrogéologie

A Ouargla, comme dans la plupart des oasis du Sahara, les seules ressources hydriques disponibles sont d'origine souterraine. Les formations géologiques de la région de Ouargla contiennent deux grands ensembles de formations aquifères séparés par d'épaisses séries évaporitiques ou argileuses: de la base du crétacé supérieur l'ensemble inférieur appelé le Continental Intercalaire (CI) ou "Albien", et l'ensemble supérieur appelée le Complexe Terminal (CT). Une troisième formation, d'importance plus modeste, s'ajoute aux deux précédentes: la nappe phréatique (Cornet, 1961).

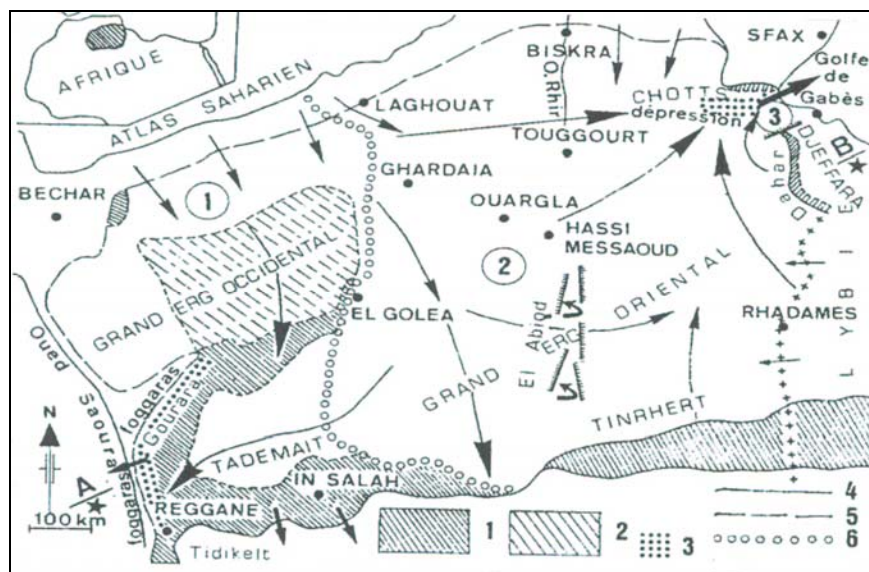
### 1.6.1- Nappe du Continental Intercalaire "Albien"

La nappe du Continental Intercalaire est contenue dans les formations continentales du crétacé inférieur (Barrémien et Albien) (Cornet et Gouscov, 1952). Elle s'étend sur tout le bassin sédimentaire du Sahara septentrional, sur plus de 600 000 km<sup>2</sup>, de la vallée de l'oued Saoura à l'Ouest, aux territoires tunisien et libyen à l'Est (Cornet et Gouscov 1952; Castany, 1982). Cet aquifère est contenu dans les formations sablo-gréseuses et argilo-sableuses, et compri entre le trias et le crétacé inférieur. Il porte souvent, de

manière restrictive, le nom de nappe de l'Albien en référence à son étage supérieur, car les premiers jaillissements d'eau obtenus en provenance de cet aquifère ont été attribués aux grès de l'Albien.

La carte des conditions aux limites en 1970 pour les besoins de l'étude de l'UNESCO (1972), montre que la nappe est alimentée à la périphérie du domaine par les eaux de ruissellement venant de l'Atlas saharien (figure 5), de Tinrhert ... etc., mais également par les pluies exceptionnelles qui s'infiltrent à travers le Grand Erg Occidental.

L'exutoire principal de l'aquifère est situé au niveau du golfe de Gabès. Les autres exutoires sont constitués par les foggaras, ainsi que par les percolations verticales à travers la faille d'Amguid El Biod et les chotts de Djerid et Fedjej (figure 6). A ces différents exutoires s'ajoutent les prélèvements effectués par forages (Cornet, 1961; UNESCO, 1972; Castany, 1982; Margat, 1990-1992; BRL-BNEDER, 1999).



1. Affleurement du Continental Intercalaire; 2. Affleurement sous Grand Erg occidental (drainance); 3. Limite du bassin hydrogéologique; 4. Ligne de partage des eaux; 5. Direction de l'écoulement souterrain; 6. Exutoires principaux.  
 ① sous bassin occidental; ② sous bassin oriental; ③ sous bassin de la Djiffara.

Figure 5: Limites de l'aquifère du Continental Intercalaire, (d'après Castany, 1982).

Le premier forage à l'Albien exécuté à Ouargla remonte à l'année 1957 creusé à El Hadeb à l'Est de la région, à une profondeur de 1343 m, la température est de 51 °C, avec un débit aux essais de 330 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, mais il est aujourd'hui inexploitable (Guerre, 1975).

Actuellement il existe, dans l'ensemble de la wilaya de Ouargla, 87 forages du Continental Intercalaire, dont 53 forages sont en production (DPAT, 2005). Ils sont essentiellement utilisés pour l'irrigation, mais aussi pour couvrir les besoins domestiques et industriels. La demande en eau industrielle est cependant faible, étant donné qu'il n'existe pas d'unités industrielles importantes nécessitant une grande consommation d'eau.

Pour les besoins de la modélisation, un historique de l'exploitation de la nappe a été établi. Cet historique qui couvre la période 1957-1998 est basé sur les données UNESCO, les fichiers de l'ANRH et l'étude du BRL-BNEDER (1999) (figure 6).

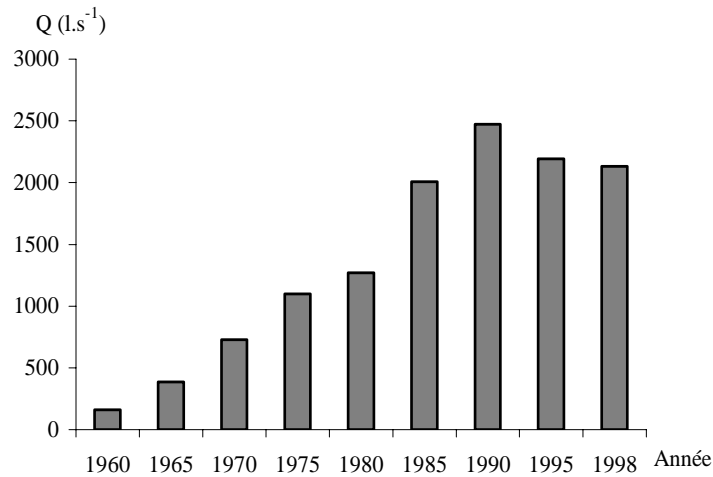


Figure 6: Historique des prélèvements de Continental Intercalaire à Ouargla, (d'après BRL-BNEDER 1999).

D'après la figure, il est cependant important de constater, que dans les prochaines décennies, la diminution de la réserve de l'aquifère sera d'une conséquence plus importante.

### 1.6.2- Complexe Terminal (CT)

Ce complexe s'étend sur une superficie d'environ 350 000 km<sup>2</sup> (Castany, 1982). Dans le bassin occidental, il se confond avec le Complexe Intercalaire sous le grand erg occidental, alors que dans le bassin oriental, il forme un aquifère nettement distinct.

Le Complexe Terminal regroupe des formations aquifères contenues dans les horizons perméables du Crétacé supérieur et du Tertiaire.

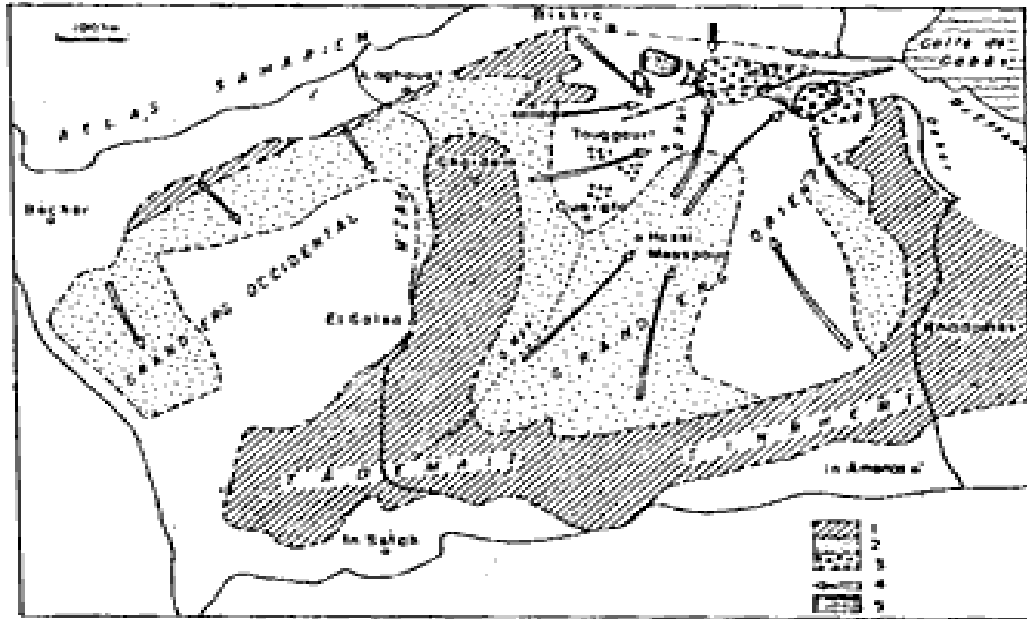
Sur le territoire algérien, il existe en effet deux formations aquifères distinctes dans ce Complexe Terminal. La première est contenue dans les sables du Mio-Pliocène, tandis que la seconde se trouve dans le Sénonien supérieur et l'Eocène inférieur (Sénonien pour Ouargla principalement).

L'écoulement de ces deux aquifères s'effectue du Sud-ouest vers le Nord-est.

Les nappes du Complexe Terminal sont essentiellement alimentées par les eaux de ruissellement qui proviennent des reliefs de la périphérie du bassin, ainsi que par les infiltrations qui s'effectuent à travers le Grand Erg Oriental (figure 7).

Les principaux exutoires sont situés au niveau des chotts (figure 7), où les nappes sont artésiennes sous couverture semi-perméable peu épaisse. Les sources constituent également un autre exutoire. La plupart d'entre elles ont aujourd'hui disparu à cause de la baisse du niveau des nappes, et les seules qui subsistent, se localisent dans les chotts.





1. Affleurement de crétacé et de l'Eocène; 2. Cretace supérieur ou Mio-Pliocène sous recouvrement perméable; 3. Zone de percolation verticale de la cuvette d'évaporation; 4. Directions d'écoulement souterrain; 5. Chott.

Figure 7: Limites de l'aquifère du Complexe Terminal (CT), (d'après Castany, 1982).

L'exploitation de la nappe du Mio-Pliocène à Ouargla, remonte à un passé déjà lointain (Moulias, 1927). Cette nappe a acquis une réputation légendaire, puisqu'elle a été à l'origine de la création de l'oasis et a permis sa prospérité.

Au dixième siècle, période où l'oasis a connu l'apogée de sa splendeur, toutes les eaux étaient jaillissantes (Planchet, 1900). En 1888, le débit total dont disposait la région de Ouargla (débit artésien et débit pompé) était d'environ  $460 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . A cette période, la plupart des puits étaient encore jaillissants et leur niveau hydrostatique se situait à plus de 5 m au dessus du niveau du sol (Bel, 1969).

L'exploitation de la nappe du Sénonien est en revanche beaucoup plus récente, puisqu'elle remonte seulement à 1953.

La multiplication importante des forages a permis une augmentation très sensible des débits disponibles qui ont atteint  $685 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  en 1967 pour la nappe du Mio-Pliocène, les débits des forages Sénonien étant négligeables. Cet accroissement a, en revanche, provoqué l'abaissement des niveaux piézométriques: la nappe du Mio-Pliocène est devenue seulement ascendante (Nesson, 1978).

Actuellement, il existe à Ouargla 114 forages du Complexe Terminal sur un ensemble de 657 forages pour l'ensemble de la wilaya. Comme pour la nappe du Continental Intercalaire, ces forages sont essentiellement utilisés pour couvrir les besoins domestiques et agricoles. Les débits exploités et exploitables à partir des nappes du Complexe Terminal dans la wilaya de Ouargla sont présentés dans le tableau II.

Tableau II: Débits exploités et exploitables à partir des nappes du Complexe Terminal dans la wilaya de Ouargla ( $l.s^{-1}$ ) (Nesson, 1978; Dubost, 1992; Idder, 1998; Hamdi-Aïssa, 2001).

Année	Débit exploité en ( $l.s^{-1}$ )
1888	467
1967	702
1991	3450
1994	14 244.5
2004	535680

En 2004, les débits exploités, dans la wilaya de Ouargla, à partir des deux aquifères du Complexe Terminal ( $53,6 m^3.s^{-1}$ ) seront plus de 4 fois plus importants que ceux qui étaient exploités, en 1970, dans toutes les régions du bas Sahara ( $12,6 m^3.s^{-1}$ ) (UNESCO, 1972).

### 1.6.3- Nappe superficielle (nappe phréatique)

Cette nappe est contenue dans les alluvions de la vallée de l'oued Mya. Elle couvre pratiquement toute la cuvette de Ouargla. Les mesures les plus récentes (Guendouz et al., 1992, ANRH, 1994; Hamdi-Aïssa & Fedoroff, 1997; Hamdi-Aïssa et al., 2000), indiquent que le niveau piézométrique de la nappe est aujourd'hui situé entre 0,5 à 1 m dans les palmeraies limitrophes de la sebkha et inférieur à 0,5 m dans la sebkha jusqu'à l'affleurement au centre. Dans l'agglomération et dans les palmeraies, sa profondeur varie, en moyenne, entre 0,5 m et 1,5 m par rapport au niveau du sol, mais dans les zones les plus basses, elle se trouve pratiquement à fleur de sol. En bordure de la cuvette, on peut en revanche la rencontrer à des profondeurs plus importantes.

Le problème est souvent observé dans de nombreuses oasis du Bas Sahara et le cas limite est atteint à El Oued (Coté, 1998) où près de 100 000 palmiers sont détruits. En confrontant les données piézométriques disponibles sur les points d'échantillonnage (Lelièvre, 1969; Guendouz et al., 1992; ANRH, 1994; Hamdi-Aïssa et al., 2000) (tableau VI). On relève que la nappe phréatique monte inéluctablement. Et en considérant les données de Lelièvre (1969) il ressort qu'entre 1959 et 1996 le niveau de la nappe est monté d'environ 0,5 m.

Cette nappe est essentiellement alimentée, par les eaux de drainage de la palmeraie et par les eaux résiduaires urbaines.

Les études de Lelièvre (1969), de Nesson (1978) et de Guendouz et al. (1992) montrent d'une manière générale, comme d'ailleurs dans tout le Bas-Sahara que le sens de l'écoulement des eaux de la nappe phréatique suit celui de la nappe du Complexe Terminal, c'est-à-dire du Sud vers le Nord.

Cependant, la carte piézométrique établie à l'échelle de la cuvette piézométrique de Ouargla par l'ENAGEO (campagnes de mai 1991 et de février 1992) (Guendouz et *al.*, 1992) (figure 8), montre qu'il existe deux zones distinctes séparées par une ligne de partage des eaux au niveau du Hassi-Miloud et Bour El-Haïcha, ce qui se traduit par:

- un écoulement vers le Nord (Sebkas Safioune).
- un écoulement vers l'Ouest vers la sebkha de Ouargla.

Tableau III: Niveau de la nappe phréatique par rapport a la surface du sol dans la cuvette de Ouargla (m).

N° Piézomètre	Hiver 1968 Lelièvre (1969)	Mai-92 Gandouz et <i>al.</i> , (1992)	1994 ANRH	1995 ANRH	20/11/1996 ANRH	26/02/1996 Hamdi- Aïssa
PZ1	1,8	-	-	-	-	2
PZ13	3,2	-	-	-	-	1,35
PZ15	-	-	-	-	-	4,9
PZ25	-	-	-	-	-	5
PZ3	0,6	-	-	-	-	0,4
PZ33	2	-	-	1,93	-	1,5
PZ35	1	-	-	-	-	2
PZ6	1	-	-	-	-	0
PZ9	1,1	-	-	-	-	0,63
PZ100	7,7	-	4,19	4,29	-	-
PZ103	-	-	8,35	8,35	-	-
PZ104	0,7	0,36	0,59	-	-	0,67
PZ110	9,8	-	7,03	-	-	7,7
PZ113	-	-	3,33	3,28	-	-
PZ168	-	-	-	4,9	4,76	4,5
PZ63	-	2,29	1,93	1,8	-	1,85
PZ67	1,2	0,88	0,92	0,92	0,99	-
PZ84	1	2,3	1,96	1,75	2,11	-
PZ86	-	1,03	0,87	1,11	-	1
PZ88	0,9	-	0,81	0,84	0,96	0,95
PZ59	-	10,24	10,35	10,55	8,3	0,85

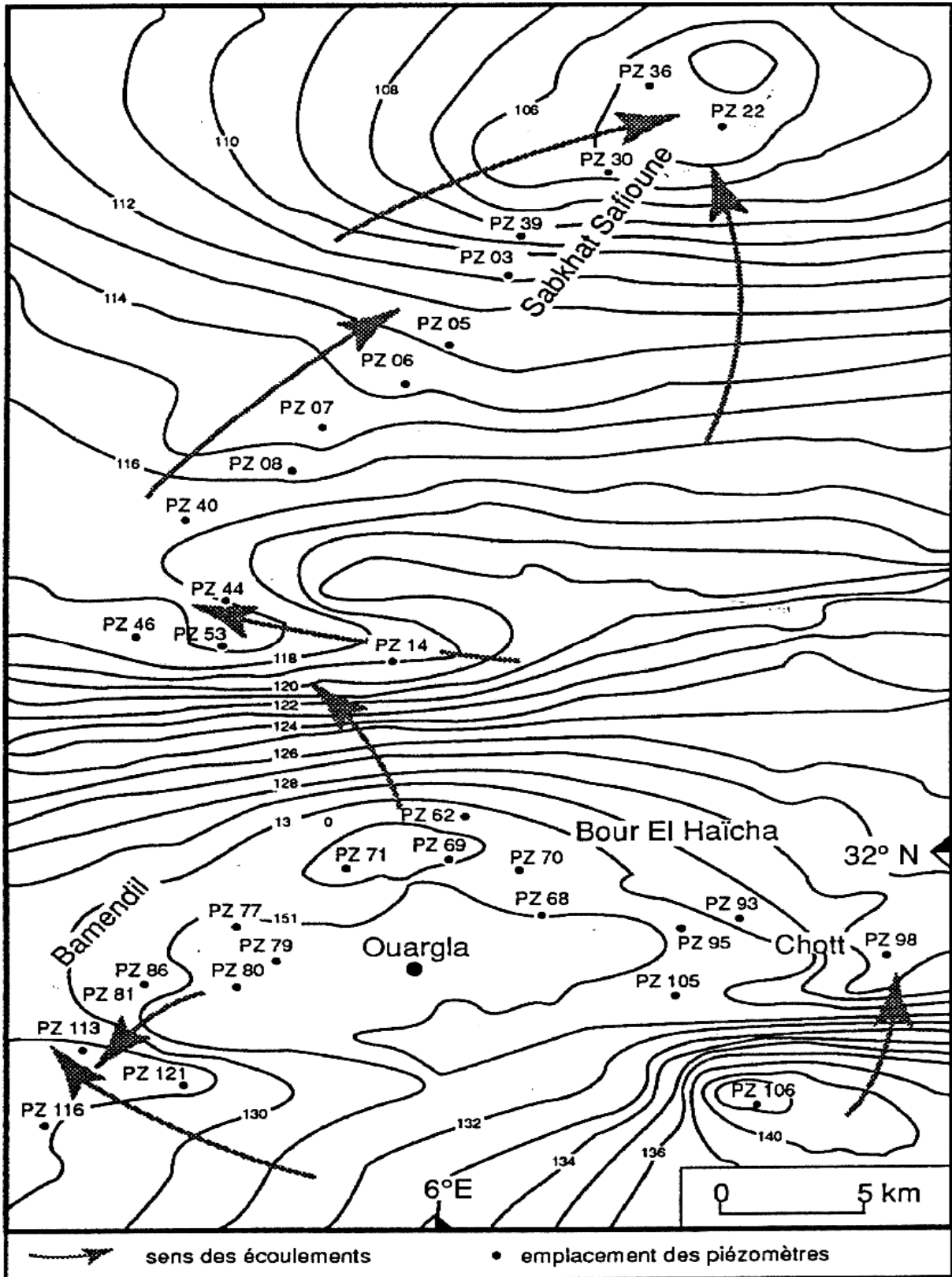


Figure 8: Carte isopiète de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla, (d'après l'ENAGEO cité par Guendouz et *al.*, 1992).

La ville de Ouargla, installée avec ces palmeraies au fond d'une cuvette en zone désertique, constitue un lieu idéal à l'accumulation et la stagnation des eaux.

Sous l'influence des conditions climatiques, caractérisées par une aridité extrême et une sécheresse permanente, et d'une nappe superficielle à faible profondeur, le milieu naturel évolue ainsi rapidement vers des conditions de salinité excessives.

La cuvette de Ouargla représente donc un contexte écologique particulièrement fragile, où la gestion des ressources hydriques doit être menée avec un maximum de soins.

## **Chapitre II**

*Eaux de rejets dans  
la ville de Ouargla*

La ville de Ouargla, comme certaines villes du Sahara algérien est affectée par le phénomène de la remontée de la nappe superficielle. Dans les points bas de la ville, des flaques d'eaux usées ont tendance à s'accumuler. Dans cette partie du travail nous mettrons en évidence l'origine de ces eaux rejetées.

## **2.1- Assainissement agricole**

### **2.1.1- Délimitation de la palmeraie**

Plus d'un millénaire que les palmeraies de la « Cuvette » existent grâce d'abord au fameux puits artésien d'Aïn Sfa de l'ancienne cité de Sédrata. Au cours de cette longue histoire ces palmeraies ont ruinées en un temps et agrandies dans d'autres au gré des vicissitudes de l'histoire. La figure n° 09 indique la situation de la palmeraie aux X<sup>e</sup> et XII<sup>e</sup> siècles.

La palmeraie de Ouargla a connu une extension maximum vers 1958 (année de la réalisation du premier forage Albien). Ce développement s'est poursuivi avec le début du pompage de la nappe Mio-pléocène en 1962. A cette date la surface moyenne de la palmeraie était estimée à 2321,04 ha environ. Toutefois les premiers travaux de drainage se situent entre 1949 et 1952. A partir de 1971 et suite à l'exode rurale et une démographie galopante urbaine (de la ville de Ouargla), les premiers signes de destruction de la palmeraie au profit de l'urbanisation ont fait leur apparition. L'un des faits marquant, est la réalisation de certains grands projets dans la palmeraie, à savoir le projet de l'hôpital Boudiaf, la construction du stade 24 février et l'apparition de quartiers résidentiels. Les cités de Gharbouz, de Gara Nord et les lotissements Saïd Otba occupent une superficie dépassant 180 ha. Ajoutons à ce phénomène, la saturation du chott; lieu de rejet de toutes les eaux de l'agglomération qui a provoqué la destruction d'une partie de la palmeraie vers le début des années quatre-vingt (Touil, 2003).

La figure n° 10 est une analyse de la palmeraie telle qu'elle apparaît aujourd'hui. On remarquera que la palmeraie a pratiquement disparu au Sud de Ouargla et s'est développé ou concentrée au Nord de la ville.

La surface totale de la palmeraie de la ville est de 232 104 ha. On signale une perte en surface d'environ 180 ha durant ces dernières décennies (Touil, 2003).

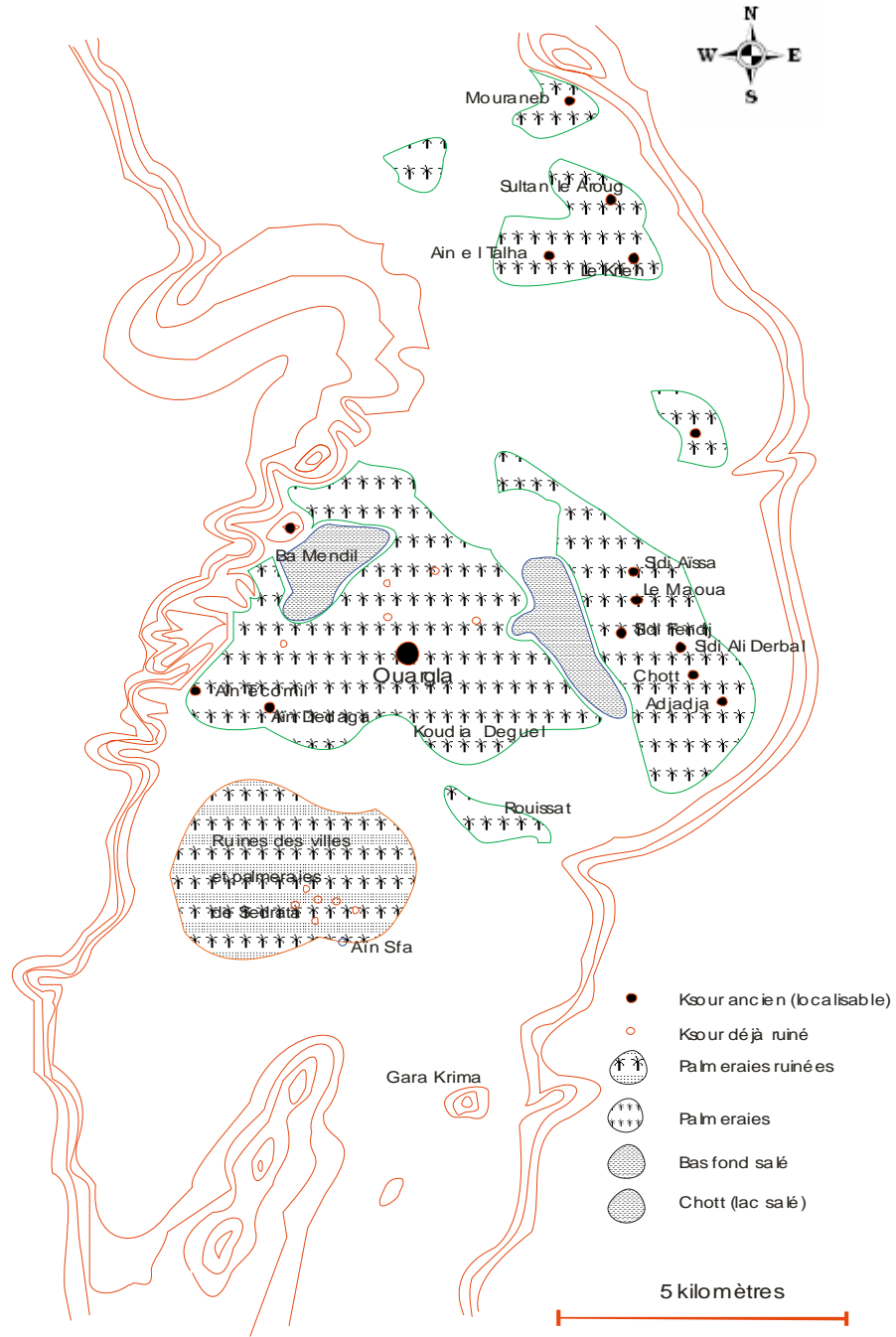


Figure 09: Les oasis de la cuvette de Ouargla aux X<sup>e</sup> et XI<sup>e</sup> siècles, (d'après Chatellier, 1883 cité par Lethielleux, 1984).



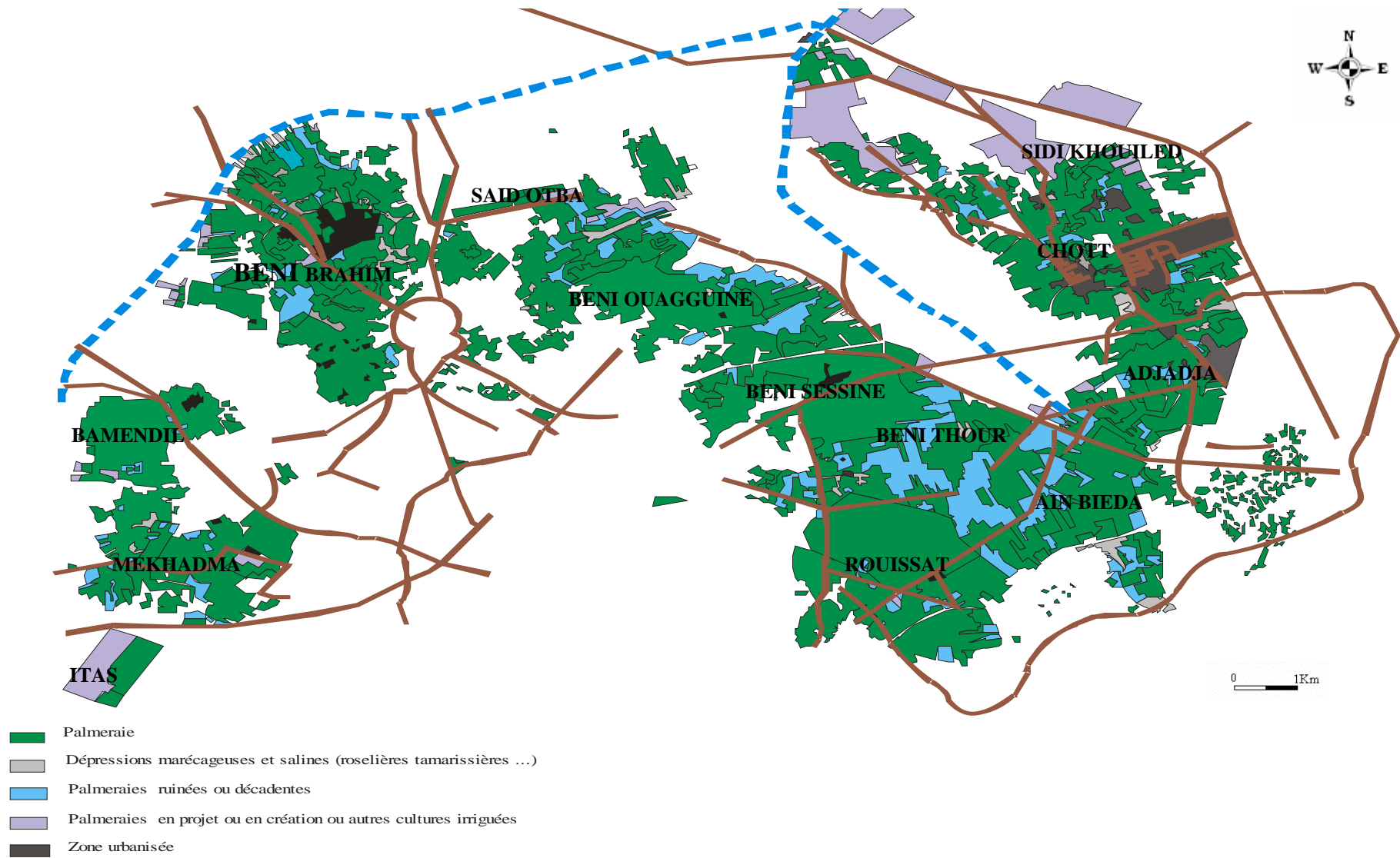


Figure 10: La répartition actuelle des palmeraies de la cuvette de Ouargla, (d'après Bonnard & Gardel, 2003).

### **2.1.2- Système du drainage de la palmeraie de la région de Ouargla**

Ce n'est qu'en 1949 qu'un effort systématique d'assainissement fut entrepris pour lutter contre le paludisme, il a été construit un véritable réseau de drains aboutissant dans le chott vers la zone déprimée du pied du baten (Dubost, 2002). En suite, en 1950 un premier réseau de drainage important fut réalisé à Beni Brahim, long de 2100 m et profond de 1,5 m drainant 200 ha (Rouvillois-Brigole, 1975).

Mais depuis 1958, le niveau de la nappe phréatique ne cesse d'augmenter à cause des débits d'irrigation qui augmentent brusquement ainsi que le développement de la ville et de l'évacuation d'eau urbaine (Rouvillois-Brigole, 1975).

Actuellement, le réseau de drainage s'étend sur une longueur totale d'environ 80 km (Bonnard & Gardel, 2001). Un canal collecteur à ciel ouvert, d'une longueur égale à 10,5 km traverse la sebkha de Bamendil ainsi que toute la partie Nord de Ouargla. Créant une ceinture de clôture à l'ancienne palmeraie de Ouargla, ce drain n'a pas été réalisé suivant les normes requises puisque l'étude propose une largeur de drain à 12 m et non pas à 6 m, comme c'est le cas actuellement.

### **2.1.3- Problèmes de la collecte des eaux de drainage**

Les difficultés de drainage constituent une des contraintes majeures des palmeraies de la région. L'étude menée ainsi que les observations faites sur l'état actuel des réseaux de drainage, montrent que la majeure partie des canaux sont inefficaces et à faibles capacités d'évacuation des eaux excédentaires de l'intérieur des palmeraies.

Dans les palmeraies, les drains, appelés Khandegs, quand ils existent, sont mal réalisés et leur hiérarchie est souvent aléatoire (de point de vue dimensionnement: écartements, profondeur et pente).

A cette mauvaise organisation, s'ajoute un manque flagrant d'entretien. Le réseau est totalement délaissé et livré à lui-même et les mauvaises herbes (dise, roseaux ....) ont proliféré, gênant ou obstruant parfois totalement, les écoulements. Dans beaucoup de parcelles, les drains secondaires n'aboutissent nulle part et se perdent au sein même des palmeraies où ils donnent naissance à des eaux stagnantes.

Les difficultés de drainage sont également dues à la position topographique qu'occupent certaines palmeraies par rapport aux sols de l'oasis. Les anciens agriculteurs Ouarglis, sont obligés d'installer dans les bas-fonds pour garder l'artésianisme. Ces jardins en bas-fond, n'ont pu être drainés convenablement et ont fini par s'engorger d'eau.

La mise en place du canal collecteur a effectivement permis une amélioration de la situation: un rabattement important de la nappe phréatique avoisinant ce drain a été obtenu autour des zones traversées par le canal, et la sebkha de Bamendil a été pratiquement asséchée. Mais, c'est la partie Est et Nord-est de la cuvette, recevant la quasi-totalité des eaux drainées, qui se trouve aujourd'hui totalement engorgée.

## 2.2- Assainissement urbain

### 2.2.1- Réseau d'assainissement

Le réseau d'assainissement urbain de la ville de Ouargla est de type unitaire. Il couvre actuellement les trois communes : Ouargla, Rouissat et Ain Beida. Il dispose de deux systèmes de raccordement d'égout d'une part et des dispositifs d'assainissement autonomes pour le reste des habitants d'autre part.

La proportion de raccordement au réseau public pour les trois communes concernées est répartie comme suite :

- 70 % pour Ouargla,
- 50 % pour Rouissat,
- 80 % pour Ain Beida (Bonnard & Gardel, 2001).

Le réseau d'assainissement de la ville s'étend sur une longueur de 120 km, dont les diamètres varient de 200 mm pour les canalisations secondaires à 1800 mm pour les collecteurs principaux (tableau IV)

Tableau IV: La répartition des longueurs des collecteurs par diamètre et matériau (Bonnard & Gardel, 2001).

Diamètre (mm) \ Types	CAO	PES	PVC	AC	Inconnu	Total
200	0	0	2 619	493	619	3 730
250	80	0	13 649	737	4 085	18 551
300	2 387	62	847	0	475	3 771
400	6 155	9 868	297	2 119	760	19 198
500	9 962	4 486	0	1 749	243	16 441
600	2 306	2 689	0	0	355	5 350
700	9 743	203	0	0	222	10 169
800	2 077	0	0	0	134	2 211
1100	1 341	0	0	0	0	1 341
1800	65	0	0	0	0	65
Total	34 116	17 309	17 412	5 098	6 894	80 828

Où:

- CAO : Conduite en béton armé;
- PES : Conduite fibre de verre;
- PVC : Conduite polyéthylène;
- AC : Conduite en amiante ciment.

Les contraintes topographiques rendent impossible la réalisation d'un réseau à écoulement gravitaire, puisque Ouargla se trouve dans une cuvette. Il a fallu donc mettre en place de nombreuses stations de relevage. Il existe 20 stations de pompage opérationnelles sur l'ensemble du réseau, dont 9 fonctionnent comme station de refoulement.

## 2.2.2- Diagnostic des installations d'assainissement urbain

Au terme du diagnostic des installations d'assainissement de l'agglomération on avait mis en évidence un certain nombre de carences et des dysfonctionnements importants qui sont rappelés ci- dessous :

### 2.2.2.1- Branchements au réseau d'égout

Il apparaît que seulement 67 % des habitations de l'agglomération sont raccordés au réseau. Les autres habitations disposent de systèmes d'assainissement autonome (Bonnard & Gardel, 2001).

### 2.2.2.2- Colmatage des collecteurs

Toutes situations confondues et tous diamètres pris en compte, on estime que le tonnage de matières actuellement piégées dans les réseaux est évalué à 8000 m<sup>3</sup>.

Sur le réseau principal, 29 % du linéaire est colmaté à plus de 50 %. La statistique incluant la totalité des collecteurs (c'est-à-dire incluant tous les réseaux tertiaires et les branchements) porte cette proportion à plus de 40 % (figure 11).

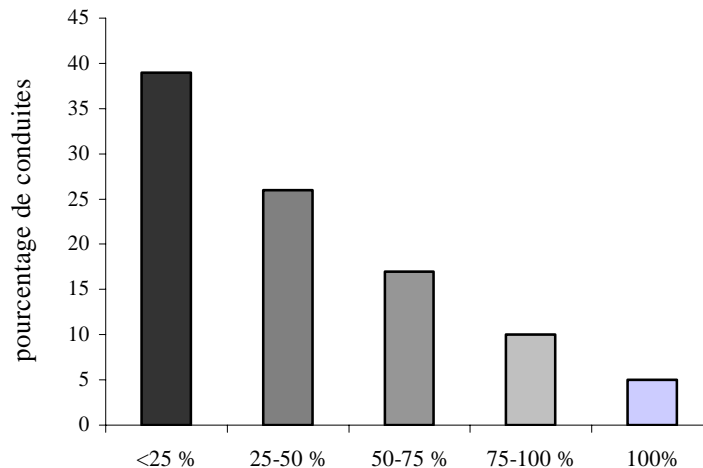


Figure 11: Taux de colmatage du réseau (d'après Bonnard & Gardel, 2001).

### 2.2.2.3- Analyse critique des pentes des collecteurs

La dénivelée totale entre le point haut du Ksar et le niveau du chott est de 9 m seulement; pour un site qui s'étend dans ses grandes dimensions de 5 km d'Est en Ouest et de 8 km du Nord au Sud. Cette contrainte naturelle a obligé que la réalisation des collecteurs, qui pour couler gravitairement, doivent avoir de la pente et donc progresser en profondeur. Deux chiffres résument l'ampleur des anomalies sur le réseau principal : 15 % des tronçons coulent à contre pente et 55 % ont une pente inférieure à 5 ‰, les figures n° 12 et 13 résument cette situation.

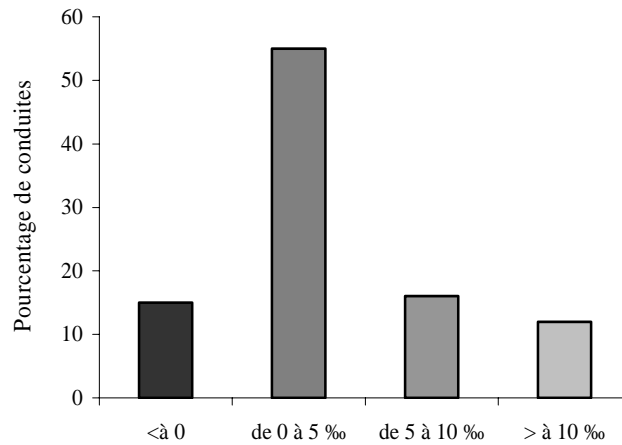


Figure 12: Pente des collecteurs (d'après Bonnard & Gardel, 2001).

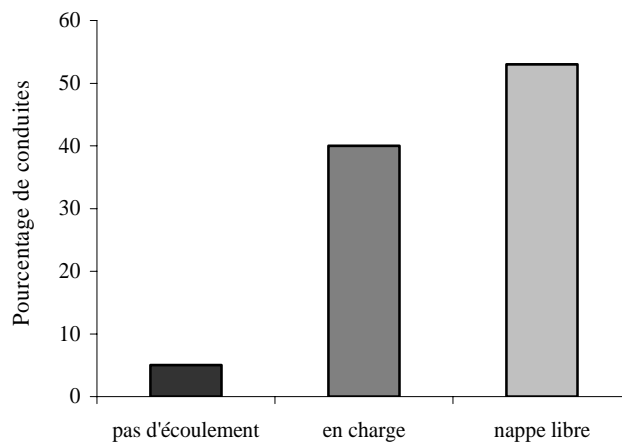


Figure 13: Etat de l'écoulement dans les collecteurs (d'après Bonnard & Gardel, 2001).

#### 2.2.2.4- Diagramme et nature des matériaux

Il est à souligner que 21 % des réseaux sont en PVC (figure 14). Ce matériau est trop légère et ne résiste pas à des grandes pressions, comme il est instable dans un milieu humide (présence de la nappe), il faut les renforcer par le béton.

Les conduites en AC dans la majorité des cas contiennent des micro- ou macro-fissures qui provoque la contamination de la nappe phréatique par les eaux usées.

Dans les endroits où les conduites d'assainissement sont en conduite fibre de verre, on remarque l'affaissement des terrains. Car après un certain temps d'utilisation les tuyaux perdent leur dureté et deviennent friables (malgré les données de la fiche technique). Ces conduites ont une résistance mécanique très faible (Bonnard & Gardel, 2001).

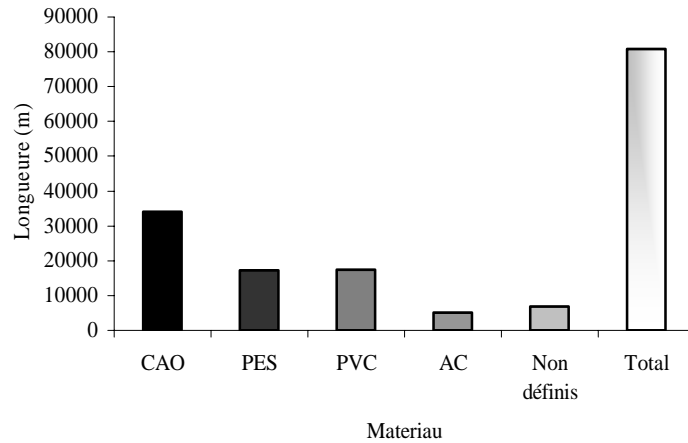


Figure 14: Longueurs de canalisation selon le type de matériaux (d'après Bonnard & Gardel, 2001).

### 2.2.2.5- Etat des ouvrages en surface

En matière de génie civil deux situations particulières sont à relever: le mauvais état de bon nombre de couronnements de regards (plus d'un quart sur le parc total de la zone d'étude) et la défectuosité de ces regards (soit trop hauts soit enterrés) provoquant des nuisances en surface et dans les voies publiques (figure 15).

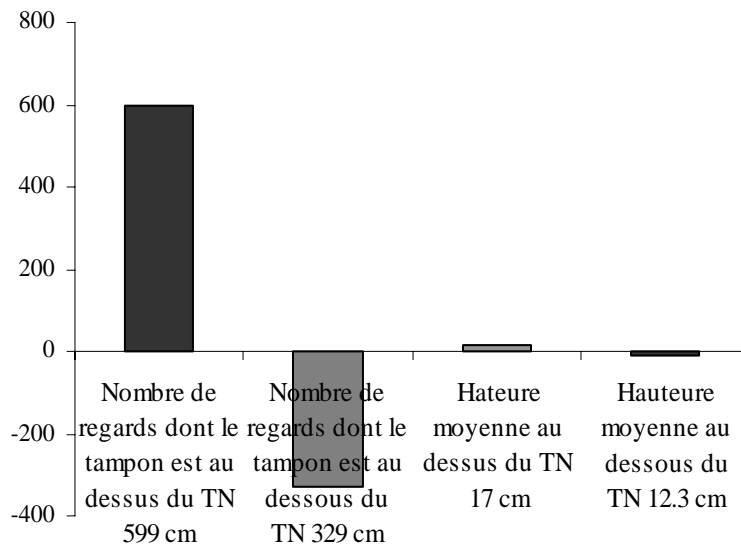


Figure 15: Position des regards par rapport au terrain naturel (d'après Bonnard & Gardel, 2001).

### 2.2.2.6- Stations de pompage

La situation générale des stations de pompage, est dans un état critique, que ce soit le génie civil, les équipements ou la nature très sableuse du milieu naturel (action des vents de sable sur les pompes qui sont mal protégées).

Pour les pompes, les colonnes montantes, les accessoires, les conduites de refoulement sont obstrués et/ ou encrassés. Cela a entraîné des fuites entre la pompe et la colonne montante. D'une manière générale aucune station n'est convenablement entretenue, l'absence systématique de grillage ainsi que la présence de dépôts importants dans les bâches.

### **2.2.2.7- Dispositifs de traitement**

La station d'épuration n'est pas opérationnelle. Le constat a mis en évidence que la réhabilitation de cette station, pour traiter même une partie des effluents urbains, n'est pas une solution envisageable d'un point de vue technique et financier (fissuration des bassins, colmatage et corrosion des conduites, détérioration des pompes, transformation des lits de séchage en "pelouses", ...etc).

### **2.2.2.8- Assainissement autonome**

Le mauvais état de fonctionnement du réseau, et son manque d'efficacité, ont fini par inciter les usagers à abandonner le réseau et à réutiliser les systèmes d'épuration individuels. Ceux-ci se composent généralement d'une fosse septique de décantation et d'un puits perdu aménagé au sein de l'habitation, dans les jardins ou les cours intérieures.

Cependant dans un certain nombre de cas, les usagers ont eu recours à ces systèmes d'épuration individuels avant la réalisation du réseau d'assainissement. Il n'empêche que, même après la mise en place du réseau public, ces mêmes usagers ont préféré continuer à utiliser leurs propres installations.

Les usagers qui possèdent, conjointement, un système d'assainissement individuel et un branchement au réseau public, n'utilisent ce dernier que pour l'évacuation des eaux ménagères, tandis que les eaux-vannes sont traitées séparément dans les fosses individuelles. En périodes de curage, les eaux-vannes sont également dirigées vers le réseau collectif.

Il est utile de noter par ailleurs, qu'à l'exception des habitations collectives (immeubles), qui représentent au plus 30 à 40 % de l'ensemble des habitations de la ville, une grande partie des maisons individuelles est équipée de latrines traditionnelles, utilisées comme moyen accessoire d'élimination des excréta. Cette pratique connue dans la région depuis les temps les plus anciens (maisons du Ksar et celles des nomades), a été largement sauvegardée dans les nouvelles constructions. Ce mode d'élimination constitue donc, avec celui de l'assainissement autonome, un moyen d'évacuation de déchets humains. Ceci peut expliquer, d'une certaine façon, les difficultés d'adaptation de la population aux exigences de l'assainissement collectif (Idder, 1998).

### 2.2.2.9- Insuffisances organisationnelles

Pour la seule commune de Ouargla, l'organisation du service de l'assainissement est gérée entre trois opérateurs : l'APC détentrice des ouvrages, est censée concevoir, réaliser et entretenir; la DHW intervient comme conseil et initie des opérations de grande importance; enfin l'EDMIAO au titre de l'entretien spécifique des stations de pompage fournit une assistance surtout au suivi des organes électriques et électromécaniques. Sur l'ensemble des trois communes de Ouargla, Rouissat et Ain Beida les communes prennent en charge les installations établies sur leur propre territoire. Ce désordre administratif ne peut faire fonctionner efficacement un réseau d'assainissement de cette importance.

En définitive, nous pouvons conclure que la défaillance du système de collecte est un fait incontestable dont les conséquences se font de plus en plus ressentir. Les causes réelles d'une telle situation peuvent être imputées à la carence en moyens et aux difficultés pratiques.

Face aux nuisances provoquées par les rejets de la ville, un projet est en cours de mise en place afin de mener à bien les objectifs suivants :

- Contrôler les eaux qui participent à la recharge de la nappe phréatique (limiter les fuites d'AEP, supprimer l'assainissement autonome);
- Supprimer les rejets directs d'eaux usées dans les canaux à ciel ouvert sans traitement;
- Les eaux de drainage agricole doivent progressivement être collectées et évacuées d'une manière indépendante;

Pour réaliser ces objectifs, il faut :

- Réhabiliter le réseau d'assainissement qui n'est pas étanche;
- Augmenter le taux de raccordement de la population au réseau d'assainissement;
- Le projet d'assainissement prévoit que la totalité de la population de l'agglomération de Ouargla soit raccordée à l'égout à l'horizon 2015;
- Supprimer les rejets directs dans le milieu par la mise en place d'un traitement.

La problématique de la conservation de la ressource en eau qui est un souci national et même de plus en plus international passe par la réflexion autour de la valorisation des effluents traités. Cette valorisation peut se faire à travers :

- La réutilisation agricole pour l'irrigation de palmeraies (ancienne ou nouvelle);
- La réutilisation en aquaculture;
- La valorisation du chott Ain Beida qui risque d'être mis à sec s'il n'y a pas de suppression des rejets directs d'eaux usées;
- La conservation d'un plan d'eau à Oum Raneb dont la superficie est à définir.



# **Chapitre III**

*Etude quantitative  
des eaux de rejets*

Le problème des excédents d'eau que connaît la ville de Ouargla, et qui est favorisé par les situations topographiques, a deux origines : les eaux de drainage et les eaux résiduaires urbaines. Nous allons dans ce chapitre tenter d'évaluer la quantité de ces excédents.

### **3.1- Eaux de drainage**

#### **3.1.1- Historique des débits prélevés**

Les forages de Ouargla, qui captent les aquifères du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal ne sont jamais équipés de dispositifs de mesure des volumes exhaérés. Les données qui figurent dans cet historique de débits publiés jusqu'à présent représentent toujours des valeurs estimées, dont la précision, est assez variable et difficile à apprécier.

A Ouargla et N'Goussa, l'exploitation s'est faite avant 1888 par puits artésiens pour l'irrigation, mais il n'existe pas de données antérieures. En 1888, le débit exploité atteignait  $460 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  à Ouargla et  $62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  à N'Goussa. A Ouargla, ce débit a augmenté sans cesse jusqu'en 1962 ( $666 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) où il s'est stabilisé, les pompages ayant commencé en 1951. A N'Goussa, par contre, le débit a sans cesse diminué ( $16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) jusqu'en 1969 et ceci malgré l'apparition du pompage en 1967 (BRL- BNEDER., 1999).

#### **3.1.2- Evaluation quantitative des eaux de drainage**

Dans l'état actuel des choses, il est impossible d'évaluer les volumes d'eaux de drainage par mesure directe des débits au niveau des drains, car le réseau de drainage est très mal organisé et son écoulement est souvent défectueux. En outre, les volumes d'eaux véhiculés par les drains principaux contiennent, en plus des eaux de drainage, de grandes quantités d'eau dont l'origine est difficilement identifiable.

Afin d'avoir une estimation approchée des volumes d'eau de drainage à évacuer, nous allons comparer les apports, constitués par les débits d'eau d'irrigation (I) utilisés dans chaque secteur (Annexe1), les précipitations (P) et l'évapotranspiration potentielle (ETP), puisque celle-ci correspond sensiblement aux besoins d'eau maxima des cultures, lorsque celles-ci sont bien alimentées. Etant donné que les apports dus aux précipitations sont négligeables, puisqu'ils ne représentent que 2,5 % environ des besoins (Idder, 1998).

Il est évident qu'une partie, plus ou moins importante, du débit utilisé pour l'arrosage va servir au lessivage ou sera perdue dans les canaux d'irrigation. L'excédent qui est pris en compte englobe l'ensemble des volumes liés, d'une part, à l'excédent d'arrosage, et, d'autre part, aux pertes. C'est ces deux quantités qui déterminent le volume total d'eau de drainage à évacuer (Tableau V).

Tableau V: Débits de drainage, estimé, par secteur dans la palmeraie de Ouargla.

Zones	Débit mobilisable par forage (m <sup>3</sup> .j <sup>-1</sup> )	Débit mobilisable par pompage (m <sup>3</sup> .j <sup>-1</sup> )	Débit consommé (m <sup>3</sup> .j <sup>-1</sup> )		Débit de drainage (m <sup>3</sup> .j <sup>-1</sup> )	
			Hiver	Eté	Hiver	Eté
ITAS	4752	4320	1080	1852	324	555,6
Bamendil	11232	6480	3312	3456	993,6	1036,8
Mekhadma	26784	18144	11664	12312	3499,2	3693,6
Beni Brahim	34301	23674	8010	10214	2403	3064,2
Said Otba	6480	5184	2376	2700	712,8	810
Beni Ouaguine	7085	5184	2036	2696	610,8	808,8
Beni Sessine	19526	13738	5856	6954	1756,8	2086,2
Beni Thour	14170	11146	4283	4777	1284,9	1433,1
Rouissat	45187	30240	13978	14102	4193,4	4230,6
Ain Bieda	20909	13824	6902	6902	2070,6	2070,6
Adjadja	17712	12874	8197	8197	2459,1	2459,1
Chott	40262	28512	13417	13914	4025,1	4174,2
Total	248400	173320	81111	88076	24333,3	26422,8

Il y a lieu de constater qu'il existe, à Ouargla, un important problème de gestion de la ressource. Les agriculteurs utilisent presque les mêmes débits en hiver qu'en été, ce qui est doublement dommageable : les cultures souffrent d'un manque d'eau pendant la période estivale, alors qu'elles subissent en hiver les méfaits de l'engorgement dus à la difficulté d'évacuation des excédents.

Sur l'ensemble des secteurs, il y a chaque année, près de 9,26 millions de m<sup>3</sup> d'eau de drainage qui vont s'accumuler dans la cuvette. Ce chiffre ne tient pas compte des volumes qui proviennent des domaines de mise en valeur et qui sont certainement loin d'être négligeables, étant donnée que l'on y utilise le plus souvent des forages à l'albien, donc gros producteurs d'eau.

Le volume de drainage apparaît donc considérable : non seulement il représente un dépense de la seule ressource disponible dont la réserve est baisse, mais provoque aussi des conséquences désastreuses pour une région comme Ouargla. Celle-ci étant implantée au fond d'une cuvette et où les conditions naturelles ne facilitent pas l'évacuation des eaux usées.

### 3.2- Eaux résiduaires urbaines

Les débits sont mesurés aux points de rejets afin d'établir le volume journalier des effluents rejetés par chaque ensemble (figure 16) et, en revanche, mener à bien les calculs de bilan de la pollution, ce qui va contribuer plus tard à l'évaluation de la taille de l'ouvrage d'épuration.

### 3.2.1- Estimation du débit à la base de consommation en eau potable

Cette méthode consiste à estimer le débit des eaux usées à partir de la consommation moyenne journalier de l'eau potable avec le nombre d'habitant (Lancastre, 1996)

L'évolution de la population actuelle des villes de Ouargla, Rouissat, et Ain Beida est représentée sur la base du recensement général de 1998 (DPAT, 2005). Les taux d'accroissement de la population agglomérée selon ce recensement sont de l'ordre de 3,7 % pour Ouargla, 3,73 % pour Ain Beida et 6,02 % pour Rouissat.

Pour avoir le débit réel rejeté, on prend en considération le pourcentage d'équipements de chaque ensemble où nous avons convertis les équipements en équivalent habitant. Cette conversion se fait suivant les régions et leurs niveaux de développement (Bliefert & Perraud, 2003).

Par exemple au niveau de la ville de Ouargla, il y a un taux d'équipement élevé par rapport à celui du village de Chott où la conversion en équivalent habitant représente 5 % de la population. Pour Haï El Nasr, on remarque que malgré le nombre réduit des équipements, le pourcentage est de 10 %, cela s'explique par le nombre d'habitants faible par rapport au pourcentage des équipements.

Ces pourcentages sont atteints par le DHW: 18 % pour Ouargla, 15 % pour Rouissat, 10 % pour Bouameur et Bamendil, 05 % pour Chott, 15 % pour Ain Beida, 10 % pour Haï El Nasr, 20 % pour la route de Ghardaïa et 10 % pour Saïd Otba et Beni Ouagguine.

Le nombre d'habitants de chaque ensemble pour l'année 2004 est calculé à partir de la formule des intérêts composés:

$$P_n = P_o * (1+t)^n \quad (\text{Carlier, 1980}).$$

Où :

*P<sub>n</sub>* : nombre d'habitants pour l'année voulue;

*P<sub>o</sub>* : nombre d'habitants pour l'année de référence;

*n* : écart d'année;

*t* : taux d'accroissement.

Le nombre d'habitants en 2004 pour chaque ensemble est représenté dans le tableau X.

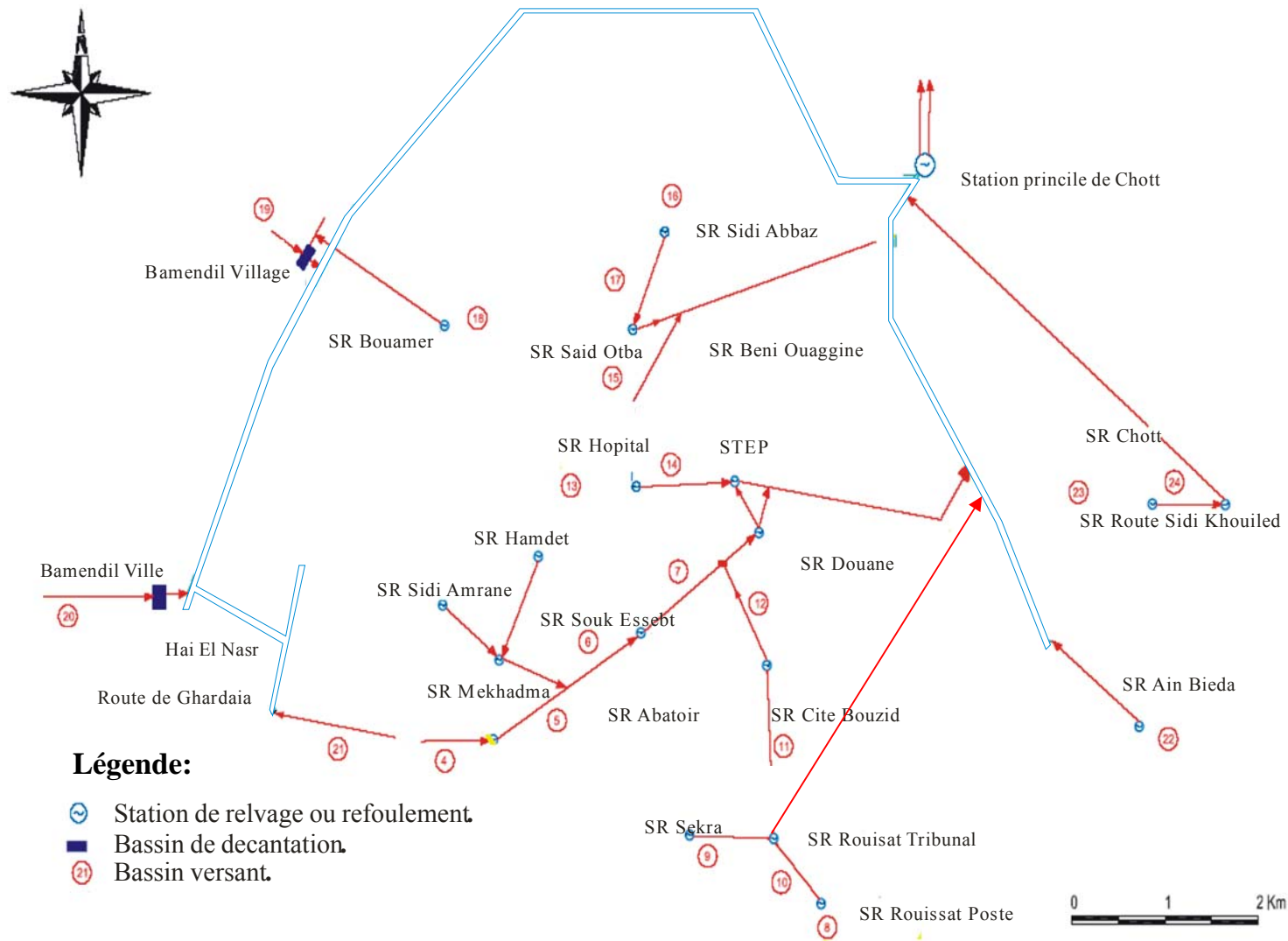


Figure 16: L'ensemble des points de rejets des eaux usées de la cuvette de Ouargla.

- Débits moyens des eaux usées :

$$Q_{moyjr} = Q_{moyj} * Kr (m^3.j^{-1}) \text{ (Ouali, 1999).}$$

Avec:

$Q_{moyjr}$  : débit moyen rejeté ( $m^3.j^{-1}$ );

$Q_{moyj}$  : débit moyen journalier d'AEP ( $m^3.j^{-1}$ );

$Kr$  : Coefficient de rejeté, varie entre 0,7 à 0,9.

Les débits estimés des eaux usées rejetées pour chaque ensemble sont représentés dans le tableau VI.

Tableau VI: Le nombre d'habitants pour chaque ensemble.

Ensemble	Taux d'accroissement %	Nombre d'habitant	
		1998	2004
Ouargla	3,7	83966	104419
Rouissat	6,02	37814	53701
Bouameur+Bamendil	3,7	7932	9865
Chott	3,73	4842	6032
Ain Beida	3,7	14500	18032
Haï El Nasr	-	-	6340
La route de Ghardaïa	-	-	4706
Saïd Otba +Beni Ouagguine	3,7	13633	16954
Total	-	162687	220049

Tableau VII: Calcul des débits estimés des eaux usées.

Ensemble	Taux d'équipement %	Nombre d'équivalent habitant	Q moyj ( $m^3.j^{-1}$ )	Q moyjr ( $m^3.j^{-1}$ )
Ouargla	18	123215	24643	17250,1
Rouissat	15	61757	12351	8645,98
Bouameur+ Bamendil	10	10852	2170,4	1519,28
Chott	5	6334	1266,8	886,76
Ain Beida	15	20737	4147,4	2903,18
Haï El Nasr	10	6974	1394,8	976,36
La route de Ghardaïa	20	5648	1129,6	790,72
Saïd Otba +Beni Ouagguine	10	18650	3730	2611

### 3.2.2- Détermination du débit en fonction du pompage

La méthode consiste à calculer les débits journaliers à partir du fonctionnement des stations de pompage pour les ensembles concernés par le pompage.

Pour calculer le débit réellement refoulé par la pompe, on a effectué des mesures et des constats in situ, afin de déterminer les caractéristiques des stations de pompage. En fonction des données nous avons déterminé le débit rejeté par chaque station de pompage (tableau VIII).

### 3.2.3- Détermination du débit au niveau des points de rejet

#### Point de rejet de Ouargla

Les stations de la Douane et STEP sont celles qui refoulent au point de rejet de Ouargla.

Sachant que la station de pompage de la Douane comprend deux pompes et la station de pompage de la STEP une seule pompe. Les deux conduites se raccordent au point "A" comme indiqué sur la figure n° 17.

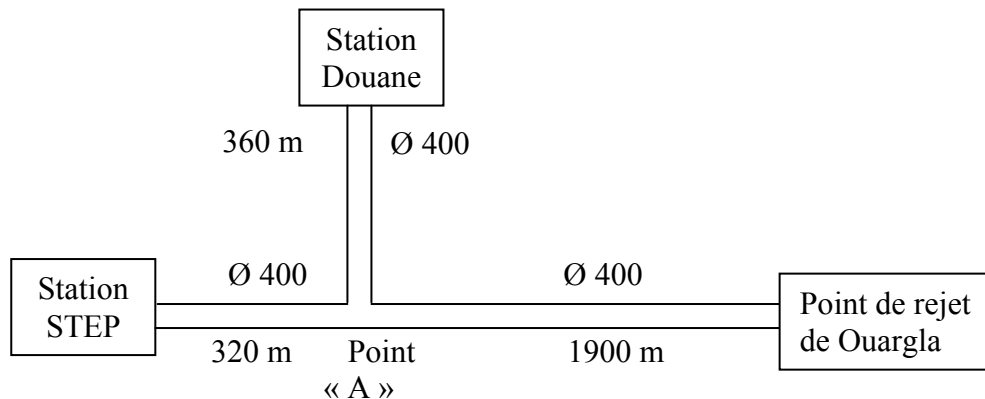


Figure 17: Implantation des stations de la Douane et de la STEP.

#### Détermination du débit au point de rejet de Saïd Otba

La station de pompage de Saïd Otba se trouve à 400 m du point d'intersection "B", celle de Beni Ouagguine se trouve à 1000 m du point "B".

Le point "B" se trouve à 3450 m du point de rejet de Saïd Otba (figure 18).

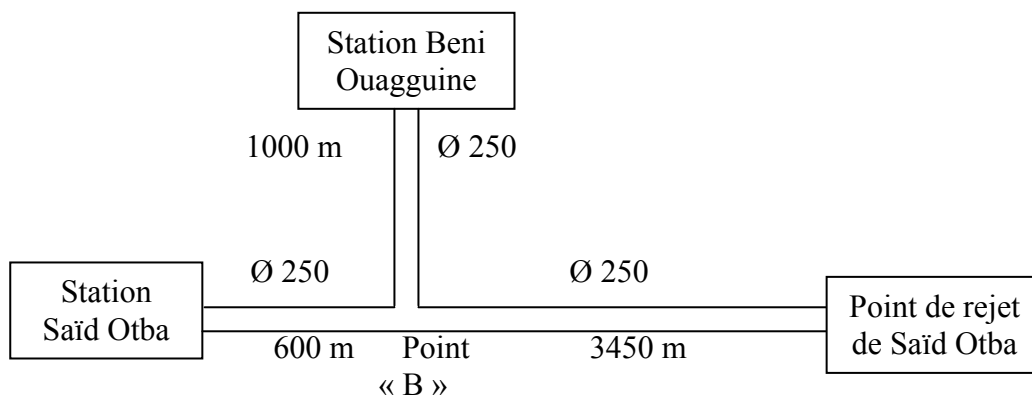


Figure 18: Implantation des stations de Saïd Otba et de Beni Ouagguine.

Détermination du débit de point de Bamendil

Pour déterminer les débits des eaux usées aux points de rejet où nous avons un écoulement gravitaire (ensembles de route de Ghardaïa et Bamendil), la mesure est faite à l'entrée du décanteur, qui est le point d'arrivée des effluents des trois quartiers concernés (Bouameur, Bamendil village et Bamendil lotissement).

Nous utilisons la méthode volumétrique (Boualem, 1993; Chocat, 1997; Messied & Achour, 1995), pour la détermination du débit :

$$Q = V/t$$

L'opération doit être répétée plusieurs fois. Néanmoins, comme nous n'avons pu réaliser qu'une seule mesure, nous avons pris les résultats obtenus dans un travail antérieur (Kateb, 2003) : le débit à l'entrée du bassin de décantation de Bamendil est égale à 950,4 m<sup>3</sup>.j<sup>-1</sup>.

Tableau VIII: Les volumes journaliers rejetés (m<sup>3</sup>).

Stations de pompage	Surface (m <sup>2</sup> )	Hauteur utile (m)	Débit pompé (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Débit journalier total m <sup>3</sup> .j <sup>-1</sup>
Ouargla	-	-	648	15552
Rouissat	30	4,5	61,92	1486,08
Chott	14	2,5	52,5	1260
Ain Beida	27	3	121,5	2916
Saïd Otba	18	3,5	108,79	2611
Station principale du chott	-	15	3240	77760

Tableau IX: Différents débits de chaque ensemble.

Ensemble	Débit estimé (m <sup>3</sup> .j <sup>-1</sup> )	Débit réel (m <sup>3</sup> .j <sup>-1</sup> )	Remarque
Ouargla	17250,1	15552	Le débit réel est celui du fonctionnement de la pompe.
Rouissat	8645,98	1486,08	Le débit réel est celui du fonctionnement de la pompe.
Bamendil	1519,28	1769,8	Le débit réel est obtenu par la méthode de déversoir plus celui du fonctionnement de la pompe de Bouameur.
Chott	886,76	1260	Le débit réel est obtenu par la méthode du volume pompé.
Ain Beida	2903,18	2916	Le débit réel est obtenu par la méthode du volume pompé.
Haï El Nasr	976,36	-	Non mesuré vu sa situation (débordement de bassin dit de décantation).
Route de Ghardaïa	790,72	-	Non mesuré vu la stagnation des eaux (pas d'écoulement).
Saïd Otba	2611	1451,52	Le débit réel est celui du fonctionnement de la pompe.
Oum Raneb	-	77760	Le débit réel est obtenu par la méthode du volume pompé.



Pour trouver le volume des eaux usées rejetées, nous avons estimés les débits à l'aide de la consommation en eau potable. Mais d'après notre enquête nous avons trouvés que la plupart des stations de pompage sont dans un état critique, en plus de l'état des conduites du réseau d'assainissement qui connaît beaucoup de fuites, ce qui donne des indications que le débit arrivant au point de rejet n'est pas le même que celui estimé. Pour cela, nous avons mesurés à l'aide du volume utile des bâches, les débits dans les endroits munis de station de pompage.

Après la comparaison entre les débits obtenus par les méthodes pratiques (par le point de fonctionnement dans les endroits où il y a des pompes) et les méthodes de mesure sur site (où l'écoulement est gravitaire) avec les débits estimatifs nous avons trouvés que :

- Pour l'ensemble de Ouargla et celui de Rouissat, il n'y a pas une grande différence entre les deux débits. Le débit estimé étant supérieur au débit réel, cet écart peut s'expliquer par la présence des pertes d'eaux au niveau des conduites ou par la valeur de dotation qui n'est pas réelle.

- Concernant l'ensemble de Bamendil, le volume rejeté par pompage est supérieur au volume estimé, on en déduit qu'il a des eaux parasites dans le réseau. Notons que la nappe phréatique dans la zone de Bouameur se trouve près de la surface, ce qui provoque l'infiltration de ces eaux (surtout avec la présence des fuites).

- Pour les ensembles de Chott et Ain Beida, il est difficile d'expliquer la différence, étant donné que l'erreur est possible dans les deux méthodes. Pour la méthode d'utilisation du volume utile, les erreurs peuvent être celles du dimensionnement ou des données.

Les volumes d'eau excédentaires, provenant des eaux de drainage et des eaux urbaines non traitées, apparaissent à des quantités très importantes. Le volume d'eau de drainage s'élève à environ 9,26 millions de m<sup>3</sup> par an, il est essentiellement dû à la surexploitation des eaux pour irrigation pendant la période hivernale. Ce volume serait suffisant pour combler les déficits d'irrigation observés pendant la période estivale.

Le volume des eaux urbaines, beaucoup moins important que celui des eaux agricoles, est évalué à environ 2,83 millions de m<sup>3</sup> par an.

Par conséquent, on enregistre au total, chaque année, plus de 12 millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées qui rejoignent la nappe superficielle.

# **Chapitre IV**

## *Matériels et méthodes*

## 4.1- Choix des sites expérimentaux

### 4.1.1- Localisation des points de rejet

Le premier schéma directeur d'assainissement de la ville de Ouargla propose de faire canaliser les eaux usées vers la station d'épuration d'où elles sont évacuées vers un seul point de rejet (le chott de Ain Beida). Le développement de la population, qui n'a pas suivi l'évolution prévue dans l'étude du schéma d'assainissement, a engendré l'augmentation du débit rejeté. De plus, l'absence d'une gestion permanente du système d'assainissement (dysfonctionnement de la station d'épuration et les arrêts très fréquents des pompes) a imposé la modification de ce plan par la création de plusieurs points de rejet tout au long du canal.

Le canal est composé de deux parties, l'ancienne partie qui se trouve à Ain Beida, réalisée depuis 1983 où l'on trouve les points de rejet de Ain Beida, Ouargla, Chott (1992) et Saïd Otba (1993). La deuxième partie, dont les travaux d'exécution ont commencé en 1991 à partir de Chott jusqu'à Haï El Nasr en passant par Bamendil, avec une longueur de 10,5 km et une pente de 1 ‰. La création, en 1992, du point de rejet de Bamendil, a vu le raccordement des effluents de Bamendil village et Bouameur respectivement en 1998 et 2000.

En 1992, le bassin de décantation de Haï El Nasr a été réalisé avant l'achèvement du canal. Enfin, le point de rejet de la route de Ghardaïa a été créé en 1998.

- **Ensemble de Ouargla**

Avec une population de 100693 habitants, cet ensemble représente la plus grande partie de la ville de Ouargla, il regroupe les quartiers de : Beni Thour, Sidi Boughoufala, Sidi Amrane, une partie de Mekhadma, Centre Ville, Gara Nord, Tazegrarte, une partie de Gherbouz et la partie Sud du Ksar. Il dispose de sept stations de relevage. Les effluents de la station de l'hôpital arrivent à la station de STEP, et ceux des stations de Souk Essebt et cité Bouzid arrivent à celle de la Douane. Les eaux des deux stations se rejoignent à l'aide d'une conduite sous forme d'un T et l'écoulement continu jusqu'au canal principal.

Le point de rejet se trouve au Nord est de la ville de Ouargla près des palmeraies de Ain Beida.

- **Ensemble de Saïd Othba**

On désigne sous cette appellation les quartiers dont l'exutoire est la conduite de refoulement qui passe devant le centre avicole et aboutit dans le grand canal à 100 m de la station principale de pompage. Il s'agit de la partie Nord du Ksar, dont les eaux usées sont refoulées par la station de pompage de Beni Ouagguine et les zones de Saïd Othba I, II et III dont les eaux usées sont refoulées par la station de Saïd Otba. Cet ensemble regroupe une population de 16349 habitants.

- **Ensemble de Rouissat**

Il regroupe la commune de Rouissat et Sokra constituées de 50652 habitants. Le cheminement des eaux usées s'effectue d'Ouest à Est, les eaux arrivent des stations de relevages de Sokra et Rouissat (poste) et se rejoignent à la station de Rouissat (tribunal) qui refoule ces eaux vers le canal principal. Le point de rejet de Rouissat se trouve juste à côté du point de rejet de Ouargla ville.

- **Ensemble de Chott**

La population concernée s'élève à 5815 habitants. C'est le point de convergence actuel de toutes les eaux usées (Ouargla, Rouissat et Ain Beida) et l'agglomération du Chott. La conduite de refoulement longe la route d'évitement et rejoint l'amont immédiat de la station principale de pompage qui refoule l'eau vers l'exutoire d'Oum Rhaneb.

- **Ensemble Ain Beida**

Cet ensemble représente les quartiers de Ain Beida lotissement et Ain Beida village avec une population totale de 16349 habitants. Les eaux sont refoulées par la station de pompage de Ain Beida.

Le point de rejet de cet ensemble se trouve au voisinage des palmeraies de Ain Beida, à l'amont du grand canal Est, où les eaux usées sont mélangées avec les eaux de drainage.

- **Ensemble de Bamendil**

Cette zone regroupe le village de Bamendil et Bouamer avec une population totale de 9613 habitants.

La station de Bouamer refoule les effluents du quartier vers un regard où il rejoint les effluents de Bamendil village qui arrivent gravitairement, puis l'ensemble des eaux usées aboutit au bassin dit de décantation, après sont mélange avec les eaux usées de Bamendil lotissement.

Le point de rejet de Bamendil se situe juste a la sortie du bassin de décantation puis se déverse dans l'amont du drain Ouest.

- **Ensemble de Haï El Nasr**

Cet ensemble est en extension rapide, il regroupe les quartiers de la nouvelle ville de Ouargla. L'assainissement se fait gravitairement (absence de station de pompage).

Le bassin dit de décantation de Haï El Nasr est abandonné, le colmatage par la végétation à l'entrée du décanteur, fait que les eaux usées ont créés un lac près de la faculté des sciences économiques. Les eaux sortantes du bassin sont déversées en amont Ouest du grand canal.

Il existe un projet en exécution qui consiste à diriger les eaux usées de Haï El Nasr jusqu'à la station de pompage de Bamendil, où à l'origine le bassin de décantation était destiné pour les eaux usées de Bamendil seulement, Bouamer a été reliée ultérieurement. Avec les débits importants et la croissance rapide de Haï El Nasr le décanteur de Bamendil risque d'avoir le même sort que celui de Haï El Nasr.

- **Ensemble de la route de Ghardaïa**

Cet ensemble représente la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur avec les deux cités, celle des filles et celle des enseignants (hydraulique), les départements des sciences agronomiques et biologie, ainsi la cité de 2000 lits des filles, avec un nombre d'habitant total de 6340.

L'ensemble assaini par un collecteur qui arrive près du carrefour de la route d'évitement dans un canal qui se déverse gravitairement aussi, à l'amont du grand canal Ouest.

Les eaux usées dans ce point de rejet sont stagnantes, de nature visqueuse (présence des huiles) vu l'implantation d'une station d'essence très proche de ce point.

- **Ensemble de Oum Raneb**

Le site d'Oum Raneb est situé à 4,8 km au Nord-est de la ville de Ouargla. Il est localisé entre l'agglomération de Sidi Khouiled au Sud et l'agglomération de Oum Raneb au Nord. Sa superficie varie de 900 à 1400 hectares en fonction du niveau de l'eau. Le chott Oum Raneb est entouré par des formations dunaires au Nord appartenant à l'Erg Touil, à l'Est et au Sud. Il est alimenté par les eaux usées de la ville de Ouargla et les eaux de drainage agricole depuis 1983.

Afin de mener à bien cette recherche, le choix des sites d'étude devait être basé sur :

- La situation au centre ville, fortement urbanisée;
- La proximité de palmeraie de la ville;
- La réception d'un volume important des eaux usées;
- La constitution d'un ensemble des points de rejet.

Après la visite de tous les sites. Il est logique de découper l'aire d'étude en ensembles hydrauliquement homogènes, en tenant compte non seulement des limites administratives des communes mais aussi de l'emprise des réseaux et des points de rejet des effluents (figure. 19). On distingue ainsi :

**Le site 1:**

Ensemble qui regroupe le territoire urbain de Ouargla ville, sans la partie Nord du Ksar, les quartiers de Saïd Otba, les extensions de Bamendil ville nouvelle, ainsi que Bamendil village. On soustrait également à l'Ouest les abords de la route de Ghardaïa et Haï El Nasr. Les eaux de cet ensemble se regroupent au point de rejet de Ain Beida.

**Le site 2 :**

La particularité de cet ensemble est que les exutoires respectifs des quatre sous-ensembles Bouameur, Bamendil (village et nouvelle ville), la route de Ghardaïa et Haï Nasr, aboutissent tous dans le grand drain Ouest.

**Le site 3 :**

Avant l'arrivée au point de rejet du Chott, les eaux usées vont se mélanger avec celles qui arrivent de Bamendil, Bouameur, Saïd Otba et Ain Beida au station du Chott.

**Le site 4 :**

Au niveau de ce site (point de rejet d'Oum Raneb), se regroupent toutes les eaux usées de la ville de Ouargla.

Vu la situation de site 2, au niveau de point de rejet de Haï Nasr où l'envasement du bassin dit de décantation a créé un lac, ainsi que les eaux usées de point de rejet de la route de Ghardaïa sont stagnantes, on n'a pas pu distinguer le sens d'écoulement.

De plus le débit des eaux résiduaires, au niveau du point de rejet de Bamendil et Bouameur, est faible comparativement aux autres sites.

A partir de là, notre étude a porté que sur trois sites expérimentaux:

- R1: rejet de Ain Beida (figure 20);
- R2: rejet de Chott (figure 21);
- R3: rejet de Oum Raneb (figure 22).

Pour connaître l'impact des eaux usées sur la nappe phréatique on a analysé les eaux de cette nappe à partir des piézomètres installés à proximité de ces rejets PZ1, PZ2 et PZ3.

#### **4.2- Périodes de prélèvement**

La composition, des eaux résiduaires est plus ou moins variable selon les journées, les mois et les saisons. Compte tenu de cette variabilité, ainsi que celle des systèmes de transfert et de dilution, il a été difficile de pratiquer une technique de prélèvement satisfaisante ainsi on a eu recours au prélèvement instantané qui présente l'avantage de diminuer les risques de précipitation, d'absorption, de concentration ou d'évaporation.

Afin d'apprécier l'impact des effluents urbains et agricoles sur la nappe phréatique, deux séries de prélèvements ont été effectuées. Huit campagnes de prélèvements, de 25 à 30 jours d'intervalle, ont été réalisées pour la première série et une seule campagne pour la deuxième.

La première série de prélèvements a pour objectif l'étude de la variation spatio-temporelle de la composition physico-chimique des eaux usées et celle de la nappe phréatique, alors que la seconde série a pour but le contrôle de la pollution bactériologique du milieu récepteur.

Pour le contrôle simultané de la qualité des eaux, les campagnes de prélèvement ont été effectuées de janvier à juillet de l'année 2005 et pour les analyses bactériologiques seules les prélèvements du mois de juillet ont été pris en compte.

#### **4.3- Méthodes analytiques**

Les différentes analyses des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique et des eaux usées de la région d'étude ont été effectuées au laboratoire d'analyses physico-chimiques et protection de l'environnement en zone aride (université de Ouargla).

Tous les prélèvements d'eau sont effectués dans des flacons en polyéthylène (pour les analyses physico-chimiques) et en verre stérile (pour les analyses bactériologiques) par remplissage en sub-surface. Les échantillons, conservés à 4 °C, sont transportés au laboratoire dans un délai ne dépassant pas 4 heures (Rodier, 1996). Sur ces échantillons nous avons déterminé, selon les normes AFNOR et ISO, les paramètres suivantes :

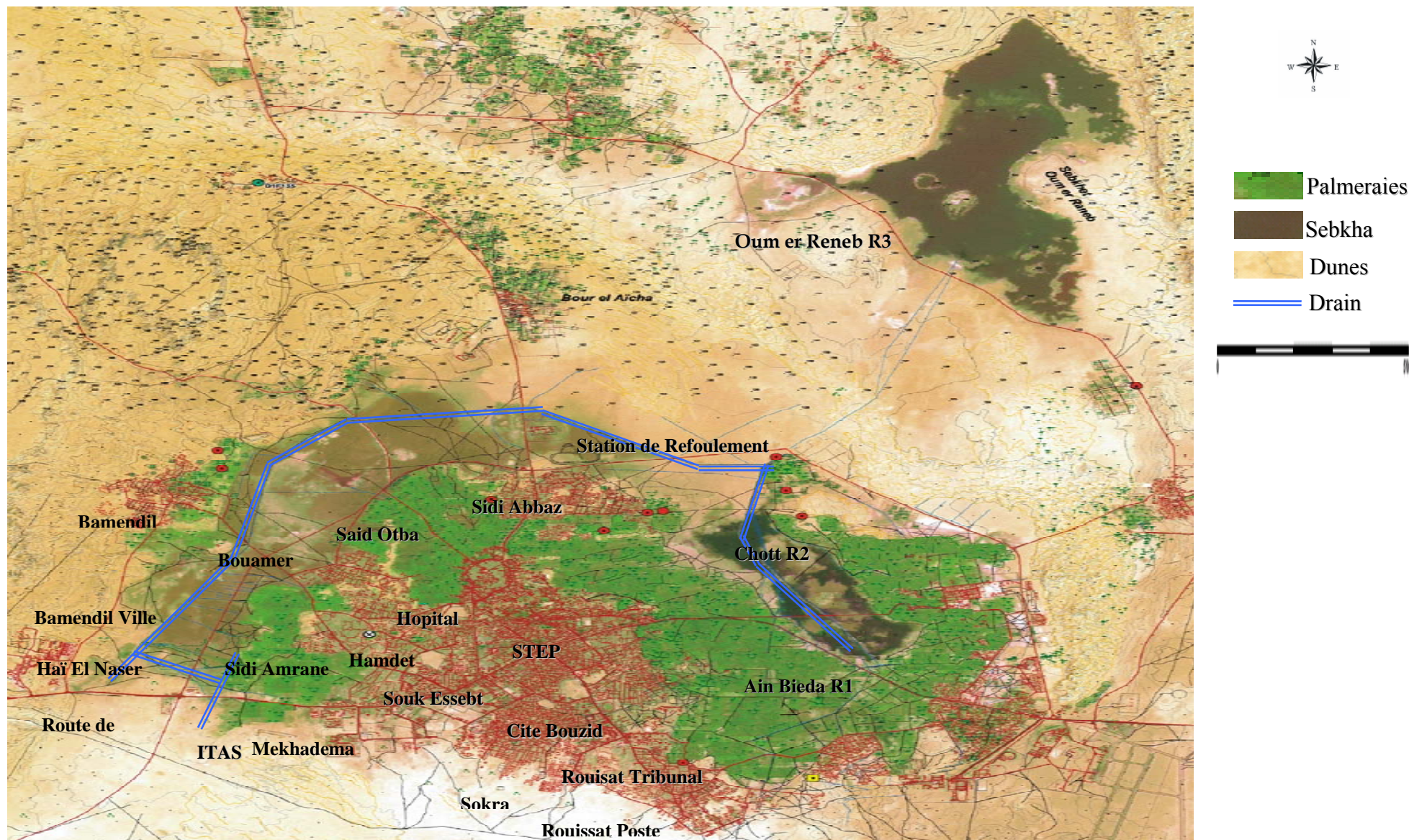


Figure19: Localisation des points de rejet des eaux usées.

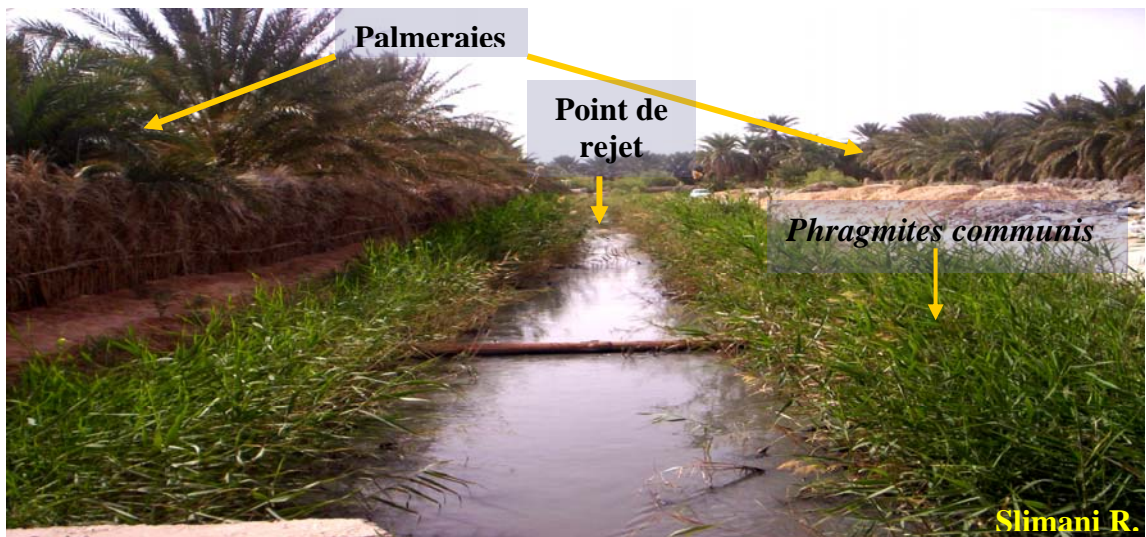


Figure 20: Situation du point de rejet de Ain Beida (R1).



Figure 21: Situation du point de rejet de Chott (R2).



Figure 22: Situation du point de rejet de Oum Raneb (R3).



- Le pH : La mesure a été effectuée à l'aide d'un pH-mètre type HI 931000

Réactifs : Solution tampons; pH = 4,01, pH = 7,01 et pH = 10,01

- La conductivité électrique : Ce paramètre étroitement lié à la température, est déterminé à l'aide d'un conductimètre de type WTW LF 330/Tetra Con<sup>®</sup>325

Réactifs: Solution de KCl à 0,01 mol/l.

- La température : est déterminée au même temps que le pH à partir du pH-mètre.

- Les matières en suspension : la quantité de matières en suspension a été obtenue par filtrage de l'eau sur une membrane de 0,45 µm. Le poids des matières retenues par le filtre a été déterminé par pesée différentielle (Norme EN 872, 1996).

- La turbidité : elle correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée (diffraction) ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite (US EPA, 2001; Santé Canada, 1995).

Appareil: spectromètre de type DR2000 (HACH).

- Le bilan ionique : il consiste à analyser les anions:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  et les cations :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{NH}_4^+$ :

- Les anions :

- \* Les ions de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{PO}_4^{3-}$  sont analysés par le spectrophotomètre de type DR 2000 (HACH).

- \* Les ions  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$  sont dosés par titrimétrie au  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

- Les cations :

- \* Les ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$  sont analysés après dilution (D= 50) par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (SAAF), type AA-680 (Pansu et al., 1997).

- \* Le  $\text{NH}_4^+$  est analysé par spectrophotométrie de type DR 2000 (HACH).

- Les métaux lourds : Les dosages du fer, zinc, cadmium, plomb et nickel ont été faits par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (SAAF), type AA-680 (Pansu et al., 1997).

- La demande biologique d'oxygène à 5 jours ( $\text{DBO}_5$ ) : Il traduit le niveau de pollution organique d'une eau, elle a été mesurée par la méthode OXITOP<sup>®</sup>. Le principe de mesure repose sur le fait qu'à volume et à température constants, toute variation de la quantité de gaz (la quantité d'oxygène nécessaire aux décomposeurs pour dégrader et minéraliser les matières organiques présentes dans un litre d'eau) peut être mesurée par la variation de sa pression (Norme NF EN: 1899-1, 1998).

- La demande chimique en oxygène (DCO): C'est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables présentes dans l'eau (quelle que soit leur origine, organique ou minérale -fer ferreux, nitrites, ammoniacales, sulfures et chlorures) dans des conditions définies, a été mesurée grâce à un dispositif d'agitation couplé à un dispositif de chauffage placé sous un ballon. Le principe est que, sous certaines conditions, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromate de potassium en milieu acide et en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium. Le dispositif reproduit le processus en question. La DCO, exprimée en  $\text{mg.l}^{-1}$  d'oxygène est donnée par l'expression :

$$8000 (V_0 - V_1) t/V$$

Où t est le titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium, V le volume en ml de prise d'essai d'eau,  $V_0$  et  $V_1$  les volumes de sulfate de fer et d'ammonium (NFT 90-101, 1988).

- Le carbone organique total (COT): L'échantillon contenant des composés carbonyles est introduit dans un tube chauffé à 680 °C qui contient un catalyseur agissant comme oxydant. Les composés de combustion et de dégradation sont sous forme de  $\text{CO}_2$ , qui est analysé par détection infrarouge et quantifié par comparaison à une courbe d'étalonnage (Norme NF EN 1484, 1997).

Appareil: COT mètre model TOC -500 A.

Réactifs: Solution phtalique hydrogène de potassium 2,125 g/l.

Solution carbonate hydrogène de sodium 3,5 g/l.

- Les analyses bactériologiques : se résument comme suit :

- Recherche et dénombrement des Coliformes : Méthode par ensemencement en milieu liquide par détermination du NPP (Norme NFT 90-413, 1985).
- Dénombrement d'*escherichia coli* : Méthode miniaturisée par ensemencement en milieu liquide par détermination du NPP (Norme NF EN ISO 9308-3, 1999)
- Recherche et dénombrement des Streptocoques du groupe D : Méthode par ensemencement en milieu liquide par détermination du NPP (Norme NFT 90-413, 1985).
- Recherche et dénombrement des Salmonella : Méthode par ensemencement en milieu solide (Norme ISO 6340, 1995).
- Recherche et dénombrement Clostridium sulfite-réducteurs : Méthode par ensemencement en milieu solide (Norme NFT 90-413, 1985).

# **Chapitre V**

## *Résultats et discussions*

## 5.1- Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées

La composition chimique d'une eau est un aspect très important dans la détermination des possibilités de son utilisation pour l'irrigation et d'autres usages. Dans cette partie du travail, nous allons étudier et évaluer l'importance de cette composition chimique aussi bien dans les eaux rejetées que dans la nappe phréatique. Le tableau n° X regroupe les résultats obtenus à différentes périodes au niveau des points de rejet (R1, R2 et R3) et des piézomètres (PZ1, PZ2 et PZ3).

### 5.1.1- Eaux usées

La température de l'eau est un élément essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques, elle dépend de l'ensoleillement et des échanges avec l'atmosphère.

Les températures enregistrées dans les eaux usées sont comprises entre 12,7 °C et 29,7 °C ( $T^{\circ}_{\text{moy}} = 22,36 \pm 7,65$  °C) au niveau du point de rejet R1, entre 11,1 °C et 30,6 °C ( $T^{\circ}_{\text{moy}} = 22,36 \pm 8,19$  °C) pour R2 et entre 10 °C et 33,5 °C ( $T^{\circ}_{\text{moy}} = 22,67 \pm 9,62$  °C) dans le R3. Les valeurs maximales sont obtenues au cours de la saison estivale, elle est influencée par la température atmosphérique.

Les valeurs de rejet R3 sont voisines des températures ambiantes par rapport au deux autres rejets, cela s'explique par sa localisation dans une zone très découverte, à proximité des dunes de sable dépourvues de végétation.

Le pH est un paramètre important dans l'étude des milieux aquatiques. Il est dépendant des mécanismes de transformations chimiques et biologiques. Les valeurs de pH mesurées dans les eaux usées gravitent autour de la neutralité avec une tendance vers l'alcalinité, elles se situent entre 7,05 et 7,9 dans le rejet R1, entre 7,12 et 8 dans le R2 et entre 7,2 et 8,05 dans le R3. Ces valeurs sont conformes aux normes de rejet algériennes ( $6,5 < \text{pH} < 8,5$ ) (Kebiche, 1999).

Parmi les facteurs qui influent sur les valeurs de pH, nous avons la température, l'activité photosynthétique et la salinité. En été on enregistre, dans les eaux usées des pH élevés de l'ordre de 8,05, et en hiver ces valeurs diminuent. Cette diminution hivernale semble être due au ralentissement de l'activité photosynthétique consommatrice de protons.

Les fluctuations globales de la charge chimique de l'eau peuvent être traduites par la détermination de la conductivité électrique qui est une fonction linéaire des ions dissous (El Achheb et al., 2001; Polan et al., 1998; Meybeck, 1986). Au cours du suivi mensuel, les valeurs de la conductivité électrique enregistrées dans les eaux usées oscillent de 6,1 à 23,1 mS.cm<sup>-1</sup> avec une moyenne de 11,4 mS.cm<sup>-1</sup>. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées en été (9,5 mS.cm<sup>-1</sup> au point de rejet R1, 13 mS.cm<sup>-1</sup> en R2 et 23,1 mS.cm<sup>-1</sup> en R3). C'est en hiver, qu'ont été mesurées les valeurs les plus faibles de conductivité (6,3 mS.cm<sup>-1</sup> en R1, 6,7 mS.cm<sup>-1</sup> en R2 et 9,7 mS.cm<sup>-1</sup> en R3).

Les valeurs montrent que les eaux des rejets sont caractérisées par une minéralisation modérée comparable aux eaux potables de la région (la nappe Mio-Pliocène varie de  $3 \text{ mS.cm}^{-1}$  au forage (721J10) à  $6,4 \text{ mS.cm}^{-1}$  dans le forage (761J10) et pour les eaux de la nappe sénonienne, elles sont moins chargées, leur conductivité ne dépasse pas généralement la valeur de  $3 \text{ mS.cm}^{-1}$ ) (Idder, 1998). Cette augmentation de la conductivité dans les rejets est due aux apports de sels après leurs utilisations.

La conductivité de l'eau usée augmente logiquement vers l'aval ( $R1 < R2 < R3$ ). Ces variations s'expliquent par la composition des dépôts rocheux et des dépôts meubles et par la faible vitesse d'écoulement (contact prolongé avec le milieu). Ainsi sous l'effet de l'évaporation, elles deviennent de plus en plus concentrées pendant leur trajet, en plus de l'apport des eaux de drainage. Pour le rejet R3, on note l'effet non négligeable de la remonter de la nappe à son niveau.

L'évolution saisonnière de ce paramètre, est caractérisée par de fortes valeurs de conductivité électrique en été par rapport à l'hiver. Suivant les campagnes, il y a une augmentation de la salinité telle que perçue pour le rejet R1 où la CE commence de  $6,3 \text{ mS.cm}^{-1}$  dans la 1<sup>ère</sup> campagne et arrive à  $23,1 \text{ mS.cm}^{-1}$  dans la 8<sup>ème</sup> campagne. On constate une augmentation de plus de 50 %. Cette augmentation estivale semble être due aux phénomènes d'évaporation sous l'effet de la température, très importante durant cette période, puisque la conductivité en est dépendante (elle augmente le coefficient de dissolution des sels) (Rodier, 1996).

### 5.1.2- Eaux de la nappe phréatique à proximité des points de rejet

La température des eaux de la nappe phréatique est assez homogène. Les valeurs s'échelonnent de  $18,9 \text{ °C}$  à  $29,4 \text{ °C}$  ( $T^{\circ}_{\text{moy}} = 24,65 \text{ °C}$ ) au niveau du piézomètre PZ1, de  $18,7 \text{ °C}$  à  $29,8 \text{ °C}$  ( $T^{\circ}_{\text{moy}} = 25,1 \text{ °C}$ ) en PZ2 et de  $17,8$  à  $30 \text{ °C}$  ( $T^{\circ}_{\text{moy}} = 25,9 \text{ °C}$ ) en PZ3. Ces résultats mettent en évidence une évolution saisonnière similaire dans les trois piézomètres avec des eaux plus chaudes en été et plus froides en hiver.

En comparant les valeurs de la température obtenue des eaux avec la température moyenne atmosphérique de la journée de prélèvement, on remarque une légère augmentation en période hivernale, alors qu'on enregistre une évolution inverse pendant la période estivale.

L'eau du dernier piézomètre PZ3 est souvent plus chaude que celle des autres piézomètres du fait de la faible profondeur ( $H = 1,95 \text{ m}$ ). En outre, il est à craindre que durant la saison chaude, les eaux de la nappe soient légèrement plus fraîches. En fait, pendant la période d'été, l'eau de surface s'échauffe et devient plus chaude que les eaux en profondeur. Le phénomène s'inverse en hiver.

La variation saisonnière de la température dans les piézomètres est élevée, ce qui indique une variabilité considérable de ce paramètre. Cette variabilité est probablement liée à la profondeur de la nappe. Les puits dont les profondeurs sont inférieures à  $5 \text{ m}$ , sont plus influencés par les conditions climatiques (El Achheb et *al.*, 2001; Makoutde et *al.*, 1999; Rosen & Jones, 1998). Ce qui correspond à l'ouverture du système aquifère, donc sa vulnérabilité vis-à-vis de la pollution. Il convient de souligner qu'une eau à une température située entre  $25 \text{ °C}$  et  $28 \text{ °C}$  constitue un bon milieu de culture pour les micro-

organismes de l'environnement. Ce qui veut dire que l'élévation de la température des eaux de la nappe crée des conditions favorables à la pollution (Makoutde et *al.*, 1999; Rodier, 1996).

Les valeurs du pH mesurées se situent entre 7,05 et 8,3 au niveau du piézomètre PZ1, entre 7,15 et 8,6 en PZ2 et entre 7,22 et 8,8 en PZ3.

On constate que ces valeurs sont légèrement variables d'un point à un autre, ce qui dénote, que les valeurs de pH ne présentent pas de corrélation avec les principales utilisations du sol. Elles sont presque exclusivement déterminées par la géologie de l'aquifère ou plutôt la teneur en carbonates des sols (Rodier, 1996). Cependant, son évolution temporelle est très importante.

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées montrent des fluctuations très importantes pour l'ensemble des piézomètres, allant de 15,7 mS.cm<sup>-1</sup> à 21,7 mS.cm<sup>-1</sup> (CE<sub>moy</sub>= 17,77 mS.cm<sup>-1</sup>) au niveau du piézomètre PZ1, de 30,3 mS.cm<sup>-1</sup> à 64,4 mS.cm<sup>-1</sup> (CE<sub>moy</sub>= 48,42 mS.cm<sup>-1</sup>) en PZ2 et de 195,4 mS.cm<sup>-1</sup> et 227,5 mS.cm<sup>-1</sup> (CE<sub>moy</sub>= 212,87 mS.cm<sup>-1</sup>) en PZ3. Les valeurs les plus fortes sont observées dans le piézomètre PZ3 situé respectivement au milieu d'une sebkha, à l'aval de la zone étudiée. Les faibles valeurs sont observées dans le PZ1 (situé à l'amont en dehors du sens d'écoulement).

Les valeurs de la conductivité électrique de piézomètre PZ2 > PZ1, cela est dû à l'effet de pompage au niveau de PZ2 (fluctuation du niveau de la nappe provoque la dissolution des éléments présente dans les sédiments). Les valeurs très élevées de PZ3 sont dues à sa situation dans une sebkha où on distingue l'affleurement de l'eau pendant la période hivernale.

Nous avons pu constater que la salinité augmente généralement suivant les axes d'écoulement de la nappe. Ceci est dû, vraisemblablement, au lessivage des sels qui se concentrent dans le sol sous l'influence de l'évaporation, et qui chargent progressivement la nappe.

Le taux d'augmentation de la salinité suivant les compagnes est faible contrairement aux rejets, elle atteint 17 % dans le PZ1, 12,64 % dans le PZ2 et 10,31 % dans le PZ3. Sa variation au niveau du PZ3 est faible, vu son approche du seuil de saturation.

La matrice de corrélation entre la conductivité électrique et les éléments chimiques montre que la conductivité électrique des eaux de la nappe phréatique est influencée par tous les éléments majeurs surtout par les chlorures, sulfates, sodiums et magnésiums (les corrélations sont très hautement significatives). Alors que la relation entre les bicarbonates et la conductivité indique que les bicarbonates n'ont pas de rôle déterminant dans la salinité. Globalement la variation de la minéralisation est liée essentiellement aux chlorures; les eaux les plus chargées en sels sont les plus chlorurées.

Tableau X: Evaluation spatio-temporel de valeurs de la température, du pH et de la conductivité électrique des eaux résiduaires et les eaux de la nappe phréatique.

Date	Site	T (°C)	pH	C.E (mS/cm)	T <sub>atm</sub> (°C)
12/01/2005	R1	12,7	7,05	6,3	9,6
	R2	11,1	7,12	6,7	
	R3	10,0	7,20	9,7	
	PZ1	18,9	7,05	15,7	
	PZ2	18,7	7,15	30,3	
	PZ3	17,8	7,22	195,4	
17/02/2005	R1	13,1	7,33	6,6	11,6
	R2	12,5	7,36	7,3	
	R3	11,1	7,38	13,3	
	PZ1	22,5	7,28	16,2	
	PZ2	20,1	7,30	37,0	
	PZ3	18,6	7,40	206,3	
18/03/2005	R1	17,6	7,45	7,5	13,1
	R2	16,9	7,50	8,8	
	R3	15,6	7,55	15,8	
	PZ1	22,7	7,57	16,7	
	PZ2	21,7	7,66	42,8	
	PZ3	25,1	7,77	210,0	
01/04/2005	R1	18,4	7,69	7,7	22,4
	R2	20,1	7,76	9,6	
	R3	20,2	7,82	16,6	
	PZ1	22,5	7,70	17,0	
	PZ2	26,6	7,74	47,4	
	PZ3	28,9	7,90	211,5	
29/04/2005	R1	28,3	7,70	8,4	29
	R2	28,4	7,75	9,7	
	R3	29,0	7,80	17,0	
	PZ1	26,1	7,75	17,5	
	PZ2	26,9	7,85	49,6	
	PZ3	28,2	7,98	215,0	
26/05/2005	R1	29,5	7,78	8,5	32
	R2	29,5	7,83	10,6	
	R3	30,0	7,90	18,7	
	PZ1	27,3	7,92	18,3	
	PZ2	28,5	8,03	55,0	
	PZ3	28,9	8,30	218,0	
24/06/2005	R1	29,6	7,80	8,7	33,1
	R2	219,8	7,90	11,5	
	R3	32,0	8,00	21,1	
	PZ1	28,1	8,07	18,9	
	PZ2	28,5	8,30	59,8	
	PZ3	29,7	8,70	222,0	
21/07/2005	R1	29,7	7,90	9,5	37,9
	R2	30,6	8,00	13,0	
	R3	33,5	8,05	23,1	
	PZ1	29,4	8,30	21,7	
	PZ2	29,8	8,60	64,4	
	PZ3	30,0	8,80	227,5	

## 5.2- Composition chimique des eaux

La composition chimique des eaux dépend essentiellement de la composition géologique des milieux traversés et des temps de séjour. Il est régi par les éléments de origine environnemental ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) et des éléments d'origine biologique ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

Les résultats des analyses chimiques de l'ensemble des eaux usées et de la nappe phréatique suivant les compagnes sont indiqués dans les tableaux XI à XVIII.

### 5.2.1- Faciès hydrochimiques des eaux

#### 5.2.1.1- Diagramme de Piper

Pour comparer les analyses entre elles et mettre en évidence le type d'anion ou de cation dominant, on a représenté les résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper.

Les diagrammes de Piper relatifs à ces eaux (figure 23 et 24) nous ont permis de constater que toutes les eaux usées et les eaux de la nappe phréatique ont un faciès chloruré sodique. Cependant, la richesse des rejets en sulfate place leurs eaux, très proches des eaux sulfatées sodiques. Ceci permet d'avancer qu'une légère fluctuation de la composition des rejets peut engendrer le passage d'une classe à une autre.

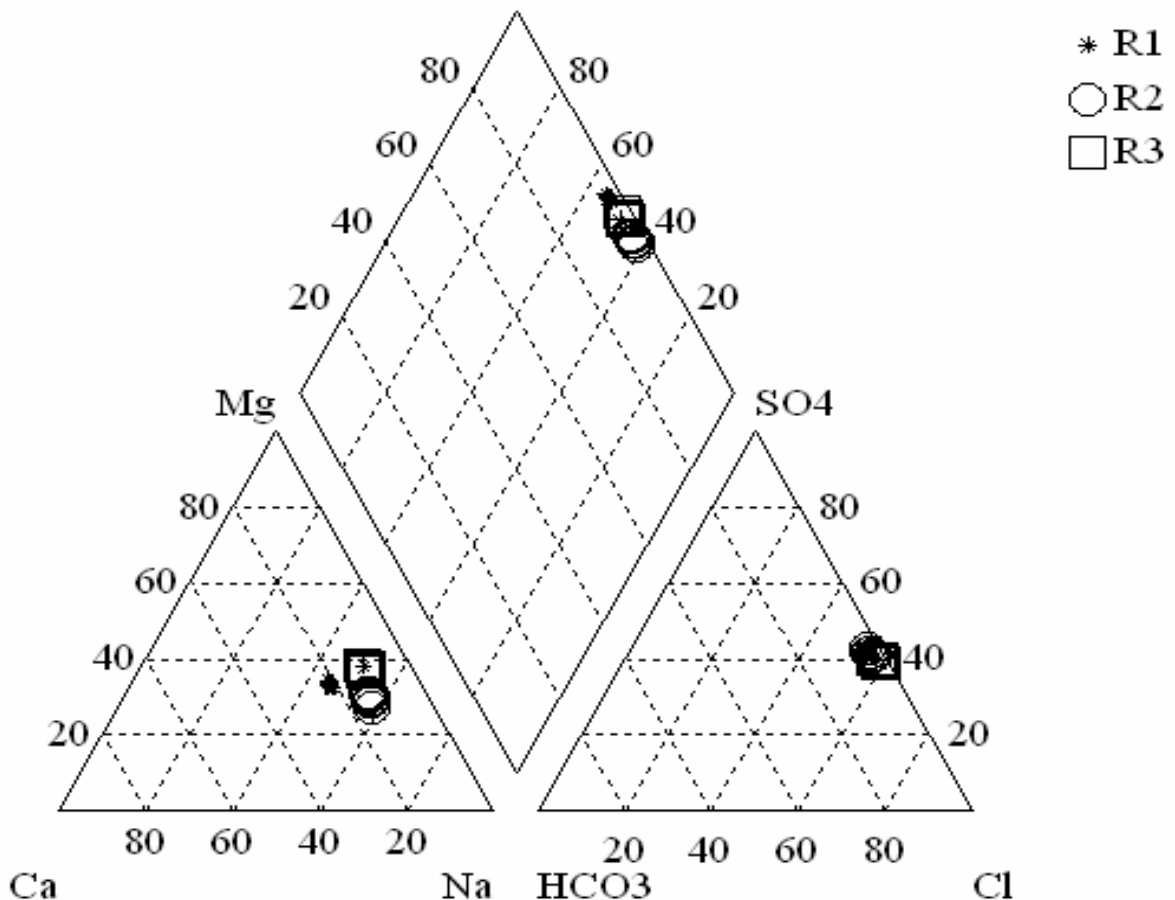


Figure 23: Représentation de la composition chimique des eaux des rejets de la région de Ouargla dans le diagramme de Piper.



Tableau XI : Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 12/01/2005.

	Ca <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SAR meq.l <sup>-1</sup>	
<b>R1</b>	318,09	298,59	64,78	808,76	42	0	111,02	1620,38	61,71	1529,96	2,42	0,71	6,63	
<b>R2</b>	221,03	249,79	171,39	1006,81	19,26	0	140,3	1581,51	48,49	1619,67	1,98	0,66	9,48	
<b>R3</b>	235,15	514,37	139,37	1358,90	11,18	0	141,52	2402,70	17,36	2272,40	1,73	0,39	5,74	
<b>PZ1</b>	781,44	761,68	220,29	2549,58	41,40	0	108,58	3997,38	24,80	4968,17	0,50	0,27	13,22	
<b>PZ2</b>	1517,52	1917,1	36,3	4284,53	16,6	0	239,12	8606,24	9,92	8786,09	0,31	0,23	14,98	
<b>PZ3</b>	7674,04	7791,47	4236,18	36987,72	6,30	0	258,64	58379,01	6,30	52616,02	0,19	0,03	60,64	
	Ca <sup>2+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> Meq.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Anions meq.l <sup>-1</sup>	Cation meq.l <sup>-1</sup>
<b>R1</b>	15,86	24,57	1,65	35,16	2,33	0	1,82	45,64	1,99	31,84	0,05	0,03	79,59	81,37
<b>R2</b>	11,02	20,55	4,38	43,77	1,07	0	2,3	44,54	1,56	33,71	0,04	0,03	80,81	82,19
<b>R3</b>	11,73	42,33	3,56	59,08	0,62	0	2,32	67,68	0,56	47,29	0,04	0,02	117,33	117,91
<b>PZ1</b>	38,97	62,69	5,63	110,85	2,30	0	1,78	112,60	0,80	103,40	0,01	0,01	220,45	218,60
<b>PZ2</b>	75,68	157,78	9,34	186,28	0,92	0	3,92	242,42	0,32	182,85	0,01	0,01	430,02	429,54
<b>PZ3</b>	382,75	641,27	108,34	1608,16	0,35	0	4,24	1644,48	0,20	1095,03	0,00	0,00	2740,87	2743,95

Tableau XII: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 17/02/2005.

	Ca <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SAR meq.l <sup>-1</sup>	
<b>R1</b>	338,86	322,63	74,88	848,74	47,1	0	125,66	1699,73	67,88	1696,33	2,6	0,88	6,72	
<b>R2</b>	239,09	295,87	179,53	1112,92	21,17	0	143,96	1708,02	51,38	1743,27	2,1	0,68	9,86	
<b>R3</b>	371,93	791,21	219,83	2056,20	12,71	0	172,02	3674,80	22,82	3427,40	1,94	0,52	7,15	
<b>PZ1</b>	798,29	788,35	240,85	2617,67	41,75	0	109,80	4112,54	31,06	5081,42	0,53	0,30	13,39	
<b>PZ2</b>	1942,52	2422,30	457,08	5360,48	19,77	0	248,88	10261,49	12,60	11028,53	0,33	0,29	16,62	
<b>PZ3</b>	7748,95	8139,69	4255,13	37395,83	7,50	0	274,50	60076,29	8,26	52966,02	0,21	0,07	60,53	
	Ca <sup>2+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> Meq.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Meq.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Anions meq.l <sup>-1</sup>	Cation meq.l <sup>-1</sup>
<b>R1</b>	16,90	26,55	1,91	36,90	2,61	0	2,06	47,87	2,18	35,30	0,05	0,04	84,88	87,52
<b>R2</b>	11,92	24,35	4,59	48,38	1,18	0	2,36	48,11	1,66	36,28	0,04	0,03	90,43	88,48
<b>R3</b>	18,55	65,12	5,62	89,40	0,71	0	2,82	103,52	0,74	71,33	0,04	0,02	179,40	178,46
<b>PZ1</b>	39,81	64,88	6,16	113,81	2,32	0	1,80	115,85	1,00	105,75	0,01	0,01	226,99	224,42
<b>PZ2</b>	96,88	199,37	11,69	233,06	1,09	0	4,08	289,06	0,41	229,52	0,01	0,02	542,1	523,08
<b>PZ3</b>	386,48	669,93	108,83	1625,91	0,42	0	4,50	1692,29	0,27	1102,31	0,00	0,00	2791,56	2799,37

Tableau XIII: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 18/03/2005.

	Ca <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SAR meq.l <sup>-1</sup>	
<b>R1</b>	369,75	354,39	91,78	966,93	49,83	0	143,96	1866,8	86,78	1822,85	2,73	0,92	7,32	
<b>R2</b>	287,32	378,03	184,99	1345,13	23,8	0	160,6	2129,87	60,32	2077,15	2,18	0,71	10,70	
<b>R3</b>	476,75	978,41	239,51	2452,90	13,23	0	186,66	4559,50	27,90	4241,40	2,06	0,55	8,00	
<b>PZ1</b>	816,18	797,01	265,82	2648,47	42,50	0	111,02	4184,29	34,33	5107,98	0,57	0,34	13,43	
<b>PZ2</b>	2190,57	2761,39	497,5	6166,32	21,14	0	252,54	11772,68	14,26	12636,24	0,35	0,31	17,96	
<b>PZ3</b>	7810,28	8337,65	4310,52	38081,66	7,60	0	275,72	60898,95	9,92	54268,72	0,23	0,09	61,17	
	Ca <sup>2+</sup> Meq.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Anions meq.l <sup>-1</sup>	Cation meq.l <sup>-1</sup>
<b>R1</b>	18,44	29,16	2,34	42,04	2,76	0	2,36	52,58	2,79	37,93	0,05	0,04	94,76	95,77
<b>R2</b>	14,33	31,11	4,73	58,48	1,32	0	2,63	59,99	1,94	43,22	0,04	0,03	109,98	107,88
<b>R3</b>	23,78	80,53	6,13	106,65	0,74	0	3,06	128,44	0,90	88,27	0,04	0,02	217,81	220,73
<b>PZ1</b>	40,71	65,60	6,80	115,15	2,36	0	1,82	117,87	1,11	106,31	0,01	0,01	230,62	227,13
<b>PZ2</b>	109,25	227,27	12,72	268,10	1,17	0	4,14	331,62	0,46	262,98	0,01	0,01	618,53	599,23
<b>PZ3</b>	389,54	686,23	110,24	1655,72	0,42	0	4,52	1715,46	0,32	1129,42	0,00	0,00	2842,16	2849,73

Tableau XIV: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 01/04/2005.

	Ca <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SAR me.l <sup>-1</sup>	
<b>R1</b>	381,16	379,09	100,41	996,33	52,89	0	151,5	2008,72	90,36	1968,13	2,81	0,99	7,36	
<b>R2</b>	316,87	416,8	177,24	1519,56	24,6	0	180,56	2191,72	66,81	2241,74	2,38	0,75	11,51	
<b>R3</b>	485,27	1023,10	284,24	2674,50	13,52	0	202,52	4867,95	31,01	4410,70	2,17	0,59	8,14	
<b>PZ1</b>	830,04	816,66	284,69	2751,11	44,70	0	117,12	4232,05	36,46	5350,24	0,59	0,46	13,81	
<b>PZ2</b>	2421,08	3056,19	608,89	6825,62	22,26	0	258,64	12993,77	17,78	14001,23	0,37	0,32	18,90	
<b>PZ3</b>	7966,39	8366,34	4505,87	38601,22	8,50	0	289,14	60979,29	11,16	56028,87	0,25	0,12	61,63	
	Ca <sup>2+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Anions meq.l <sup>-1</sup>	Cation meq.l <sup>-1</sup>
<b>R1</b>	19,01	31,20	2,57	43,32	2,94	0	2,48	56,58	2,91	40,96	0,06	0,04	99,04	103,04
<b>R2</b>	15,80	34,30	4,53	66,07	1,37	0	2,96	61,74	2,16	46,65	0,05	0,03	122,08	113,59
<b>R3</b>	24,20	84,21	7,27	116,28	0,75	0	3,32	137,13	1,00	91,79	0,05	0,03	232,71	233,31
<b>PZ1</b>	41,40	67,21	7,28	119,61	2,48	0	1,92	119,21	1,18	111,35	0,01	0,02	237,99	233,69
<b>PZ2</b>	120,75	251,53	15,57	296,77	1,24	0	4,24	366,02	0,57	291,39	0,01	0,01	685,87	662,25
<b>PZ3</b>	397,33	688,59	115,24	1678,31	0,47	0	4,74	1717,73	0,36	1166,05	0,01	0,01	2879,94	2888,89

Tableau XV: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 29/04/2005.

	Ca <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SAR meq.l <sup>-1</sup>	
<b>R1</b>	396,32	402,2	108,17	1019,95	70,15	0	168,36	2161,79	93,9	2104,86	2,86	1,03	7,36	
<b>R2</b>	332,44	463,55	192,64	1556,41	24,9	0	189,1	2293,94	72,03	2427,61	2,58	0,77	332,44	
<b>R3</b>	502,25	1024,70	298,94	2761,80	14,61	0	254,98	5022,80	36,59	4484,80	2,25	0,64	8,20	
<b>PZ1</b>	864,87	838,48	299,97	2904,08	49,20	0	118,34	4321,16	40,12	5571,64	0,64	0,49	14,33	
<b>PZ2</b>	2536,67	3191,86	669,06	7134,58	23,25	0	259,86	13616,99	19,50	14656,66	0,39	0,35	19,32	
<b>PZ3</b>	7975,72	8375,05	4526,94	39268,32	8,89	0	317,20	61454,78	11,42	57225,00	0,26	0,18	62,66	
	Ca <sup>2+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Anions meq.l <sup>-1</sup>	Cation meq.l <sup>-1</sup>
<b>R1</b>	19,77	33,10	2,77	44,34	3,90	0	2,76	60,89	3,029	43,80	0,06	0,04	103,88	110,59
<b>R2</b>	16,58	38,15	4,93	67,67	1,38	0	3,1	64,62	2,32	50,52	0,05	0,03	128,71	16,58
<b>R3</b>	25,05	84,34	7,65	120,08	0,81	0	4,18	141,49	1,18	93,34	0,05	0,03	237,92	240,26
<b>PZ1</b>	43,14	69,01	7,67	126,26	2,73	0	1,94	121,72	1,29	115,96	0,01	0,02	248,82	240,95
<b>PZ2</b>	126,52	262,70	17,11	310,20	1,29	0	4,26	383,58	0,63	305,03	0,01	0,01	717,82	693,52
<b>PZ3</b>	397,79	689,30	115,78	1707,32	0,49	0	5,20	1731,12	0,37	1190,95	0,01	0,01	2910,69	2927,65

Tableau XVI: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 26/05/2005.

	Ca <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SAR meq.l <sup>-1</sup>	
<b>R1</b>	425,25	429,19	145,14	1049,26	73,56	0	185,88	2214,26	114,02	2164,46	2,95	1,12	7,32	
<b>R2</b>	387,71	498,67	197,55	1887,62	25,47	0	207,4	2790,01	80,38	2722,27	2,67	0,83	13,00	
<b>R3</b>	579,80	1142,15	310,93	3011,20	15,48	0	261,08	5588,40	40,69	4919,70	2,35	0,71	8,71	
<b>PZ1</b>	900,55	902,92	319,11	3000,7	52,80	0	120,78	4695,89	43,15	5811,48	0,69	0,51	14,40	
<b>PZ2</b>	2812,23	3573,11	755,7	7957,23	23,81	0	265,96	15193,54	21,70	16351,44	0,41	0,36	20,41	
<b>PZ3</b>	8110,56	8426,00	4676,07	39897,10	9,18	0,02	345,26	61904,11	13,50	58319,03	0,27	0,23	63,29	
	Ca <sup>2+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Anions meq.l <sup>-1</sup>	Cation meq.l <sup>-1</sup>
<b>R1</b>	21,21	35,32	3,71	45,62	4,09	0	3,05	62,37	3,68	45,05	0,06	0,03	109,95	114,25
<b>R2</b>	19,34	41,04	5,05	82,07	1,41	0	3,40	78,59	2,59	56,65	0,06	0,04	148,92	141,33
<b>R3</b>	28,92	94,00	7,95	130,92	0,86	0	4,28	157,42	1,31	102,39	0,05	0,03	262,66	265,48
<b>PZ1</b>	44,92	74,31	8,16	130,47	2,93	0	1,98	132,28	1,39	120,95	0,01	0,02	260,79	256,63
<b>PZ2</b>	140,26	294,08	19,33	345,97	1,32	0	4,36	427,99	0,70	340,30	0,01	0,01	800,96	773,37
<b>PZ3</b>	404,52	693,50	119,59	1734,66	0,51	0	5,66	1743,78	0,44	1213,72	0,01	0,01	2952,77	2963,61

Tableau XVII: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 24/06/2005.

	Ca <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SAR meq.l <sup>-1</sup>	
<b>R1</b>	445,26	445.44	151.28	1129.81	76,21	0	209,06	2274,00	127,3	2254,46	3,02	1,27	7,72	
<b>R2</b>	424,24	581.92	216.77	2017.4	27,97	0	224,48	2975,64	93,86	2964,81	2,69	0,88	13,06	
<b>R3</b>	645,98	1279.70	323.86	3418.50	16,10	0	281,82	6202,00	43,41	5674,30	2,50	0,87	9,21	
<b>PZ1</b>	925,72	927.74	349.22	3025.74	54,60	0	123,22	4782,96	44,65	5940,26	0,73	0,53	14,32	
<b>PZ2</b>	3105,08	3807.55	846.52	8268.97	24,82	0,18	267,18	16362,03	22,32	17582,41	0,42	0,37	20,04	
<b>PZ3</b>	8478,87	8846.00	4787.66	40738.00	12,00	0,52	359,90	63585,50	15,28	60017,95	0,28	0,33	63,14	
	Ca <sup>2+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Anions meq.l <sup>-1</sup>	Cation meq.l <sup>-1</sup>
<b>R1</b>	22,21	36,66	3,87	49,12	4,23	0	3,43	64.06	4,11	46,92	0,06	0,05	116,09	118,63
<b>R2</b>	21,16	47,89	5,54	87,713	1,55	0	3,68	83.82	3,03	61,70	0,06	0,04	163,86	152,33
<b>R3</b>	32,22	105,33	8,28	148,63	0,89	0	4,62	174.70	1,40	118,09	0,05	0,04	295,35	298,91
<b>PZ1</b>	46,17	76,36	8,93	131,55	3,03	0	2,02	134.73	1,44	123,63	0,02	0,02	266,05	261,86
<b>PZ2</b>	150,87	310,38	21,65	350,52	1,38	0,01	4,38	460.90	0,72	365,92	0,01	0,02	834,79	831,95
<b>PZ3</b>	422,89	728,07	122,45	1771,22	0,67	0,02	5,90	1791.14	0,49	1249,07	0,01	0,01	3045,28	3046,64

Tableau XVIII: Composition chimique des eaux des rejets et de la nappe phréatique pendant la campagne de 21/07/2005.

	Ca <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SAR meq.l <sup>-1</sup>	
<b>R1</b>	471,01	463,32	153,90	1186,48	78,39	0	219,6	2417,16	130,43	2415,07	3,08	1,35	7,91	
<b>R2</b>	455,12	666,04	230,01	2255,91	32,10	0	233,02	3531,66	107,39	3454,10	2,77	0,91	13,86	
<b>R3</b>	713,09	1426,90	337,09	3727,60	16,98	0,03	314,76	6765,83	45,50	6215,50	2,58	0,98	9,71	
<b>PZ1</b>	1073,57	1075,83	372,58	3530,72	59,60	0,20	126,88	5617,36	48,15	6771,14	0,76	0,55	15,52	
<b>PZ2</b>	3130,99	3962,29	853,03	9462,15	27,86	0,48	270,84	17952,17	24,94	18752,96	0,44	0,39	23,03	
<b>PZ3</b>	8609,57	8966,80	4920,10	41587,33	12,09	0,62	362,34	65219,07	15,38	60932,28	0,30	0,36	63,99	
	Ca <sup>2+</sup> Meq.l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> meq.l <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> meq.l <sup>-1</sup>	Anions meq.l <sup>-1</sup>	Cation meq.l <sup>-1</sup>
<b>R1</b>	23,49	38,13	3,94	51,59	4,35	0	3,6	68,09	4,21	50,26	0,06	0,06	121,50	126,28
<b>R2</b>	22,70	54,81	5,88	98,08	1,78	0	3,82	99,48	3,46	71,88	0,06	0,04	183,26	178,75
<b>R3</b>	35,57	117,44	8,62	162,07	0,94	0	5,16	190,59	1,47	129,35	0,05	0,04	324,64	326,67
<b>PZ1</b>	53,54	88,55	9,53	153,51	3,31	0	2,08	158,24	1,55	140,92	0,02	0,02	308,44	302,83
<b>PZ2</b>	156,16	326,11	21,82	411,39	1,55	0,02	4,44	505,69	0,80	390,28	0,01	0,02	917,04	901,26
<b>PZ3</b>	429,40	738,01	125,83	1808,14	0,67	0,02	5,94	1837,16	0,50	1268,10	0,01	0,02	3102,06	3111,74

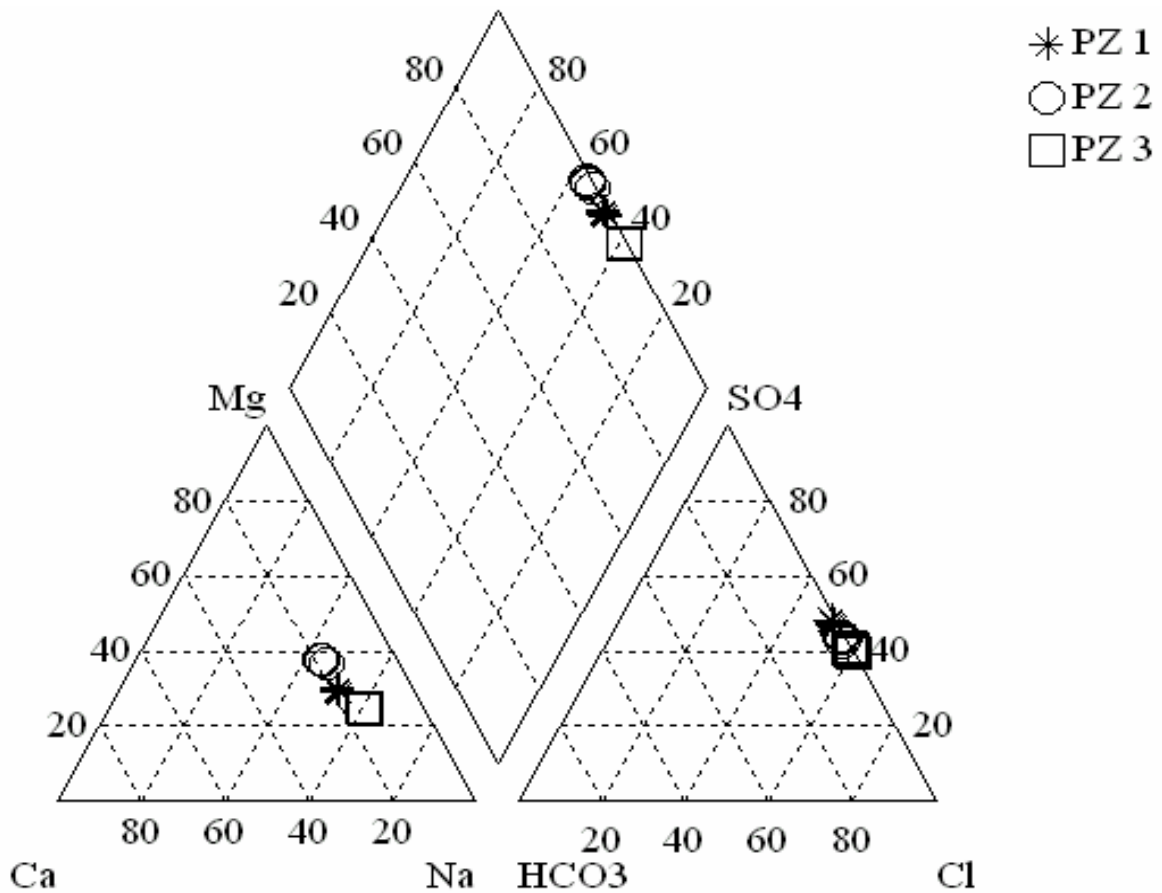


Figure 24: Représentation de la composition chimique des eaux de la nappe phréatique de la région de Ouargla dans le diagramme de Piper.

### 5.2.1.2- Diagrammes logarithmiques

La représentation sur le diagramme logarithmique de la composition chimique des eaux étudiées (figure 25 et 26) permet d'aboutir aux mêmes conclusions que précédentes à savoir que les eaux usées et les eaux de la nappe phréatique ont une dominance des ions chlorurés sodiques.

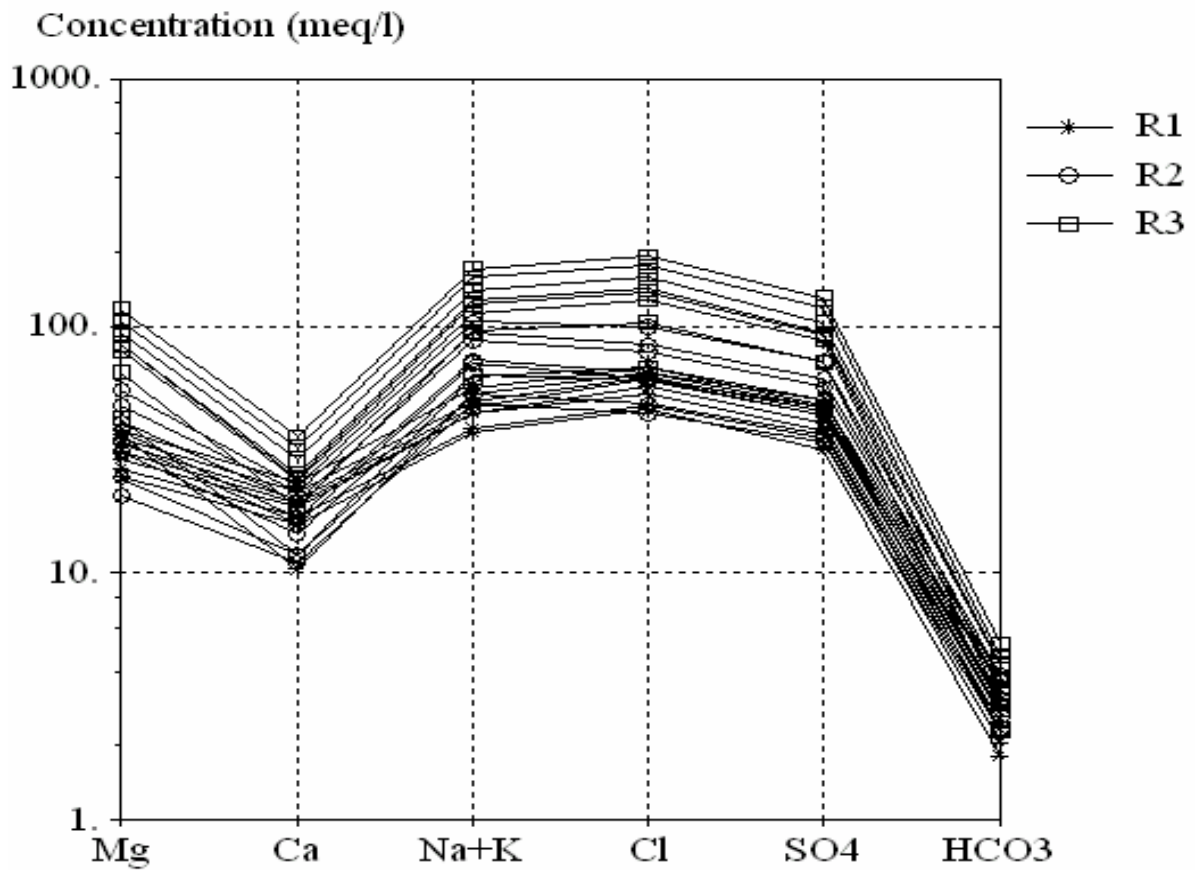


Figure 25: Diagramme logarithmique de Schoëller pour les eaux usées.

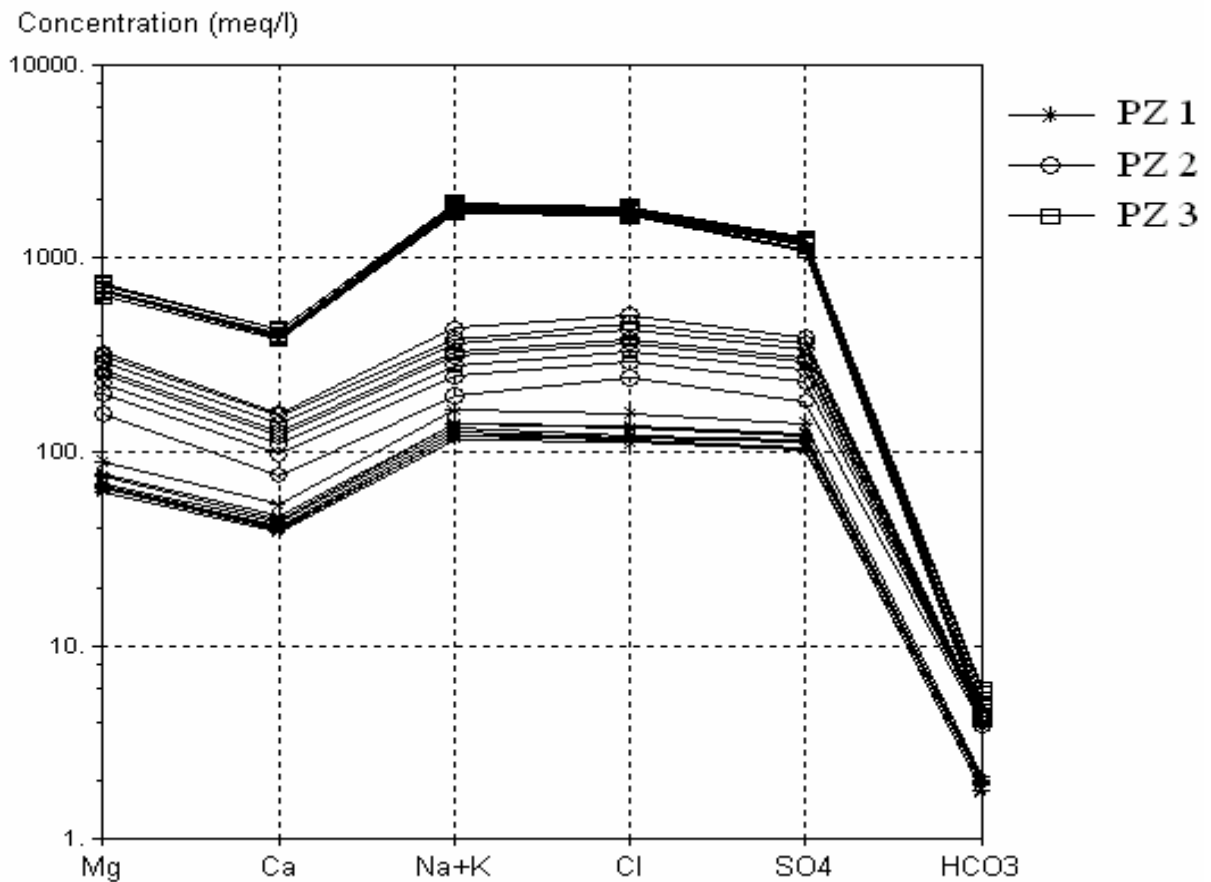


Figure 26: Diagramme logarithmique de Schoëller pour les eaux de la nappe phréatique.

## 5.2.2- Profils ioniques des eaux

### 5.2.2.1- Profils ioniques des eaux de rejets

Les anions se classent dans l'ordre de concentration  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ , le rapport  $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$  est de 1,38.

Le classement des cation s'établit dans l'ordre  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$ , avec un rapport  $\text{Mg}^{++} / \text{Ca}^+$  égale à 0,51.

L'évolution spatiale de la composition anionique (figure 27) est caractérisée par une nette augmentation de l'anion dominant ( $\text{Cl}^-$ ), puisque sa concentration passe, d'amont en aval, de 45,64  $\text{m}^{\text{eq}}.\text{l}^{-1}$  à 197,35  $\text{m}^{\text{eq}}.\text{l}^{-1}$ , en pourcentage de la somme des anions, elle varie de 53,91 %, au départ, pour se maintenir aux environs de 59 % à partir de rejet R3. La concentration des ions  $\text{SO}_4^{2-}$  suit la même évolution, et le rapport  $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$  demeure à toutes les étapes inférieur à 1,5. La teneur en ions  $\text{HCO}_3^-$  se maintient à des valeurs faibles relativement constantes.

Pour les cations (figure 28), la concentration des ions  $\text{Na}^+$  augmente de 35,16  $\text{m}^{\text{eq}}.\text{l}^{-1}$  à 162,07  $\text{m}^{\text{eq}}.\text{l}^{-1}$ , et en pourcentage des cations elle passe de 42,45 % à 49,92 %.

L'évolution de la teneur en ions  $\text{Mg}^{2+}$  suit celle des  $\text{Na}^+$ , elle passe de 31,38 % à 36,17 %. La proportion des ions  $\text{Ca}^{2+}$  diminue de manière significative, elle passe de 19,33 % à 10,95 %, et la variation du rapport  $\text{Ca} / \text{Mg}$  traduit un appauvrissement de  $\text{Ca}^{2+}$  aux dépens des ions  $\text{Mg}^{2+}$ .

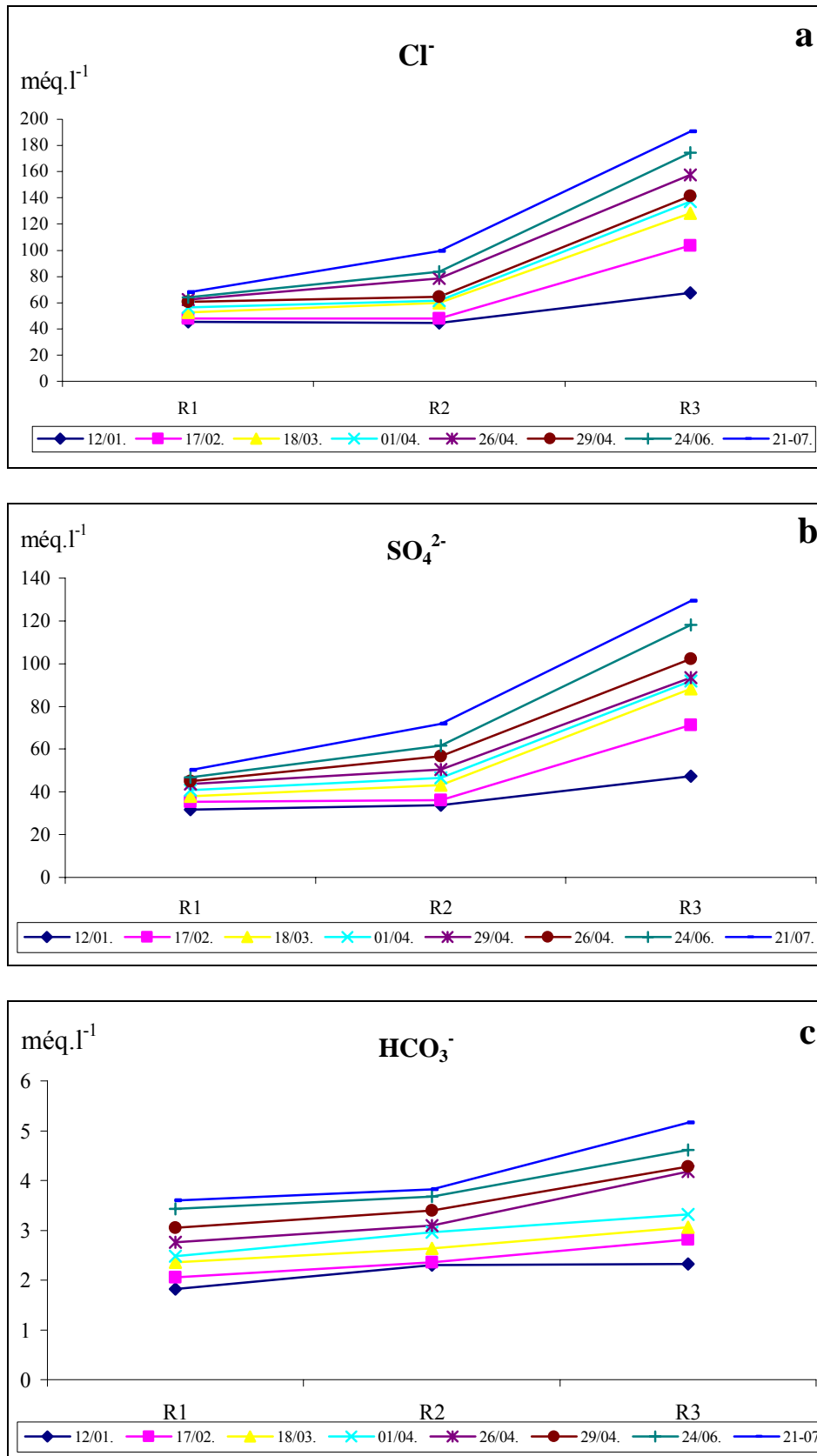
### 5.2.2.2- Bilan ionique des eaux de la nappe phréatique

Dans le diagramme des anions, les points forment un nuage relativement proche du pôle chlore. Dans les régions citées, malgré la dominance des chlorures, les concentrations en sulfates demeurent très élevées. Les eaux ont un profil hyper-chloruré et hyper-sulfaté. Dans toutes les régions, les bicarbonates sont présents en très faibles quantités, leur proportion se situe entre 3,6 et 5,16  $\text{m}^{\text{eq}}.\text{l}^{-1}$  de la somme totale des anions. Les pourcentages des anions de tous les points varient dans les intervalles suivants :  $51,45 \% < \text{Cl}^- < 60,47 \%$ ,  $41 \% < \text{SO}_4^{2-} < 48,12 \%$  et  $0,19 \% < \text{HCO}_3^- < 0,77 \%$ . De cela, on déduit une dominance de l'ion chlorure et sulfate.

Dans le diagramme des cations, la plupart des points se situent dans la zone centrale avec une tendance remarquable vers le pôle sodique, donc l'ion  $\text{Na}^+$  est toujours le plus abondant et son pourcentage peut dépasser 50 % de la somme des cations. Les eaux ont un caractère sodique net dans le chott et sebkha Oum Rhaneb, c'est-à-dire dans les régions qui sont caractérisées par les plus fortes valeurs de conductivité électrique et dont la salinité, exprimée par la somme des ions, dépasse celle de l'eau de mer.

L'ion  $\text{Mg}^{2+}$  succède à l'ion  $\text{Na}^+$ , alors que l'ion  $\text{K}^+$  présente toujours les taux les plus faible dans toutes les régions. L'ordre de classement des cations est donc :  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ .

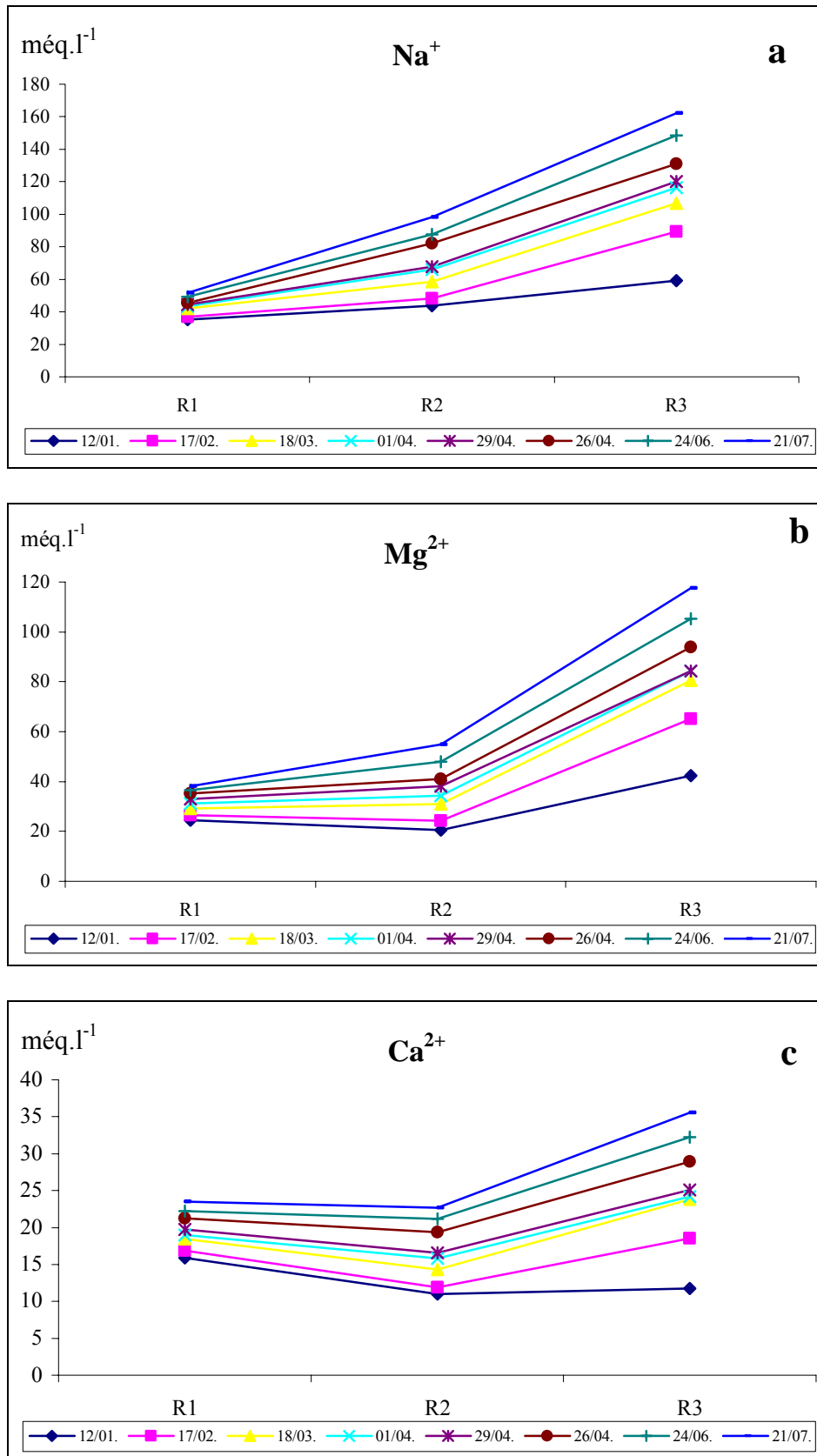
L'ordre de répartition des anions et des cations dans la nappe phréatique correspond à celui trouvé pour la solution du sol (dominance de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ ) (Nezli, 2004; Hamdi Aissa, 2001; Idder, 1998). Ceci n'est en effet pas surprenant dans la mesure où cette nappe, du fait de sa faible profondeur n'atteint pas 2 m dans les zones de prélèvement, se trouve directement responsable de la distribution des ions dans le profil pédologique.



a: Ion du chlorure; b: Ion du sulfate; c: Ion du bicarbonate;

Figure 27: Evolution spatiotemporelle des anions dans les eaux usées.





a: Ion du sodium; b: Ion du magnésium; c: Ion du calcium;

Figure 28: Evolution spatiotemporelle des cations dans les eaux usées.

### 5.3- Aptitude des eaux de la nappe phréatique à l'utilisation

Les principales caractéristiques des eaux de la nappe phréatique de la région, sont les teneurs excessives en éléments chimiques majeurs, surtout en ce qui concerne : les chlorures, les sulfates, associées à des pH alcalins, des conductivités excessive et des duretés importante.

Les eaux de la nappe phréatique, présentent des duretés dépassant 100 °F; elles sont donc très dures (Rodier, 1996).

La majorité des eaux de la nappe phréatique présente des teneurs en chlorures et sulfates au dessus de la limite supérieure de la potabilité permanente ( $\text{Cl}^- = 40 \text{ meq.l}^{-1}$  et  $\text{SO}_4^{2-} = 24 \text{ meq.l}^{-1}$ ) (Schoeller, 1962).

Dans certains régions (exemple, Oum Raneb) dépassant celles rencontrées dans les eaux de la mer ( $\text{Cl}^- = 560 \text{ meq.l}^{-1}$ ) ( $\text{SO}_4^{2-} = 58 \text{ meq.l}^{-1}$ ) (Schoeller, 1962).

Les résultats obtenus de la classification de la qualité des eaux de la nappe phréatique d'après le diagramme de Richards et al., 1954 (figure 29) montre que la plupart des échantillons ont une conductivité  $\text{CE} > 5 \text{ mS.cm}^{-1}$  (extrêmement salés) et/ou un  $\text{SAR} > 30 \text{ meq.l}^{-1}$  (très fortement sodiques).

On constate qu'à l'exception du piézomètre PZ1, les conductivités électriques des eaux de la nappe phréatique dépassent très largement la limite admissible ( $20 \text{ mS.cm}^{-1}$ ) pour l'usage agricole (Durand, 1958, 1983). Ces eaux ne conviennent pas à l'irrigation même pour le palmier dattier, considéré pourtant comme une des plants les plus tolérants des plantes du Sahara.

### 5.4- Détermination de la pollution

#### 5.4.1- Détermination de la pollution particulaire

La pollution particulaire due à la présence de particules, de grande taille, supérieure à  $10 \mu\text{m}$ , exprimé par la matière en suspension et la turbidité (Figarella & Leyral, 2002).

##### 5.4.1.1- Evaluation spatio-temporelle de matières en suspension des eaux usées et de la nappe phréatique.

La détermination de la matière en suspension est essentielle pour évaluer la répartition de la charge polluante entre la pollution dissoute et la pollution sédimentaire.

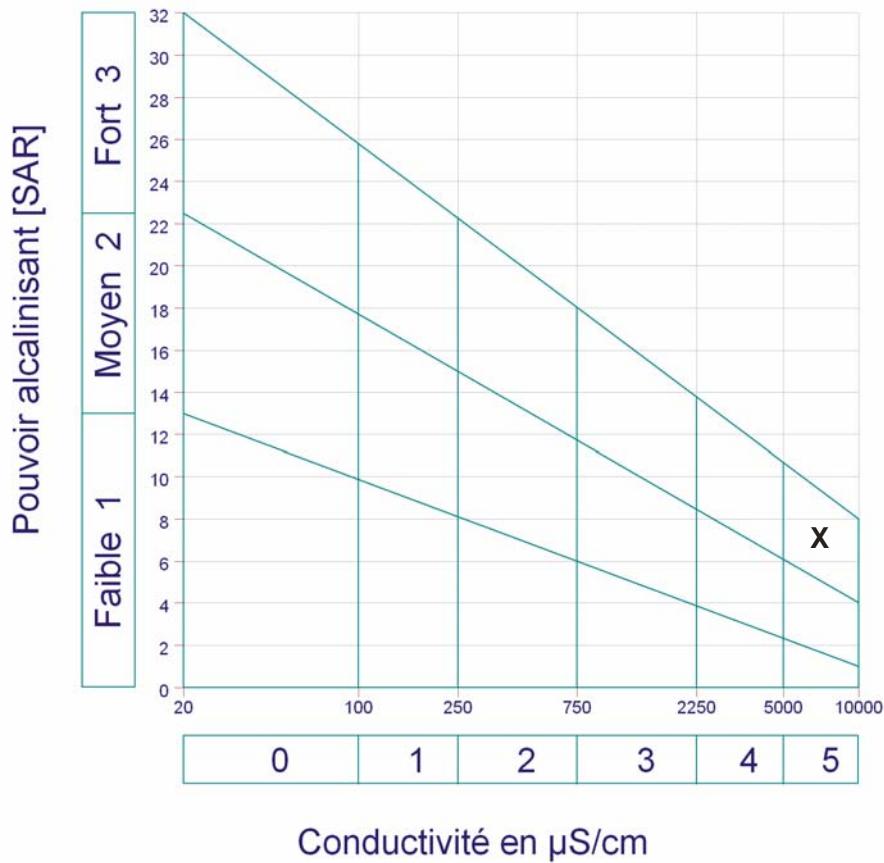


Figure 29: Classification des eaux de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla dans le diagramme de l'USSL modifié par Durand (1958,1983).

Tableau XIX: L'évaluation spatio-temporelle de matières en suspension des eaux usées et la nappe phréatique.

Sites	Matières en suspension ( $\text{mg.l}^{-1}$ )					
	R1	R2	R3	PZ1	PZ2	PZ3
12/01/2005	335	312	287	20	25,2	15
17/02/2005	363	331	303	34,2	25,2	16
18/03/2005	400	379	312	40,03	35,8	16,42
01/04/2005	410	388	333	41,16	32,6	15,66
29/04/2005	424	394	350	62,00	30,3	16,02
26/05/2005	433	406	363	75,00	44	17,17
24/06/2005	467	423	393	70	37,02	28
21/07/2005	528	510	500	88,7	54	38

Les teneurs en matières en suspension (MES) mesurées dans les eaux usées oscillent entre 335 et 528  $\text{mg.l}^{-1}$ , avec une moyenne de 407,50  $\text{mg.l}^{-1}$  dans le rejet R1, entre 312 et 510  $\text{mg.l}^{-1}$  avec une moyenne de 392,87  $\text{mg.l}^{-1}$  pour le R2 et entre 287 et 500  $\text{mg.l}^{-1}$  avec une moyenne de 355,12  $\text{mg.l}^{-1}$  dans le R3 (tableau XIX).

Les rejets sont très chargés de matières en suspension dont le taux dépasse les normes algériennes de rejet  $\leq 30 \text{ mg.l}^{-1}$  (Kebiche, 1999). Cela est dû à l'absence de stations d'épuration et le mauvais fonctionnement des décanteurs (Bamendil et Haï Nasr). Durant le parcours, la décantation est très néfaste (pompage dans certaines points).

La décroissance des concentrations en MES dans l'ordre successif des rejets (de R1 à R3) est liée à la dilution des eaux de rejet R2 et R3 après leurs mélanges.

Les valeurs de la matière en suspension dans la nappe phréatique sont situées entre 20,5 et 88,7 mg.l<sup>-1</sup>, avec une moyenne de 56,88 mg.l<sup>-1</sup> au niveau du piézomètre PZ1, entre 25,2 et 54 mg.l<sup>-1</sup> avec une moyenne de 39,28 mg.l<sup>-1</sup> pour le PZ2 et entre 13,7 et 35,3 mg.l<sup>-1</sup> avec une moyenne de 21,22 mg.l<sup>-1</sup> dans le PZ3 (tableau XIX).

Les valeurs de la matière en suspension enregistrées dans les eaux de la nappe phréatique, donnent une idée générale sur l'infiltration des particules minérales, organiques et des micro-organismes vers la nappe (Rodier, 1996).

Le suivi des teneurs de matière en suspension dans les eaux usées et de la nappe laisse apparaître une évolution saisonnière marquée par une diminution des teneurs en hiver et au printemps et une élévation des valeurs en été (figure 30).

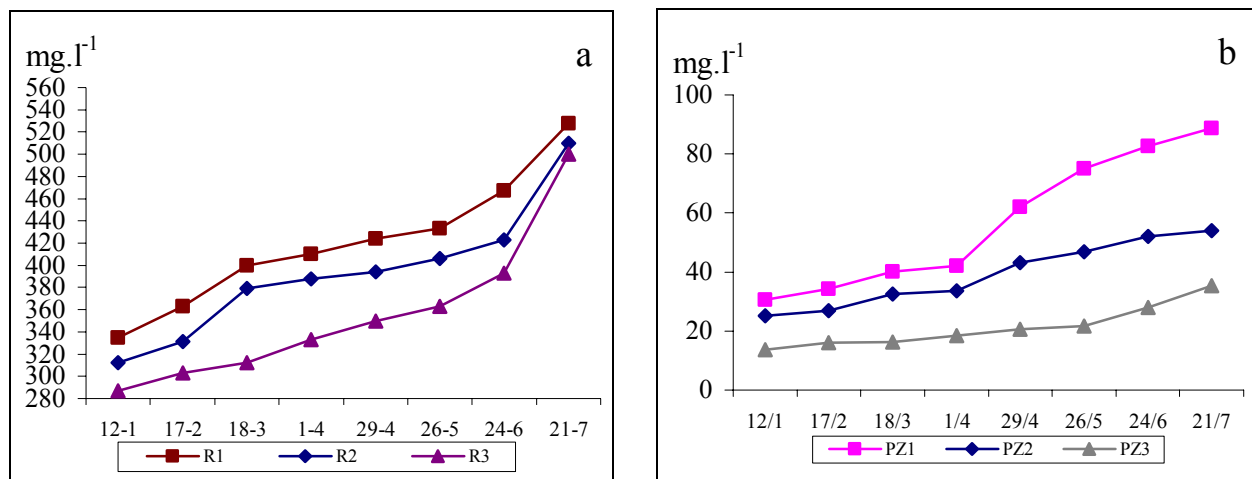


Figure 30: L'évaluation spatio-temporelle de la matière en suspension des eaux usées (a) et les eaux de la nappe phréatique (b).

#### 5.4.1.2- Evaluation spatio-temporelle de la turbidité des eaux usées et la nappe phréatique.

La turbidité traduit la présence de particules en suspension (débris organique, argiles, organismes, microscopiques) (US EPA, 2001; Mizier, 1998; Santé Canada, 1995)

Les valeurs enregistrées dans les eaux usées varient de 260 à 273 UTN, avec une moyenne de 267,75 UTN dans le rejet R1, entre 174 et 185 UTN avec une moyenne de 180,25 UTN pour le R2 et entre 84 et 95 UTN avec une moyenne de 91,37 UTN dans le R3 (tableau XX).

Les eaux rejetées sont très chargées en particules en suspension dont les taux dépassent les normes algériennes de rejet (50 unités de turbidité néphélométriques (UTN)) (Menani, 2001).

Tableau XX: L'évaluation spatio-temporelle de la turbidité des eaux usées et la nappe phréatique.

Sites	Turbidité (UTN)					
	R1	R2	R3	PZ1	PZ2	PZ3
12/01/2005	260	174	84	20	17	11
17/02/2005	264	176	89	22	19	12
18/03/2005	267	177	91	23	19	14
01/04/2005	268	181	92	23,5	22	15
29/04/2005	269	182	93	24	22	17
26/05/2005	270	183	93	23	23	17
24/06/2005	271	184	94	26	23	18
21/07/2005	273	185	95	27	25	19

Pour les eaux de la nappe phréatique, les valeurs varient de 20 à 27 UTN, avec une moyenne de 23,8 UTN au niveau du piézomètre PZ1, entre 17 et 25 UTN avec une moyenne de 21,2 UTN pour le PZ2 et entre 11 et 19 UTN avec une moyenne de 15,39 UTN dans le PZ3 (tableau XX). Les faibles valeurs de la turbidité en PZ3, se sont dues à sa situation à une dizaine de mètre du rejet comparativement aux deux autres piézomètres.

Les valeurs de la turbidité dans la nappe phréatique sont considérables, elles atteignent 26 UTN (figure 31). Il s'agit d'un indicateur de contamination de la nappe. Cette turbidité peut permettre aux micro-organismes de se fixer sur ces particules en suspension.

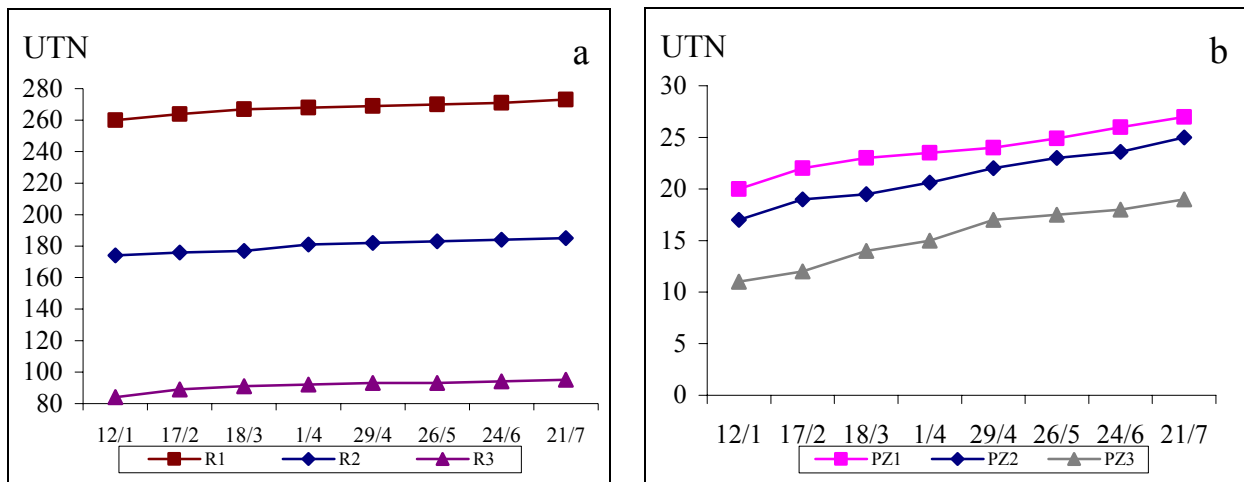


Figure 31: L'évaluation spatio-temporelle de la turbidité des eaux usées et les eaux (a) de la nappe phréatique (b).

## 5.4.2 - Pollution organique

### 5.4.2.1- Substances organiques dans les eaux usées

Tableau XXI: Variations spatio-temporelles de la DBO<sub>5</sub>, la DCO dans les eaux usées.

Sites	DCO (mg.l <sup>-1</sup> )			DBO <sub>5</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
12/01/2005	230,4	152,0	134,4	100	80	50
17/02/2005	268,8	249,6	172,8	110	90	60
18/03/2005	307,2	288,0	211,2	120	110	80
01/04/2005	326,4	307,2	230,4	120	110	90
29/04/2005	345,6	326,4	249,6	130	120	100
26/05/2005	403,2	364,8	288,0	160	140	120
24/06/2005	422,4	403,2	307,2	170	160	130
21/07/2005	460,8	441,6	345,6	200	170	140

Les valeurs de la demande chimique en oxygène relevées dans les eaux usées fluctuent entre 230,4 et 460,8 mg.l<sup>-1</sup> d'O<sub>2</sub> avec une moyenne de 343,26 mg.l<sup>-1</sup> d'O<sub>2</sub> au niveau du rejet R1, entre 152 et 441,6 mg.l<sup>-1</sup> d'O<sub>2</sub> avec une moyenne de 316,28 mg.l<sup>-1</sup> d'O<sub>2</sub> en R2 et entre 100 et 200 mg.l<sup>-1</sup> d'O<sub>2</sub> avec une moyenne de 237,09 mg.l<sup>-1</sup> d'O<sub>2</sub> en R3 (tableau XXI).

Les valeurs obtenues de DCO dans les eaux usées rejetées sont très élevées et supérieures aux normes algériennes admises de rejet (120 mg.l<sup>-1</sup> d'O<sub>2</sub>) (Kebiche, 1999). Cela montre clairement les fortes concentrations en matières organiques biodégradables.

Les teneurs les plus importantes sont enregistrées aux niveaux du rejet R<sub>1</sub> puis diminuent, cela est dû à la dilution (les eaux usées de rejet R3 est un mélange de R1 et R2) et la biodégradation de la matière organique durant son parcours (auto-épuration).

Les valeurs de la teneur en matières organiques oxydables (DBO<sub>5</sub>) relevées dans les eaux usées varient de 100 à 200 mg.l<sup>-1</sup> d'O<sub>2</sub>, avec une moyenne de 138,75 mg.l<sup>-1</sup> d'O<sub>2</sub> en R1, entre 80 et 170 mg.l<sup>-1</sup> d'O<sub>2</sub> avec une moyenne de 121,25 mg.l<sup>-1</sup> d'O<sub>2</sub> en R2 et entre 50 et 140 mg.l<sup>-1</sup> d'O<sub>2</sub> avec une moyenne de 96,25 mg.l<sup>-1</sup> d'O<sub>2</sub> en R3 (tableau XXI).

Les résultats obtenus de DBO<sub>5</sub> sont supérieurs aux normes algériennes de rejet 40 mg.l<sup>-1</sup> d'O<sub>2</sub> (Kebiche, 1999). Ces valeurs démontrent l'absence totale de traitement des eaux avant le rejet dans le milieu récepteur.

Les valeurs diminuent suivant le cheminement des eaux usées de R1 vers R3, cela s'explique par l'autoépuration des eaux usées (le temps de séjours jusqu'à leurs arrivée au rejet R3). Mais suivant l'évolution temporelle on voit que les valeurs de demande biochimique en oxygène augmentent progressivement, suite à l'augmentation des températures. Puisque l'augmentation de cette dernière favorisant l'autoépuration, elle accroît la vitesse de sédimentation (Rodier, 1996).

Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> varie entre 2 et 3 (Rodier, 1996), ce qui confirme que les eaux usées de la région de Ouargla sont d'origine domestique.

Les teneurs en matière organique exprimée en DBO<sub>5</sub> et DCO contenus dans les eaux usées sont comparables à ceux trouvés par Slimani (2003) et Idder (1998). Toutefois, plusieurs auteurs (Harmsen, 1987) ont montré que les matières organiques contenues dans les eaux usées sont dominées par les acides gras volatiles (AGV). Au vu de nos résultats, c'est en période estivale que la température des eaux est la plus élevée et que le flux de matières organiques biodégradables (DBO<sub>5</sub>) sortant des eaux usées présente ses valeurs maximales. Cette augmentation de la charge organique est associée au maximum du développement de l'abondance bactérienne et une diminution des teneurs en oxygène succède à la consommation de ce dernier par les décomposeurs. Cette évolution simultanée semble indiquer que le réchauffement des eaux a été à l'origine d'une intensification de l'activité hétérotrophe bactérienne. Notre hypothèse est corroborée par divers travaux effectués dans le cas des eaux douces et attribuant un rôle prépondérant de la température des eaux dont l'élévation stimulerait les activités enzymatiques bactériennes (Kato, 1985, Marvalin et al., 1989). Dans la mesure où les eaux usées circulent dans des drains à ciel ouvert donc sensibles aux variations climatiques, il semblerait qu'en période de faible débit, c'est vraisemblablement l'activité hétérotrophe bactérienne qui module la composition physico-chimique des eaux.

Vu les teneurs très importantes des chlorures au niveau de la nappe phréatique (PZ1= 6 g.l<sup>-1</sup>, PZ2= 18 g.l<sup>-1</sup> et PZ3= 65 g.l<sup>-1</sup>) supérieures à 3 g.l<sup>-1</sup> citée par Rodier (1996), nous estimons que nos valeurs sont inexploitable.

Nous avons remarqué une évolution de la teneur de la demande biochimique en oxygène dans la nappe phréatique suivant les campagnes. Mais, vu que les valeurs nous sont apparues imprécises, nous les avons pas reporté dans ce travail.

#### 5.4.2.4 - Carbone organique total

Le carbone organique total est considéré comme un bon indicateur de la teneur en matière organique, soit d'origine naturelle ou provient d'une source de pollution (Rodier, 1996). Nous avons donc jugé opportun d'effectuer son analyse.

Tableau XXII: L'évaluation spatio-temporelle de carbone organique total des eaux usées et la nappe phréatique.

Sites	Carbone organique total (mg.l <sup>-1</sup> )					
	R1	R2	R3	PZ1	PZ2	PZ3
12/01/2005	6,66	5,34	4,88	3,41	2,62	2,56
17/02/2005	7,93	6,15	6,00	4,00	3,09	2,82
18/03/2005	8,60	6,40	6,10	4,37	2,73	2,94
01/04/2005	9,44	6,88	6,42	3,263	3,43	3,21
29/04/2005	9,92	7,53	7,20	3,55	3,68	3,28
26/05/2005	10,40	8,00	7,45	3,69	3,51	3,40
24/06/2005	10,63	8,44	8,00	4,10	3,61	3,53
21/07/2005	11,00	9,10	8,2	4,35	3,82	3,72

Les valeurs du carbone organique total des rejets dépassent les normes admises de rejet algériennes ( $< 6 \text{ mg.l}^{-1}$ ) (Kebiche, 1999). Elles varient de 6,66 à  $11 \text{ mg.l}^{-1}$ , avec une moyenne de  $9,32 \text{ mg.l}^{-1}$  au niveau de rejet R1, entre 5,34 et  $9,1 \text{ mg.l}^{-1}$  avec une moyenne de  $7,23 \text{ mg.l}^{-1}$  en R2 et de 4,88 à  $8,2 \text{ mg.l}^{-1}$  avec une moyenne de  $6,78 \text{ mg.l}^{-1}$  en R3 (tableau XXII).

Pour la variation spatio-temporelle c'est au niveau du rejet R1 et pendant la dernière campagne qu'on enregistre les valeurs les plus importantes (figure 32a), cela s'explique par la charge organique importante dans ce point par rapport aux autres rejets, ainsi que l'évaporation qui participe à la concentration de la matière.

Les valeurs de carbone organique enregistrées dans les eaux de la nappe phréatique varie de 3,41 à  $4,8 \text{ mg.l}^{-1}$ , avec une moyenne de  $4,31 \text{ mg.l}^{-1}$  dans le piézomètre PZ1, entre 2,69 et  $4,05 \text{ mg.l}^{-1}$  avec une moyenne de  $3,48 \text{ mg.l}^{-1}$  en PZ2 et entre 2,56 et  $3,72 \text{ mg.l}^{-1}$  avec une moyenne de  $3,18 \text{ mg.l}^{-1}$  en PZ3 (tableau XXII).

La présence du carbone organique au niveau de la nappe phréatique indique une contamination d'origine organique (figure 32b).

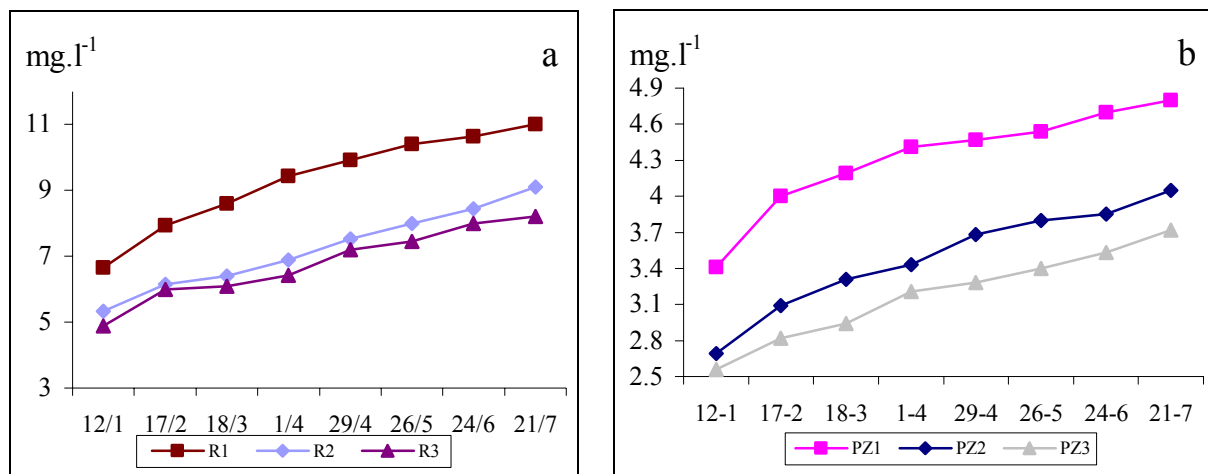


Figure 32: L'évaluation spatio-temporelle de carbone organique total des eaux usées (a) et de la nappe phréatique (b).

### 5.4.3- Pollution azotée

#### 5.4.3.1- Azote ammoniacal

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique (Rodier, 1996; Derradji *et al.*, 2005; Polan *et al.*, 1998).

Les teneurs en ammonium diminuent progressivement; varie de 42 à  $78,39 \text{ mg.l}^{-1}$  ( $\text{NH}_4^+_{\text{moy}} = 61,27 \text{ mg.l}^{-1}$ ) au niveau du rejet R1, entre 19,26 et  $32,1 \text{ mg.l}^{-1}$  ( $\text{NH}_4^+_{\text{moy}} = 24,91 \text{ mg.l}^{-1}$ ) en R2 et entre 11,18 et  $16,98 \text{ mg.l}^{-1}$  ( $\text{NH}_4^+_{\text{moy}} = 14,23 \text{ mg.l}^{-1}$ ) dans le rejet R3 (tableaux XI à XVIII) (figure 33a). Les valeurs obtenues sont très élevées et supérieures aux normes algériennes admises de rejet ( $40 \text{ mg.l}^{-1}$ ) (Kebiche, 1999).



L'évolution spatiale de l'ion ammonium montre bien une diminution des teneurs d'un rejet à un autre du fait d'une minéralisation de l'azote ammoniacal en nitrate par une action bactérienne (*Nitrosomonas* et *Nitrobacter*) (Laurent, 1972).

Les valeurs de l'azote ammoniacal enregistrées varient de 41,4 à 48,32 mg.l<sup>-1</sup>, avec une moyenne de 48,32 mg.l<sup>-1</sup> en PZ1, entre 16,6 et 27,86 mg.l<sup>-1</sup> avec une moyenne de 22,44 mg.l<sup>-1</sup> en PZ2 et entre 6,3 et 12,09 mg.l<sup>-1</sup> avec un moyenne de 9,01 mg.l<sup>-1</sup> en PZ3 (tableaux XI à XVIII) (figure 33b).

La présence d'azote ammoniacal dans la nappe phréatique doit être soulignée, une origine géologique est exclue, cette pollution peut provenir soit des fertilisants utilisés dans les périmètres irrigués, soit d'une contamination par les matières organiques humaines (Chippaux et al., 2002). D'après l'enquête réalisée, la quantité de fertilisants utilisées par les agriculteurs de la ville de Ouargla est relativement faible. Par ailleurs le PZ3 se situe dans une zone dépourvue de la végétation, donc la forte contamination d'origine fécale s'accompagne très naturellement d'une pollution azotée, que l'on voit bien à travers les teneurs en azote organique.

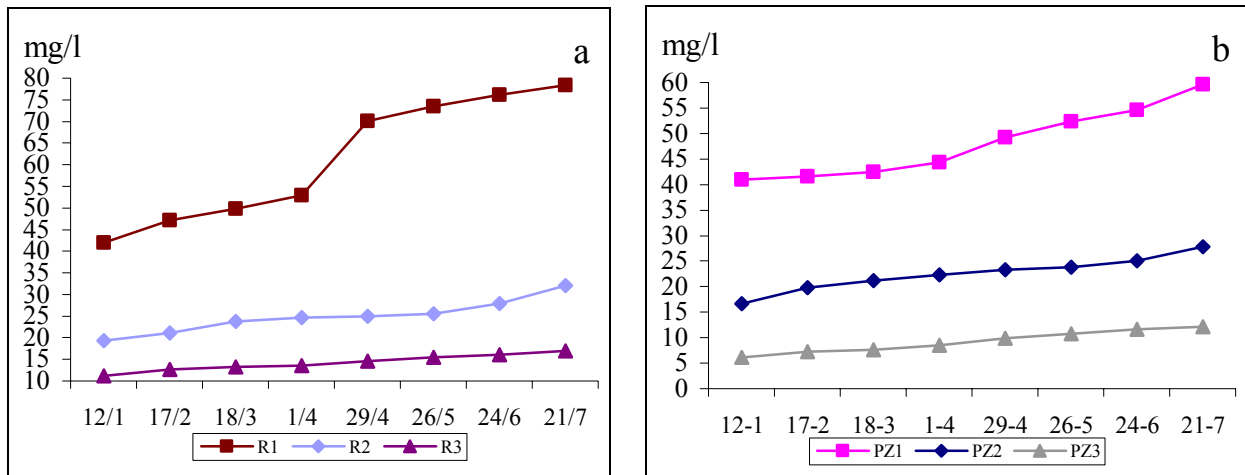


Figure 33: L'évaluation spatio-temporelle de l'azote ammoniacal des eaux usées (a) et de la nappe phréatique (b).

#### 5.4.3.2- Nitrates

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammonium, nitrites, etc) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates qui sont transformés par un processus d'oxydation biologique (Derradji et al., 2005; Menani, 2001; Rodier, 1996; Azzaz et al., 2001).

Les teneurs en nitrates dans les eaux usées fluctuent entre 61,71 à 130,39 mg.l<sup>-1</sup> ( $\text{NO}_3^-_{\text{moy}} = 96,55 \text{ mg.l}^{-1}$ ) au niveau du rejet R1, de 48,49 et 107,39 mg.l<sup>-1</sup> ( $\text{NO}_3^-_{\text{moy}} = 72,58 \text{ mg.l}^{-1}$ ) dans le R2 et de 17,36 et 45,5 mg.l<sup>-1</sup> ( $\text{NO}_3^-_{\text{moy}} = 33,16 \text{ mg.l}^{-1}$ ) dans le R3 (tableaux XI à XVIII) (figure 34a). Les valeurs obtenues sont très élevées et supérieures aux normes CEE de rejet (25-50 mg.l<sup>-1</sup>) (Kebiche, 1999).

Il apparaît que l'azote nitrate domine quantitativement les formes azotées. Les valeurs obtenues dans les eaux usées sont élevées, surtout au niveau de rejet R1, cela s'explique

peut être du par l'importance des activités agricoles dans cette zone qui couvre une grande partie des palmeraies de la ville. Ensuite les valeurs diminuent vers l'aval au niveau du rejet R3.

Le piézomètre PZ1 a enregistré des teneurs en nitrates variant de 24,8 à 48,15 mg.l<sup>-1</sup> ( $\text{NO}_3^-$  moy = 37,84 mg.l<sup>-1</sup>), il présente des fluctuations importantes par rapport aux autres piézomètres. Le PZ2 enregistre des teneurs non négligeables varie entre 9,92 et 22,94 mg.l<sup>-1</sup> ( $\text{NO}_3^-$  moy = 17,87 mg.l<sup>-1</sup>), tandis que le PZ3 varie 6,3 et 15,38 mg.l<sup>-1</sup> ( $\text{NO}_3^-$  moy = 11,4 mg.l<sup>-1</sup>) est moins influencé par cette contamination azotée (tableaux XI à XVIII) (figure 34b).

Les fortes teneurs en nitrates sont surtout dues à l'absence d'un réseau d'assainissement et de canalisation des eaux. On enregistre des valeurs atteignant 7,64 mg.l<sup>-1</sup> pour le piézomètre installé dans la région de Ain Beida.

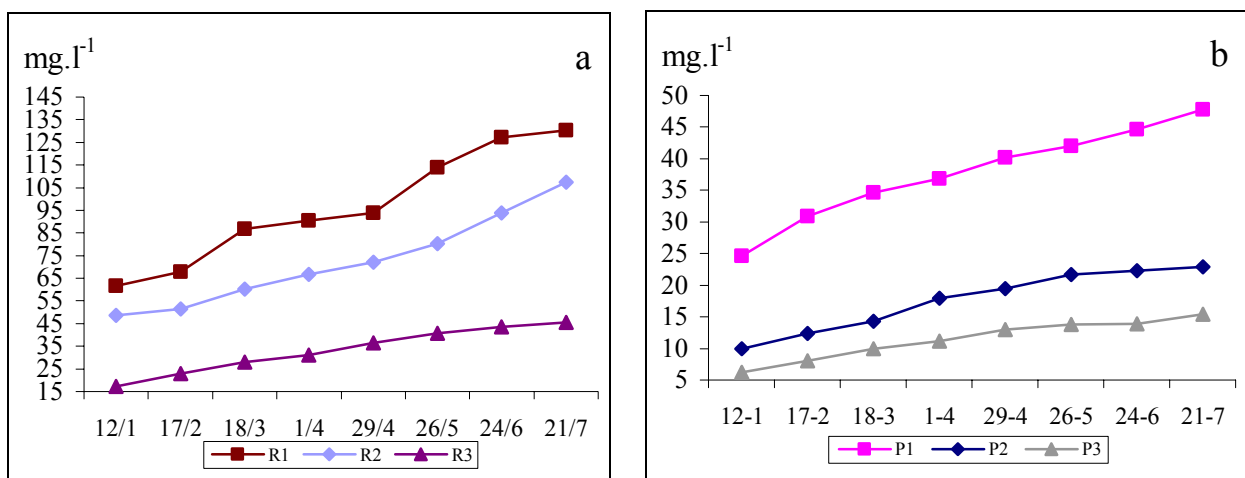
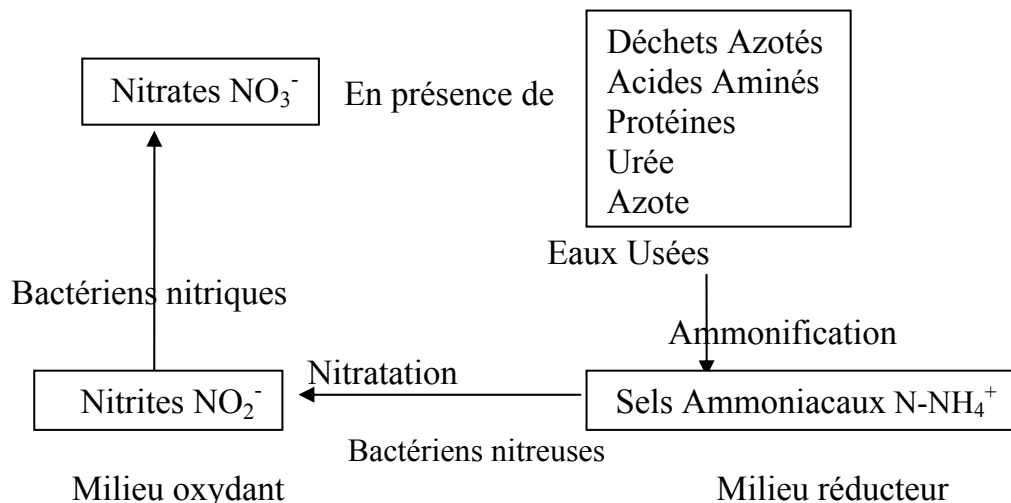


Figure 34: L'évaluation spatio-temporelle de nitrate des eaux usées (a) et de la nappe phréatique (b).

En effet, la structure des sols sableux de la région très perméables peut être assimilée à un milieu aérobie (contact permanent avec l'atmosphère). Les rejets des eaux usées (azote organique) se transforment en nitrites puis en nitrates en consommant l'oxygène par nitrification, selon le diagramme suivant (Moulla et al., 1993).



### 5.4.3.3- Nitrite

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque où la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates (Rodier, 1996).

Les teneurs en  $\text{NO}_2^-$  oscillent entre 0,71 à 1,35  $\text{mg.l}^{-1}$ , avec une moyenne de 1,03  $\text{mg.l}^{-1}$  dans le rejet 1, entre 0,66 et 0,91  $\text{mg.l}^{-1}$  avec une moyenne de 0,77  $\text{mg.l}^{-1}$  pour rejet 2 et entre 0,39 et 0,98  $\text{mg.l}^{-1}$  avec un moyenne de 0,66  $\text{mg.l}^{-1}$  dans le rejet 3 (tableaux XI à XVIII) (figure 35a).

Les teneurs en nitrites sont très faibles dans les eaux de la nappe phréatique durant tout le suivi. Elles varient de 0,27 à 0,55  $\text{mg.l}^{-1}$  ( $m= 0,43 \text{ mg.l}^{-1}$ ) dans le premier piézomètre, de 0,23 à 0,39  $\text{mg.l}^{-1}$  ( $m= 0,33 \text{ mg.l}^{-1}$ ) dans le deuxième piézomètre et de 0,03 à 0,36  $\text{mg.l}^{-1}$  ( $m= 0,17 \text{ mg.l}^{-1}$ ) dans le dernier piézomètre (tableaux XIII à XX).

Les valeurs faibles des nitrites indiqués par la présence des bactéries dans l'eau qui transforme rapide les nitrites en nitrates.

L'étude comparative des formes azotées, indique une évolution saisonnière similaire, caractérisée par des valeurs estivales élevées et des valeurs hivernales faibles (figure 35b).

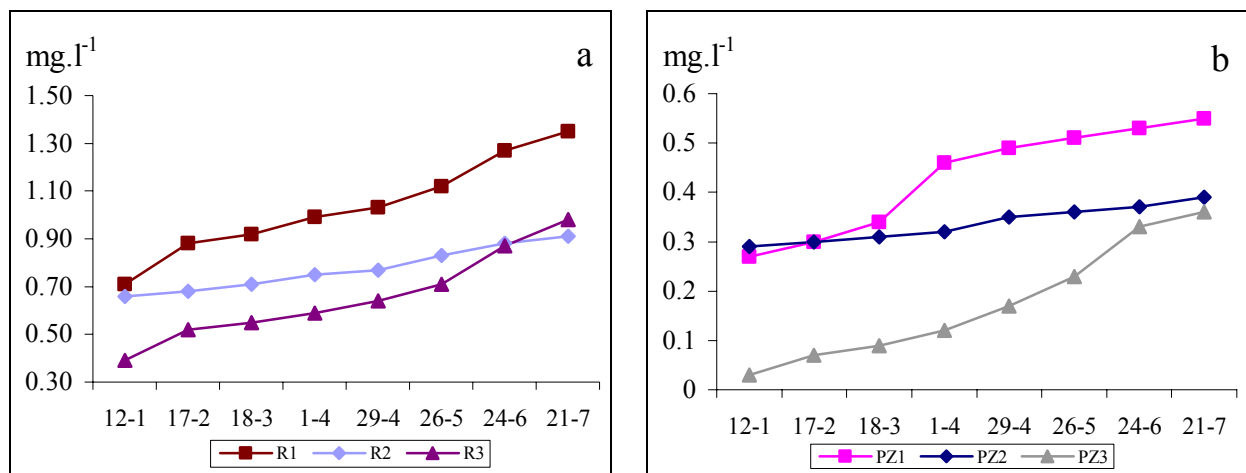


Figure 35: L'évaluation spatio-temporelle de nitrite des eaux usées (a) et de la nappe phréatique (b).

### 5.4.4- Pollution phosphorée

Dans les eaux résiduaires domestiques, avec un pH de 7,5, la forme prédominante de phosphate est l'orthophosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Les phosphates condensés comme des pyrophosphates et les tripolyphosphates sont souvent soumis à une hydrolyse enzymatique pour se transformer en orthophosphate avant d'être assimilés. Hurwitz et al., (1980) cité par Narasiah et al. (1991) rapportent qu'être 50- 80 % des phosphates condensés se trouvent dans les eaux usées domestiques sont hydrolysés par des micro-organismes aérobies et anaérobies.

Pour cela on a analysé l'orthophosphate comme indicateur de la pollution phosphorée.

Les valeurs de l'orthophosphate enregistrées varie de 2,42 à 3,08 mg.l<sup>-1</sup>, avec une moyenne de 2,81 mg.l<sup>-1</sup> dans le rejet 1, entre 1,98 et 2,77 mg.l<sup>-1</sup> avec une moyenne de 2,41 mg.l<sup>-1</sup> pour rejet 2 et entre 1,73 mg.l<sup>-1</sup> et 2,58 avec une moyenne de 2,19 mg.l<sup>-1</sup> dans le rejet 3 (tableaux XI à XVIII). Ces teneurs sont supérieures à la norme de rejet CEE admis (0,5 mg/l) (Menani, 2001).

Le suivi des teneurs de l'orthophosphate dans les eaux usées et de la nappe laisse apparaître une évolution saisonnière marquée par une diminution des teneurs en hiver et au printemps et une élévation des valeurs en été (figure 36a). Cela est dû à l'activité biologique plus intense en été que en hiver, qui accélère la transformation des phosphates organique et des polyphosphates en orthophosphate (Narasiah et al., 1991).

Les teneurs en orthophosphate enregistrées dans les eaux de la nappe phréatique varient de 0,4 à 0,86 mg. l<sup>-1</sup> (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup><sub>moy</sub> = 0,60 mg.l<sup>-1</sup>) en PZ1, de 0,21 à 0,46 mg. l<sup>-1</sup> (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup><sub>moy</sub> = 0,35 mg.l<sup>-1</sup>) en PZ2 et de 0,08 à 0,38 mg.l<sup>-1</sup> (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup><sub>moy</sub> = 0,26 mg.l<sup>-1</sup>) en PZ3 (tableaux XIII à XX) (figure 36b). Il semble que les teneurs en phosphore sont très faibles à l'exception du dernier piézomètre où on enregistre lors de la dernière campagne 0,38 mg.l<sup>-1</sup>, sont élevées comparées aux limites de 0,15 mg.l<sup>-1</sup> (Nisbet et al., 1970).

La teneur moyenne en orthophosphate des eaux de la nappe est aussi supérieure à celle enregistrée dans le lac Léman (39 µg.l<sup>-1</sup> en 1999) qui connaissait une eutrophisation maximale (Rapin et al. 1989 in Nassali et al., 2005), malgré la faible solubilité des phosphores dans l'eau on la trouve à des concentrations atteignent 0,86 mg.l<sup>-1</sup> dans la nappe, indiquent l'ouverture du système aquifère, donc sa vulnérabilité vis-à-vis de la pollution.

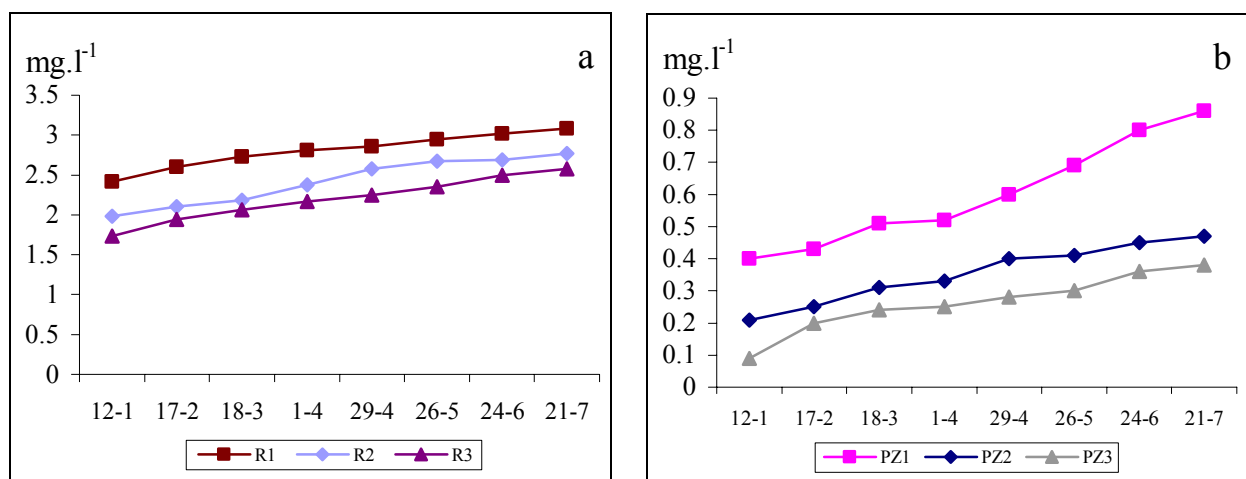


Figure 36: L'évaluation spatio-temporelle de nitrite des eaux usées (a) et de la nappe phréatique (b).

#### 5.4.5- Pollution par les métaux lourds

Durant cette étude, les métaux lourds les plus abondants dans les eaux usées et les plus cités en littérature ont été suivis (Fe, Pb, Ni, Cd et Zn). Les valeurs relatives à la teneur du fer oscillent entre 0,584 et 1,15 mg. l<sup>-1</sup> en R1, de 0,2 à 0,563 mg.l<sup>-1</sup> en R2 et de 0,269 à 0,52 mg.l<sup>-1</sup> en R3. Celles relatives au plomb évoluent entre 0,044 et 0,12 mg.l<sup>-1</sup> en R1, entre 0,039 et 0,083 mg.l<sup>-1</sup> en R2 et de 0,030 à 0,065 mg.l<sup>-1</sup> en R3 (tableau XXIII).

Tableau XXIII: Concentrations des métaux lourds dans les eaux usées et de la nappe phréatique.

Dates	Sites	Fe (mg.l <sup>-1</sup> )	Pb (mg.l <sup>-1</sup> )	Ni (mg.l <sup>-1</sup> )	Cd (mg.l <sup>-1</sup> )	Zn (mg.l <sup>-1</sup> )
12/01/2005	R1	0,584	0,044	0,586	0,019	0,714
	R2	0,200	0,039	0,317	0,009	0,488
	R3	0,269	0,030	0,131	0,004	0,088
	PZ1	0,273	0,042	0,340	0,009	0,116
	PZ2	0,215	0,031	0,145	0,009	0,109
	PZ3	0,120	0,023	0,102	0,004	0,030
17/02/2005	R1	0,680	0,048	0,620	0,024	0,814
	R2	0,303	0,052	0,556	0,010	0,513
	R3	0,314	0,034	0,149	0,011	0,184
	PZ1	0,300	0,045	0,410	0,010	0,122
	PZ2	0,240	0,047	0,250	0,010	0,140
	PZ3	0,116	0,024	0,125	0,007	0,075
18/03/2005	R1	0,730	0,060	0,691	0,040	0,988
	R2	0,391	0,062	0,619	0,022	0,550
	R3	0,323	0,038	0,275	0,012	0,203
	PZ1	0,332	0,052	0,466	0,012	0,141
	PZ2	0,260	0,052	0,320	0,011	0,142
	PZ3	0,158	0,028	0,158	0,009	0,090
01/04/2005	R1	0,825	0,068	0,738	0,048	1,120
	R2	0,437	0,070	0,659	0,029	0,556
	R3	0,331	0,042	0,317	0,013	0,214
	PZ1	0,418	0,054	0,482	0,016	0,145
	PZ2	0,274	0,052	0,348	0,014	0,148
	PZ3	0,243	0,030	0,171	0,010	0,095
29/04/2005	R1	1,000	0,078	0,748	0,051	1,278
	R2	0,450	0,071	0,729	0,031	0,644
	R3	0,373	0,043	0,368	0,013	0,216
	PZ1	0,623	0,057	0,522	0,018	0,147
	PZ2	0,302	0,054	0,396	0,016	0,153
	PZ3	0,313	0,031	0,181	0,011	0,102
26/05/2005	R1	1,044	0,095	0,855	0,052	1,303
	R2	0,488	0,079	0,769	0,031	0,729
	R3	0,406	0,047	0,378	0,014	0,257
	PZ1	0,715	0,058	0,538	0,022	0,168
	PZ2	0,319	0,054	0,423	0,019	0,164
	PZ3	0,378	0,031	0,205	0,012	0,106
24/06/2005	R1	1,130	0,102	0,888	0,052	1,325
	R2	0,480	0,082	0,794	0,031	0,892
	R3	0,486	0,052	0,392	0,017	0,300
	PZ1	0,780	0,062	0,528	0,024	0,173
	PZ2	0,376	0,054	0,474	0,020	0,162
	PZ3	0,380	0,033	0,198	0,014	0,110
21/07/2005	R1	1,150	0,120	0,950	0,057	1,333
	R2	0,563	0,083	0,853	0,032	1,200
	R3	0,520	0,065	0,400	0,017	0,320
	PZ1	0,767	0,064	0,544	0,027	0,193
	PZ2	0,393	0,058	0,488	0,023	0,195
	PZ3	0,374	0,043	0,214	0,016	0,136

Les valeurs en nickel enregistrés fluctuent entre 0,586 et 0,950 mg.l<sup>-1</sup> en R1, de 0,317 à 0,853 mg.l<sup>-1</sup> en R2 et entre 0,131 et 0,400 mg.l<sup>-1</sup> en R3. Les teneurs en cadmium dans les eaux usées varient de 0,019 à 0,057 mg.l<sup>-1</sup> en R1, de 0,009 à 0,032 mg.l<sup>-1</sup> en R2 et entre 0,004 et 0,017 mg.l<sup>-1</sup> en R3. Enfin, les teneurs en zinc oscillent entre 0,714 et 1,333 mg.l<sup>-1</sup> en R1, de 0,488 à 1,200 mg.l<sup>-1</sup> en R2 et de 0,088 à 0,320 mg.l<sup>-1</sup> en R3.

Les résultats montrent que les maxima en métaux lourds correspondent aux minima de débits. Les valeurs des métaux lourds des eaux usées ne dépassent pas les normes algériennes de rejets (Fe = 5 mg.l<sup>-1</sup>, Pb = 1 mg.l<sup>-1</sup>, Ni = 5 mg.l<sup>-1</sup>, Cd = 0,2 mg.l<sup>-1</sup>, Zn = 5 mg.l<sup>-1</sup>) (Kebiche, 1999).

Le suivi mensuel de quelques métaux présents dans les eaux de la nappe phréatique étudiée, montre des variations saisonnières considérables : pour le fer de 0,273 à 0,767 mg.l<sup>-1</sup> en PZ1, de 0,215 à 0,393 mg.l<sup>-1</sup> en PZ2 et de 0,120 à 0,374 mg.l<sup>-1</sup>; pour le plomb de 0,042 à 0,064 mg.l<sup>-1</sup> en PZ1, entre 0,031 à 0,058 mg.l<sup>-1</sup> en PZ2 et de 0,023 à 0,043 mg.l<sup>-1</sup> en PZ3; pour le nickel de 0,340 à 0,544 mg.l<sup>-1</sup> en PZ1, de 0,145 à 0,488 mg.l<sup>-1</sup> en PZ2 et entre 0,102 à 0,214 mg.l<sup>-1</sup> en PZ3; pour le zinc et de 0,166 à 0,193 mg.l<sup>-1</sup> en PZ1, 0,109 à 0,195 mg.l<sup>-1</sup> en PZ2 et de 0,030 à 0,136 mg.l<sup>-1</sup> en PZ3 (tableau XXIII).

Pour la plupart des piézomètres, les teneurs les plus faibles sont celle du cadmium. Ils varient de 0,009 à 0,027 mg.l<sup>-1</sup> en PZ1, de 0,009 à 0,023 mg.l<sup>-1</sup> en PZ2 et de 0,004 à 0,016 mg.l<sup>-1</sup> PZ3.

Nous disposons de peu de données bibliographiques sur les concentrations en micropolluants des eaux usées domestiques (DCO/DBO<sub>5</sub> < 3). Selon (Lester; 1987), les métaux sont présents dans de nombreux produits à usage domestiques susceptibles d'être rejetés à l'égout, tels que les cosmétiques, les onguents, les produits d'entretien, les médicaments et les peintures. Isaac et al. (1997) évoquent une production domestique liée à la nourriture et aux produits de consommation, 600 µg/hab/j pour le plomb. Selon Koppe et Klopp (1984) cités par (Gromaire, 1998), les eaux de nettoyage et notamment les eaux de lavage des vêtements seraient la principale source de métaux dans les eaux usées domestiques. Ces auteurs citent des concentrations moyennes métalliques dans les eaux usées strictement domestiques de 3 µg.l<sup>-1</sup> de cadmium, 100 µg.l<sup>-1</sup> de plomb et 500 µg.l<sup>-1</sup> de zinc. La teneur métallique dans les matières fécales serait de l'ordre de 2 µg.g<sup>-1</sup> de cadmium, 11 µg.g<sup>-1</sup> de plomb et 250 µg.g<sup>-1</sup> de zinc.

La concentration en métaux lourds des eaux usées dépend fortement de celle de l'eau potable. En effet, la concentration métallique dans l'eau potable peut être significative, en particulier pour le fer et le plomb, du fait de la corrosion des canalisations en plomb et des tuyauteries en fer utilisées dans les habitations. La corrosion des canalisations d'eau potable serait à l'origine de 50 à 87 % de la charge en fer des eaux usées domestiques et de 33 à 91 % des charges en plomb.

Notons que les eaux potables de ces villes sont caractérisées par des pH légèrement acides, avec une alcalinité et une dureté faible ; il s'agit donc d'eaux corrosives (Isacc et al., 1997).

L'eau potable distribuée à Ouargla, d'après les informations données par l'E.D.M.A.O, est caractérisée par des pH supérieurs à 7 et des concentrations élevées en  $\text{CaCO}_3$ . Il s'agit d'eaux incrustantes et non corrosives, conduisant à la formation de dépôts de calcite dans les canalisations. Dans notre cas, les apports de métaux par corrosion des canalisations devraient donc être faibles. Ce qui s'est reflété par les résultats obtenus.

Les valeurs enregistrées dans la nappe sont très faibles. Le PZ2 et le PZ3 sont les moins touchés par cette contamination métallique, du fait de leur situation à plusieurs mètres de point de rejet. Ceci peut être attribué aux phénomènes de dilution.

Ces analyses restent à confirmer en utilisant d'autres appareils et méthodes d'analyses.

#### 5.4.6- Pollution bactériologique

Le degré de pollution des eaux est évalué par le dénombrement "d'indicateurs de contamination fécale", en général coliformes fécaux (*Escherichia coli*) et streptocoques (groupe D). Ces germes sont choisis, bien qu'en partie dénués de pathogénicité pour l'homme, car ils sont très nombreux dans les eaux usées (2 à  $5 \cdot 10^8$  germes/ml en moyenne) et que leur identification est simple et rapide (24 à 48 h) par rapport aux espèces véritablement pathogènes.

Les concentrations moyennes des germes tests de contamination fécale (GTCF) et des Salmonelles dans les eaux usées et la nappe phréatique des trois stations étudiées sont présentées dans les tableaux XXIV et XXV.

Tableau XXIV: Concentrations moyennes des indicateurs fécaux (NPP/ 100 ml) et des salmonelles dans les eaux usées.

Germes Points	Coliformes totaux	Coliformes fécaux	Strepto- coques fécaux	Clostridium sulfito- réducteurs	<i>Escherichia coli</i>	Salmonella
R1	$2 \cdot 10^6$	$115 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^5$	Indénom- brables	$2 \cdot 10^5$	00
R2	$10^5$	$2 \cdot 10^2$	$10^3$	Indénom- brables	$11 \cdot 10^3$	00
R3	$10^5$	$2 \cdot 10^2$	$10^3$	Indénom- brables	$10^3$	00

Tableau XXV: Concentrations moyennes des indicateurs fécaux (NPP/ 100 ml) et des salmonelles dans la nappe phréatique.

Germes Points	Coliformes totaux	Coliformes fécaux	Strepto- coques fécaux	Clostridium sulfito- réducteurs	<i>Escherichia coli</i>	Salmonella
PZ1	$11 \cdot 10^2$	00	$11 \cdot 10^2$	18	00	00
PZ2	140	00	$11 \cdot 10^2$	09	00	00
PZ3	4	00	00	00	00	00

La nature de la population bactérienne est très variée dans les eaux usées (Rodier, 1996). Suivant le tableau n° XXIV, le nombre de coliformes totaux apparaît plus ou moins constant dans les eaux usées analysées. Il est de  $2.10^6$  germes/ml en rejet R1, de  $10^5$  germes/ml en R2 et R3. Pour les coliformes fécaux, le nombre est de  $115.10^3$  germes /ml en R1, de  $10^3$  germes /ml en R2 et R3. En ce qui concerne *Escherichia coli* la teneur la plus importante est celle du rejet R1 qui atteint  $2.10^5$  germes /ml, et diminue à  $11.10^3$  germes /ml en R2 et arrive à  $10^3$  en R3.

Le nombre des bactéries est assez variable d'un point à un autre, il atteint son maximum au niveau du rejet R1. Cette charge est du même ordre de grandeur que celle généralement rencontrée dans les effluents urbains (Stover et al., 1986; Trad Raïs, 1995; Emparanza-Knörr et Torella, 1995; Lazarova et al., 1998; Nigim et al., 2002; Rodier, 1996). Puisque ces bactéries issues du tube digestif de l'homme et des animaux constituent une source de contamination permanente des eaux après rejets d'effluents.

Le dénombrement de coliformes totaux au niveau de la nappe phréatique est de  $11.10^2$  germes/ml en PZ1, de 140 germes/ml en PZ2 et de 4 germes/ml en PZ3. En outre, on note l'absence des coliformes fécaux et d' *Escherichia coli* dans ces cas là.

Le nombre de streptocoques fécaux dans les eaux usées est égal à  $2.10^5$  germes /ml pour le point de rejet R1 et de  $10^3$  germes/ml en R2 et R3.

Dans la nappe phréatique, elles égale à  $11.10^2$  germes /ml en PZ1 et PZ2 et nul en PZ3

Les taux importants de ces indicateurs fécaux, expliquent que ces germes ont trouvés les conditions de milieu favorables pour se multiplier (richesse en matières organiques facilement biodégradables, température...) (Larpen et Larpen-Gourgant, 1985; Haslay et Leclerc, 1993; Rodier, 1996).

Selon Bourgeois, le rapport Coliformes fécaux / Streptocoques fécaux peut nous donner une idée sur l'origine de la contamination (d'origine humaine ou animale), dont la prédominance des Coliformes fécaux par rapport aux Streptocoques fécaux c'est-à-dire que le rapport est supérieur à 1 peut traduire une contamination fécale d'origine humaine. Au niveau de la nappe phréatique le rapport est supérieur à 1, la contamination est par conséquent d'origine humaine. Donc infiltration des eaux usées vers la nappe.

Les résultats obtenus montrent que les eaux usées de tous les points de rejet et les eaux de la nappe phréatique sont colonisées par les clostridiiums sulfito-réducteurs.

L'envahissement des milieux de culture par des clostridiiums sulfito-réducteurs (anaérobies facultatives) indique la présence de sulfure de fer qui provoque le dégagement de  $H_2S$ . Ce gaz est un révélateur de condition anaérobies et d'un potentiel d'oxydoréduction trop bas. Il provoque de mauvaises odeurs et peut être à l'origine de la corrosion au niveau des conduites. Cette corrosion se rencontre dans le transfert des eaux résiduaires urbaines, par fermentation des matières déposées.

Les condition de cette corrosion sont: un milieu anaérobie, un pH se situe entre 5,5 à 8,5, la présence de substances minérales ( $SO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{2-}$ ,  $Fe^{2+}$ , ...) et une température optimale de développement. Ces conditions sont réunies dans le cas de la cuvette de



Ouargla. Ce phénomène a pour conséquence le débordement des eaux usées suite à la rupture par corrosion des conduites durant la période estivale.

Pour les salmonella les résultats laissent apparaître une absence totale dans tous les échantillons des eaux usées et les eaux de la nappe. Les données bibliographiques relatives à ce sujet sont très variées car la concentration de ces bactéries pathogènes dans les eaux usées dépend des conditions environnementales et épidémiologiques des régions où sont réalisées les études. Les résultats de certains travaux montrent que le nombre des salmonelles dans les effluents urbains non traités varie de quelques bactéries par 100 ml à des concentrations de même ordre de grandeur que celles des indicateurs fécaux (Armon et al., 1994 ; Sheikh et al., 1998 ; Jiménez et al., 1998 et 2000). Dans le cas de notre étude, l'absence des Salmonelles dans les eaux usées peut s'expliquer par le caractère instantané des prélèvements.

Le fait que ces bactéries intestinales sont aéro-anaérobies facultatif, elles peuvent supporter différentes conditions des milieux aquatiques (Pechère, 1979; Houhamdi et al, 2005) où l'ensemble des piézomètres connaissent une pollution biologique liée surtout aux coliformes totaux, streptocoques fécaux et aux Clostridium sulfite-réducteurs. Toutes les eaux de la nappe phréatique étudiée sont polluées par ces espèces sauf à Oum Raneb qui s'explique par les teneurs du chlorure importants (atteint 65219,07 mg.l<sup>-1</sup>) qui jouent un rôle de désinfecteur.

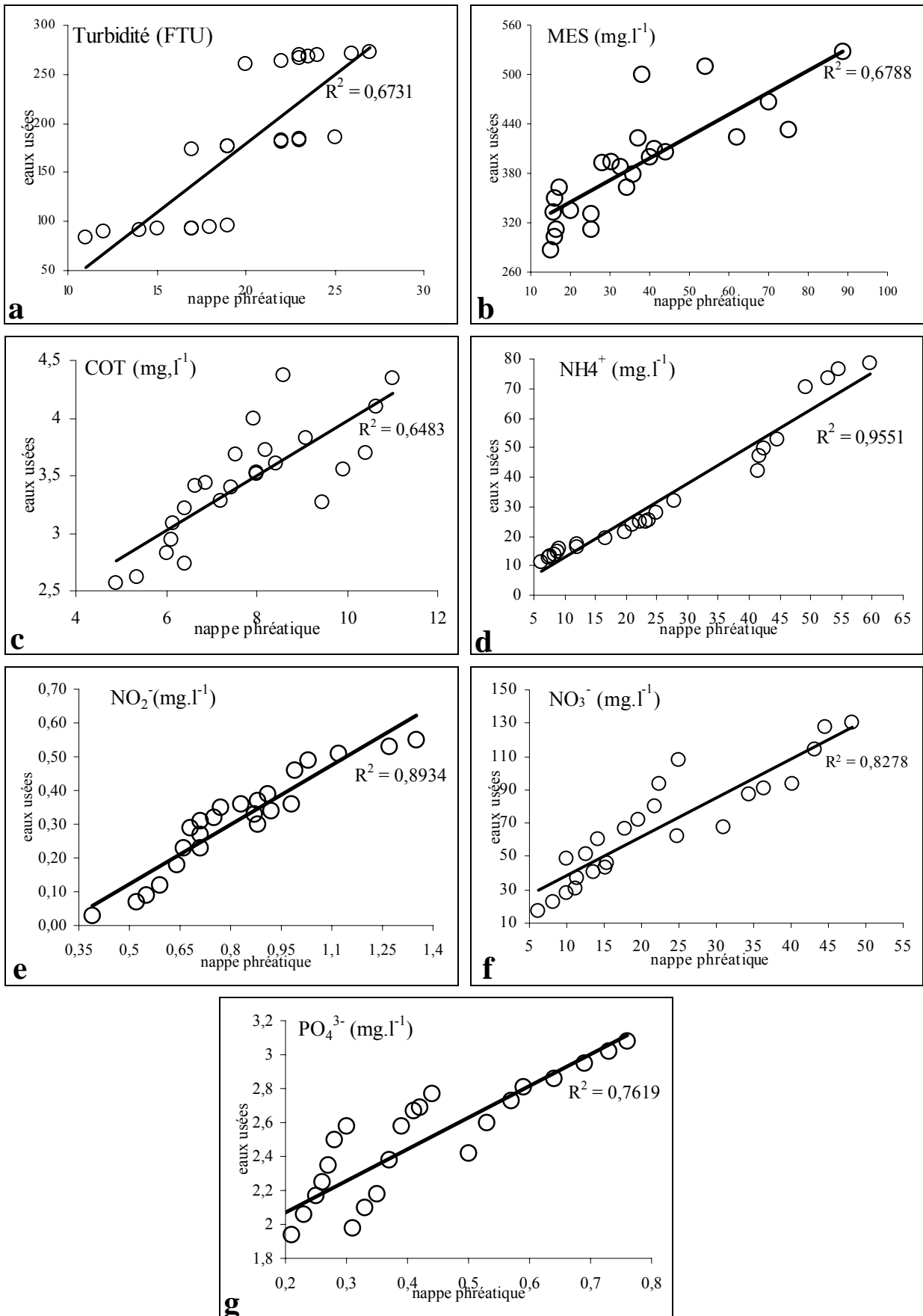
### **5.5- Relation entre les indicateurs de pollution dans les eaux usées et la nappe phréatique**

L'analyse des relations entre les eaux usées et la nappe phréatique, a montré qu'il existe plusieurs corrélations entre les différents paramètres étudiés.

La figure n° 37 représentant la relation entre la nappe phréatique et les eaux usées. Nous constatons une corrélation très hautement significative, pour :

- l'azote ammoniacal ( $r = 0,98$ ),
- les nitrites ( $r = 0,95$ ),
- les nitrates ( $r = 0,91$ ),
- le phosphore ( $r = 0,87$ ),
- et pour la matière en suspension ( $r = 0,82$ ).

De même qu'une corrélation significative, pour la turbidité avec un coefficient de corrélation de ( $r = 0,67$ ) et pour le carbone organique total ( $r = 0,64$ ).



a: Turbidité; b: Matière en suspension; c: carbone organique total; d: azote ammoniacal; e: Nitrate; f: Nitrite; g: Phosphore.

Figure 37: Relation entre les indicateurs de pollution dans les eaux usées et la nappe phréatique.

### 5.6- Flux de pollution journalier des eaux usées

Le flux de pollution est la masse de polluant écoulee par unité de temps. Il peut indifféremment être calculé en faisant le produit du débit d'eau par sa concentration (Chocat, 1997).

Pour calculer le flux de pollution journalier dans différents points de rejet, nous avons pris en considération les rejets de Ain Beida (R1) et Oum Raneb (R3), puisque le rejet du Chott (R2) est été écarté suite au difficulté de quantifie les débits déversées.

Tableau XXVI: Le flux de pollution journalier des eaux usées.

polluants		Sites	Ain Beida	Oum Raneb
<b>MES</b>	Concentration (mg.l <sup>-1</sup> )		407,5	355,12
	Taux de pollution (Kg.j <sup>-1</sup> )		8131,28	27614,13
<b>DCO</b>	Concentration (mg.l <sup>-1</sup> )		343,26	237,09
	Taux de pollution (Kg.j <sup>-1</sup> )		6849,43	18436,11
<b>DBO</b>	Concentration (mg.l <sup>-1</sup> )		138,75	96,25
	Taux de pollution (Kg.j <sup>-1</sup> )		2768,62	7484,4
<b>COT</b>	Concentration (mg.l <sup>-1</sup> )		9,32	6,78
	Taux de pollution (Kg.j <sup>-1</sup> )		185,97	527,21
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Concentration (mg.l <sup>-1</sup> )		61,27	14,23
	Taux de pollution (Kg.j <sup>-1</sup> )		1222,58	1106,52
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Concentration (mg.l <sup>-1</sup> )		96,55	33,16
	Taux de pollution (Kg.j <sup>-1</sup> )		1926,56	2578,52
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	Concentration (mg.l <sup>-1</sup> )		1,03	0,66
	Taux de pollution (Kg.j <sup>-1</sup> )		20,55	51,32
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	Concentration (mg.l <sup>-1</sup> )		2,81	2,19
	Taux de pollution (Kg.j <sup>-1</sup> )		56,07	170,29

D'après les résultats (tableau XXVI), le taux de pollution d'Oum Raneb apparaît plus important que celui de Ain Beida du faite que ce dernier ne constitue qu'une zone de transit des eaux usées et que Oum Raneb est la zone de déversement final, par conséquent, les polluants s'y accumulent.

De plus Oum Raneb, regroupe toutes les eaux usées de la région contrairement à Ain Beida qui ne reçoit qu'une partie de ces eaux.

# *Conclusion*

Nous avons tenté à travers un cas concret, celui de la ville de Ouargla, d'analyser l'un des problèmes les plus préoccupants dans les zones urbaines des milieux désertiques. Ce problème est celui de la gestion des excédents hydriques provenant des rejets d'eaux de drainage et d'eaux résiduaires urbaines.

L'accroissement des besoins en eau dans l'oasis, dû à l'accroissement de la population et intensification agriculture, a conduit à un recours de plus en plus important à l'exploitation des nappes d'eau souterraines. L'exploitation intensive de ces nappes est apparue, en quelque sorte, comme inévitable pour le développement des régions sahariennes.

Ainsi, en dépit des difficultés d'aménagement en milieu saharien, dues à l'hostilité du milieu, de multiples projets de mise en valeur très ambitieux, s'appuyant sur des moyens technologiques et financiers très importants, se sont développés à grande échelle dans la plupart des oasis sahariennes.

Ces projets ont été bénéfiques pour ces oasis, et ont permis de développer notamment les cultures céréalières et maraîchères qui étaient, jusqu'à un passé très récent, pratiquées uniquement à très petites échelles.

Cependant, l'accroissement important des débits exploités, autant au niveau des périmètres de mise en valeur que dans les palmeraies traditionnelles, associé à un usage souvent mal raisonné des ressources hydriques, a conduit à des gaspillages importants, faisant apparaître des quantités non négligeables d'eaux excédentaires.

Ces excès ont fortement perturbé les équilibres naturels dans les milieux urbains sahariens, milieux déjà très difficiles, caractérisés essentiellement par une aridité excessive, par des nappes superficielles salées et souvent de faible profondeur, et enfin par une situation topographique défavorable.

Les résultats obtenus montrent que les eaux de la nappe phréatique sont d'une qualité assez dégradée par rapport aux normes nationales, avec une certaine hétérogénéité dans leur composition et que l'impact de la pollution apportée par les eaux déversées est plus ressenti au niveau des piézomètres installés dans les sites d'étude.

Les valeurs des paramètres analysés pour les eaux usées de la ville de Ouargla dépassent les normes de rejet. Ces eaux ne subissent aucune forme de traitement, ni même de décantation proprement dite. Les bassins de décantation, s'ils existent, ne font par conséquent, que transiter les eaux usées par la station, et elles en sortent, pratiquement, avec la même charge.

Les eaux usées de la ville sont essentiellement caractérisées par une minéralisation relativement modérée, comparable à celle des eaux de la nappe du Mio-Pliocène.

Les eaux de la nappe phréatique sont dures et présentent une minéralisation importante. La conductivité électrique, qui traduit une salinité excessive des eaux de la dite nappe, se trouve influencée tant par les évaporites que par les carbonates, et tant par

les chlorures que par les sulfates. On peut penser donc que les chlorures représentent un bon indicateur de l'état de concentration de l'eau.

De telles eaux ayant une salinité excessive, ne sont pas potables selon leurs caractéristiques physicochimiques. Leur classification sur le diagramme de Richards (1954) les qualifie de médiocres *C5-S1*, à risque de sodicité *SAR* élevé à très élevé. De ce fait, elles sont délaissées par la population de la ville et remplacées par les eaux profondes des nappes du CT et du CI, bien qu'elles nécessitent certaines précautions d'utilisation.

Les variations saisonnières de la concentration des éléments chimiques sont liées à l'effet de l'évaporation.

La détermination du bilan ionique entre les éléments chimiques ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) montre la dominance des ions salifères ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) par rapport au gypse ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) et aux carbonates ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ). Le faciès chloruré sodique est le faciès chimique dominant dans les eaux de la nappe et les eaux usées.

Les résultats obtenus durant le suivi spatio-temporel des eaux usées et celles de la nappe phréatique mettent en évidence un accroissement des valeurs de la conductivité électrique, des concentrations en chlorures, en sulfates,  $\text{DBO}_5$  et de la DCO pendant les saisons sèches. Cette augmentation coïncide avec l'élévation de la température durant la même période. Cela se traduit par l'existence de corrélations statistiquement significatives entre la température et ces derniers paramètres.

La nappe phréatique, apparaît fortement contaminée par des matières organiques d'origines humaines et animales. Cette pollution trouve très probablement ses origines dans l'insuffisance des infrastructures d'assainissement et de collecte des ordures ménagères, puisque le rapport  $\text{DCO} / \text{DBO}_5$  est égal à 2,5 (origine domestique). Mais les taux d'azotes ammoniacaux et les nitrates élevés constatés pour les points de rejet du Chott et Ain Bieda indiquent une origine différente de la pollution, à savoir l'activité agricole peut être.

Le taux obtenu pour les orthophosphates et les métaux lourds dans les eaux usées et la nappe phréatique n'est pas significatif.

Les germes, indice de pollution bactériologique, que nous avons retrouvés au cours de l'analyse confirment la pollution bactériologique de la nappe phréatique par les rejets urbains. L'éventualité d'une pollution bactériologique de la nappe doit être envisagé sérieusement. En effet, une ponction intense et régulière du contenu de la nappe profonde pourrait augmenter significativement la circulation des eaux souterraines, par appel d'eau, et aggraver la contamination des nappes profondes par les polluants de surface.

Notons qu'au vu des projets de séparation et d'épuration qui sont en cours d'élaboration le site de Oum Raneb ne recevra en fin de compte que les eaux de drainage, alors que celui de Ain Bieda restera sans apport en eaux quelle qu'elle soient, la question qui nécessitera une contribution des scientifiques pour résolution est le mécanisme de dépollution de ces sites.

*Références  
bibliographiques*

- 1- ANAT. 1995. Maîtrise de la croissance urbaine de la métropole de Ouargla. Réhabilitation de l'écosystème de la Vallée de l'Oued Mya, 43p.
- 2- ANRH. 1994. Les ressources en eaux dans la wilaya de Ouargla. Rapport technique.
- 3- Armon, R., Dosoretz C., Azov Y. and Shelef, G. 1994. Residual contamination of crops irrigated with effluents of different qualities: A field Study. *Wat. Sci. Tech.*, 30 (9), 239-248.
- 4- Aumassip, G., Dagherne, A., Estorges P., Lefevre-Witier, P., Mahrouf, F., Nesson, C., Rouvillois- Brigol, M. & Trecolle G. 1972. Aperçus sur l'évolution du paysage quaternaire et le peuplement de la région de Ouargla. *Libyca. T XX*, pp. 205-257.
- 5- Azzaz, H., Meddi., M., Khaldi., A. & Bekoussa, B. 2005. Apport de l'hydrochimie dans la caractérisation du fonctionnement hydrodynamique des systèmes Karstiques des monts de Tlemcen. Colloque International terre et eau. Univ. Badji Mokhtar. Annaba. 85-92.
- 6- Bel, F. 1969. Etude de la nappe aquifère de la région de Ouargla. Direction département de travaux publics de l'hydraulique et de la construction des oasis. 10p
- 7- Bliefert, J & Perraud, P. 2003. Chimie de l'environnement "air, eau, sols, déchets". Ed. Boeck. Paris, 477p.
- 8- Bonnard & Gardel. 2001. Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission IA Reconnaissances et diagnostic de l'assainissement, 156p.
- 9- Bonnard & Gardel. 2003. La Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Estimation du rôle des palmeraies à la montée de la nappe dans la cuvette de Ouargla. Mission IV Autres investigations Volet agropédologie, 26p.
- 10- Boualem, S. 1993. Cours d'assainissement. Ecole National Supérieure de l'Hydraulique, E.N.S.H. Blida. 80p.
- 11- Bourgeois, C.M. 1980. Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires. Ed. Technique et documentation. Vol. III. Paris. 274p.
- 12- Bountaux, J. 1993. Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson -qualité et santé-. 2<sup>e</sup> édition, Tech. & doc. Paris, 169p.
- 13- Boyé, M. & Nesson, C. 1969. Un problème de méthode: la particularité granulométrique d'un sédiment de la sebkha. *Environnements de Ouargla. Revue de Géomorphologie dynamique*, n° 1, 17-27.
- 14- Briere, P.R. 2000. Playa, Playa Lake, Sebkha: proposed definitions for old term. *J. Arid Environ*, 7p.
- 15- BRL- BNEDER. 1999. Etude du plan directeur générale de développement des régions sahariennes. Lot 1. Etude de base. Phase II A3. Monographies spécialisées des ressources naturelles. Ressources en eau, Vol. 3. Modélisation du Complexe Terminal. 63p.
- 16- Carlier M. 1980. Hydraulique générale et appliquée. Ed. Eyrolles. Paris, 38p.
- 17- Castany, G. 1982. Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie Tunisie). Aquifères du continental intercalaire et du complexe terminal. *Bull. BRGM 2 III*, Vol. 2, 127-167.



- 18-Chippaux, J.P., Houssier, S., Gross, P., Bouvier C. & Brissaud F. 2002. Etude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger. *Bull. Soc. Pathol. Exot.* 94 (2), 119-123.
- 19-Chocat B. 1997. *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*. Lavoisier Tec & Doc, Paris. 1124p.
- 20-Claudin, J., Houréou, H. N., & Pouget, M. 1979. Etude bioclimatique des steppes algériennes (avec carte 1/1 000 000). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord*, Alger.
- 21-Cornet, A. & Gouscov, N. 1952. Les eaux de Crétacé inférieur continental dans la Sahara algérien (nappe dite "Albien"). In: "La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie". 19<sup>ème</sup>. Congrès géologique international. T. II, 30p.
- 22-Cornet, A. 1961. Initiation à l'hydrogéologie saharienne. Cours ronéoté destiné aux officiers du cours préparatoire aux Affaires sahariennes. S.E.S. Birmandreis, Alger, 108p.
- 23-Coté B. 1986. Notes sur le calcul du ressaut hydraulique en conduite circulaire et en canal trapézoïdal. *Sciences et Techniques de l'eau*, 19 (4), 373- 375.
- 24-De Martonne. 1926. Aréisme et indice d'aridité. *C.R.E.Acad. Sci.*, Paris, n° 182. p: 1395-1398.
- 25-Derradji, F., Bousnoubra, H. & Kherici, N. 2005. Impact de la pollution organique par l'ammonium et les nitrates des eaux de l'extrême Nord-Est Algérien. *Colloque International terre et eau*. Univ. Badji Mokhtar. Annaba, p. 95-94.
- 26-DPAT. 2005. *Annuaire statistique de la wilaya de Ouargla*. 156p.
- 27-Dubief, J. 1953. *Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara*. S.E.S., Alger, 457p.
- 28-Dubief, J. 1963. Le climat du Sahara. *Mém. Hors série. Ins. Rech. Sahar.*, 2, 275p.
- 29-Dubost, D. 1992. Aridité, agriculture et développement: cas des oasis algérienne. *Rev. Sécheresse*, 3, 85-96.
- 30-Dubost, D. 2002. Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algérienne. *Cent. de Rech. Scien. et technique sur les régions arides*, 423.
- 31-Durand, J.H. 1958. Recherche sur les sels apportés au sol par les pluies. *Travaux des section pédologie et agrologie*. Bull, n°4 et Gén, n°5, SES, Birmendries.
- 32-Durand, J.H. 1983. *Les sols irrigables. Etude pédologique*. Presse Univ. France, 339p.
- 33-Dutil, P., 1971. *Contribution à l'étude des sols et des paléosols du sahara*. Thèse doc. Univ. Strasbourg. 346 p.
- 34-El Achheb, A., Mania, J. & Mudry, J. 2001. Processus de salinisation des eaux souterraines dans le bassin Sahel-Doukkala (Maroc occidental). *First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers-Monitoring, Modeling, and Management*. Essaouira, Morocco. 13p.
- 35-Emberger, L. 1954. Une classification biogéographique des climats. *Trav. Inst. Bot.*,
- 36-Empanza-Knörr A. & Torella F.M. 1995. Microbiological performance and Salmonella dynamics in wastewater deputation pond system of southeastern Spain. *Wat. Sci. Tech.* 31 (12), 239-248.
- 37-Figarella, J. & Leyral, G. 2002. *Analyses des eaux, aspects réglementaires et techniques*. France, 360p.
- 38-Gromaimre-Mertz, M.C. 1998. La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau unitaire: caractérisations et origine. Thèse de Doct. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 502 p.**

- 39-Guendouz, A., Moullam A.S., Edmunds, W.M., Zouari, K., Shand P. and Mamou A.. 2003. Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara. *Hydrogeology Journal*. 11, 483-495
- 40-Guendouz, A., Reghis, Z., & Moulla A.S. 1992. Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla. Rapport n° 1, 65p.
- 41-Guerre, G. 1975. Bouchage de l'Albien de Ouargla I. Observations personnelles et renseignements recueillis sur chantier. Archives de la direction de l'hydraulique, Ouargla. 8 p.
- 42-Hamdi-Aïssa, B. & Fedoroff, N. 1997. Salt affected soil functioning at the Ouargla oasis (Northern Sahara, Algeria). In: International Symposium on Sustainable Management of salt affected Soils. (ed. El-Gala, A., & Blum, W.E.H.), pp. 153-154., ISSS-FAO, Cairo.
- 43-Hamdi-Aïssa, B., Halitim, A., Bensaad, A., Halilat, M.T. & Daddi-Bouhoun, M. 2000. Gestion de l'eau pour une agriculture durable au Sahara algérien. In: Colloque international «Eaux Souterraines en Région Agricole». (ed. Banton, O. & Porel, G), pp. S3-63-66, INRS Québec, Univ. Poitiers, Poitiers.
- 44-Hamdi-Aïssa, B. 2001. Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord-Sahara (Cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse Doct., Inst. National Agronomique, Paris-Grignon, 283p.
- 45-Harmsen, J. 1983. Identification of organic compounds in leachate from a waste tip. *Wat. Res.*, 17, 699-705.
- 46-Haslay, C., & Leclerc, H. 1993. Microbiologie des eaux d'alimentation. Tec. & doc. Paris, 495.
- 47-Houhamdi, M., Mebarki, C. & Abbaci, S. 2005. Qualité microbiologique et physico-chimique des eaux des puits et des sources de la région d'Oum-El-Bouaghi. Colloque International terre et eau. Univ. Badji Mokhtar. Annaba, 158-165.
- 48-Idder, T. 1998. La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara algérien. Impact des rejets d'origine agricole et urbaine et technique de remédiations proposées. L'exemple de Ouargla. Thèse Doct., Université d'Angers, 284p.
- 49-Isacc, R.A., Gil L., Cooperman A.N., Hulme K., Eddy B., Ruiz M., Jacobson K., Larson C. & Pancorbo O.C. 1997. Corrosion in drinking water distribution systems: a major contributor of copper and lead to wastewaters and effluents. *Environmental Science and Technology*. Vol. 31, 3198-3203.
- 50-Jiménez, B., Chavez A., Maya, C. and Jardines YL. 2000. The removal of a diversity of microorganisms in different stages of wastewater treatment. 1<sup>st</sup> World Water Congress of the International Water Association, Paris, 3-7 July 2000. Conference preprint book 8, 102-109.
- 51-Kateb, S. 2003. Etude de l'efficacité de décanteur installé au niveau de point de rejet des eaux usées (cas de Bamendil). *Mém. d'Ing. Hyd. Saharie*. Univ. Ouargla. 67p
- 52-Kato, K. 1985. Seasonal observations of heterotrophic activity and active bacterial number in lake Constance. *Arch. Hydrobiol./ suppl.*, 3 (66), 309-319.

- 53-Kebiche, M. 1999. Pollution des eaux superficielles dans un climat semi-aride: la région de Sétif (Algérie). *Rev. Sécheresse*, 10 (2), 137-142.
- 54-Khattabi, H. 2002. Intérêts de l'étude des paramètres hydrogéologiques et hydrobiologiques pour la compréhension du fonctionnement de la station de traitement des lixiviats de la décharge d'ordures ménagères d'Etuefont (Belfort, France). Thèse Doct., Inst. Sciences de l'Environnement. Paris, 176p.
- 55-Khodjet-Kesba, O. & Kettab A. 1995. Interprétation pratique des performances des pompes sous l'effet de l'érosion abrasive "méthodes de mesure et résultants". ACTES du Premier Colloque Maghrébin sur Hydraulique. Ecole National Supérieure de l'Hydraulique, E.N.S.H. Blida. p. 115 -125
- 56-Lancastre A. 1996. Hydraulique générale. Ed. Eyrolles. Paris. 387p.
- 57-Larpent, J.P. & Larpent-Gourgant, M. 1985. Manuel pratique de microbiologie. Hermann collection, 230p.
- 58-Lazarova, V., Savoye P., Janex M. L., Blatchley E. R. and Pommepay, M. 1998. Advanced wastewater Disinfections Technologies: State of the art and Perspectives. Recycling and Reuse. 2° International Conference. Resources and Environmental: Priorities and challenge. Milan, Italy, p. 354-362.
- 59-Le Houerou, H.N. & Popov, G.F. 1959. Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridional. Ins. De Rech. Sahara, Univ. d'Alger, Mém. HS, 2 Vols et annexe, Alger, 510p.
- 60-Le Houerou, H.N. 1995. Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. OPTIONS méditerranéennes. Série B : Etude et recherche n°10. Ed. CIHEAM. Montpellier. 396p.
- 61-Lelièvre, R.F. 1969. Assainissement de la cuvette de ouargla. Ministère des Travaux Publics et de la construction, rapports Géohydraulique n° 2, 18p: n° 3, 84p.
- 62-Lester, J.N. 1987. Heavy metals in wastewater and sludge treatment processes. CRC Press, 183p.
- 63-Lethielleux, J. 1984. Ouargla cité saharienne des origines au début du XX<sup>e</sup> siècle. Ed. Paris. 295p.
- 64-Lezine, A. M. 1993. Chemchane, Histoire d'une Sebkhha. *Sécheresse*, 1(4), 25-30.
- 65-Medinger, G. 1961. La crue de décembre 1960, de l'Oued Mya. *Trav. de l'inst. de Recherche saharienne*. Tome XX. TD. 203-206.
- 66-Makoutode, M., Assani, A.K., Ouendo, E.M., Agueh, V.D. & Diallo P.1999. Qualité et mode de gestion de l'eau de puits en milieu rural au Bénin : cas de la sous-préfecture de Grand-Popo. *Médecine d'Afrique Noire*, 46 (11), 35-49.
- 67-Marvalin, O., Aleya L., Hartmann H.J. and Lazarek S. 1989. Coupling of the seasonal patterns of bacterioplankton and phytoplankton in a eutrophic lake. *Can. J. Microbiol.*, 35, 706-712.
- 68-Menani, M.R. 1991. Etude hydrogéologique de la plaine d'El Madher et modélisation des écoulements souterrains de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher. Thèse Doct., Univ. Nancy 1, France, 410p.
- 69-Menani, M.R. 2001. Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher selon la méthode DRASTIC. *Rev. Sécheresse*, 2 (12), 95-101.

- 70-Messied, M. & Achour B. 1995. Contribution à l'étude des écoulements graduellement varies, a surface libre, en régime turbulent rugueux. Cas d'un canal rectangulaire. ACTES du Premier Colloque Maghrébin sur Hydraulique. Ecole National Supérieure de l'Hydraulique, E.N.S.H. Blida, pp. 140-151.
- 71-Meybeck M. 1986. Composition chimique des ruisseaux non pollués de France. Sci. Géol.Bull. 39, pp. 3-77.
- 72-Mizier, O.M. 1998. Guide de choix d'un turbidimètre. n° 216, 10p.
- 73-Monod, T. 1992. Les déserts. Horizon de France, Paris, pp. 16-23.
- 74-Moulias, D. 1927. L'eau dans les oasis sahariennes, organisation hydraulique, régime juridique. Thèse doct., Alger, 271p.
- 75-Moulla, A.S., Guendouz, A. & Reghis, Z. 1993. Qualité chimique et bactériologique des eaux de la nappe phréatique de la région de Oued Souf. (Sahara Nord Est septentrional, Algérie). Rapport Interne, C.D.T.N, 13p.
- 76-Narasiah, S., Shoiry, G. & Morasse, C. 1991, Effet des variations des températures saisonnières sur les modifications des phosphates dans les eaux usées. Rev. Science de l'eau. 4 (1), 305-320.
- 77-Nassali, H., Ben Bouih, H., Srhir, A., Dhahbi, M. 2005. Influence des rejets des eaux usées sur la composition des eaux de surface et des sédiments superficiels du lac Merja au Maroc. Rev. Afrique Science. 01(1), 145-165.
- 78-Nesson, C. 1978. L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara algérien. In: Recherche sur l'Algérie. Ed. CNRS, Paris, pp 7-100.
- 79-Nezli, I.E. 2004. Mécanismes d'acquisition de la salinité et de la fluoration des eaux de la nappe phréatique de la basse Vallée de l'Oued Mya (Ouargla). Univ. d'Alger, Mém. Magister, Univ. Badi Mokhtar Anaba, 93p.
- 80-Nigim, H.H., Hashlamoun W.A., Al-Dadah J.Y., and Abu-Marasa A. 2002. Potential implementation of subsurface drip irrigation with primary treated wastewater. IWA Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region. Iraklio, Greece, 26-29 September 2002. Preprint Book 2. pp:171-174.
- 81-Nisbet, M. & Verneaux, J. 1970. Composantes chimiques des eaux courantes. Limnol. Vol. 6. N°2. pp. 121-130.
- 82-Norme EN 872.1996. Dosage des matières en suspension. Méthode par filtration en fibres de verre, AFNOR, Paris.
- 83-Norme NF EN 1484. 1997. Lignes directrices pour le dosage du carbone organique total (COT) et carbone organique dissous (COD), AFNOR, Paris.
- 84-Norme NF EN 1899-1. 1998. Détermination de la demande biochimique en oxygène après n jours ( $DBO_n$ ), Partie: Méthode par dilution et ensemencement avec apport d'allyl thio-urée, AFNOR, Paris.
- 85-Norme NF EN ISO 9308-3. 1999. Dénombrement des *Escherichia coli*. Méthode miniaturisée par ensemencement en milieu liquide (NPP), AFNOR, Paris.
- 86-Norme NFT 90-101. 1988. Détermination de la demande chimique en oxygène. AFNOR, Paris.
- 87-Norme NFT 90-411. 1985. Recherche et dénombrement des streptocoques de groupe D. Méthode générale par ensemencement en milieu liquide (NPP), AFNOR, Paris.
- 88-Norme NFT 90-413. 1985. Recherche et dénombrement des coliformes et des coliformes thermotolérants. Méthode générale par ensemencement en milieu liquide (NPP), AFNOR, Paris.
- 89-Norme ISO 6340 1995. Qualité de l'eau – Recherche de Salmonella, Genève.

- 90-Ouali, A. 1999. Précis d'assainissement urbain. Offic. Pub. Univ. Blida. 79p.
- 91-Ozenda, P. 1983. Flore du Sahara. Ed C.N.R.S., Parism 622p.
- 92-Pansu, M.M Gautheyrou J. & Loyer J-Y. 1997. L'analyse du sol. Echantillonnage, instrumentation et contrôle. Ed. Masson. Paris, 497p.
- 93-Pechère, J-C., 1979. Connaître, comprendre, traiter les infections. Edisem, 509p.
- 94-Polan, P & Henry, M. 1998. Qualité de l'eau souterraine dans la MRC de Coaticook. Vecteur Environnement. 31 (5), 46-55.
- 95-Pouget, M. 1980. Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-Algéroises. ORSTOM, Paris, 555p.
- 96-Remade, F. 1995. Eléments d'écologie: écologie appliquée. Paris, 632 p.
- 97-Rodier, J. 1998. Analyse d'eau. 8<sup>e</sup> édition, Durand, Paris. p.475-1047.
- 98-Rosen, M. & Jones S. 1998. Controls on the chemical composition of groundwater from alluvial aquifers in the Wanaka and Wakatipu basin, Central Otago, New Zealand. Hdrogeology journal. n° 6, pp: 264-281.
- 99-Rouvillois-Brigol, M. 1975. Le pays de Ouargla (Sahara Algérien) variation et organisation. Pub. Univ. Sorbonne, Paris, 361p.
- 100- Santé Canada. 1995. La turbidité. Document de support aux recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Accessible à : [http://www.hcsc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/dpc\\_pubs/rqepdoc\\_appui/rqep.htm](http://www.hcsc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/dpc_pubs/rqepdoc_appui/rqep.htm)
- 101- Schoeller, H. 1962. Les eaux souterraines. Ed. Masson & Scie, Paris. 627p.
- 102- Sheiks, B., Cooper R., & Israel K. 1998. Hygienic Evaluation of reclaimed Water Used to irrigate Food Crops –A Case Study. AWT98-Advanced Wastewater, Recycling and Reuse, Milono, 8675-8681.
- 103- Slimani, R. 2003. Contribution à l'étude hygiénique des caractères physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées de la cuvette de Ouargla et leurs impacts sur la nappe phréatique. Mém. d'Ing. Ecologie Envir. Saharienne. Univ. Ouargla. 108p
- 104- Stover, E., Haas C., Rakness K. & Scheible O. 1986. Design Manuel. Municipal Wastewater Disinfection. EPA/625/1-86/021. Cincinnati, p. 45-68.
- 105- Trad Raïs, M. 1995. Charge bactérienne des eaux usées tunisiennes avant et après traitement d'épuration. J. Eur.Hydrol, 26 (3), 317-326.
- 106- Touil, Y. 2003. Etude des possibilités de la réutilisation des eaux de drainage dans la cuvette de Ouargla. Mém. Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique Arbaoui Abdellah. Alger. 102p.
- 107- UNESCO. 1972. Projet reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris. 78p.
- 108- US EPA. 2001. National primary drinking water standards. United States Environmental Protection Agency, 4p. Accessible à: <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html>

# *Annexe*

## ANNEXE 1

Tableau représente les caractéristiques des forages d'irrigation de la palmeraie de Ouargla.

N°	CODE	NOM	Situation	Année de réalisation	Nappe exploitée	Débit mobilisé (l.s <sup>-1</sup> )	Débit Exploité (l.s <sup>-1</sup> )	Temps de pompage par jour (h)	
								été	Hiver
1	D7F5	Sidi Beradjel	Bamendil	1984	M-Pliocène	40	20	12	12
2	D7F6	Bamendil cherguI	Bamendil	1985	M-Pliocène	40	20	12	10
3	D7F7	Bamendil	Bamendil	1988	M-Pliocène	30	20	12	12
4	D7F2	COFOR	Bamendil	1967	M-Pliocène	20	15	12	12
5	D1F113	Garet Chemia	IHAS	1970	Sénonien	25	20	6	6
6	D1F150	I HAS	IHAS	1986	M-Pliocène	30	20	10	10
7	D1F120	Ain Nacer Diaba	Mekhadma	1980	M-Pliocène	20	15	24	24
8	D1F91	SAR	Mekhadma	1954	Sénonien	30	20	12	12
9	D1F126	SAR 2	Mekhadma	1979	M-Pliocène	29	20	24	24
10	D1F132	Sidi Amrane	Mekhadma	1984	M-Pliocène	40	20	14	14
11	D1F118	EL Bour	Mekhadma	1971	M-Pliocène	25	20	24	24
12	D1F117	Sidi Meghraoui	Mekhadma	1971	M-Pliocène	30	20	14	14
13	D1F119	Belegtaif	Mekhadma	1973	M-Pliocène	30	20	10	10
14	D1F131	Belegtaif 3	Mekhadma	1985	M-Pliocène	40	20	12	12
15	D1F108	Merghoub	Mekhadma	1966	M-Pliocène	20	20	12	12
16	D1F99	Merghoub Kebir	Mekhadma	1967	M-Pliocène	20	15	24	12
17	D1F98	Merghoub2	Mekhadma	1967	M-Pliocène	25	20	13	13
18	D1F72	Foundou	Beni Brahim		M-Pliocène		5		
19	D2F54	Banounou	Beni Brahim	1966	M-Pliocène	20	20	12	12
20	D1F106	Couchan	Beni Brahim	1966	M-Pliocène	17	12	12	8
21	D1F100	Belabas	Beni Brahim	1963	M-Pliocène	25	20	11	11
22	D2F53	Aintass	Beni Brahim	1963	M-Pliocène	20	15	12	8
23	D2F67	Bourahla	Beni Brahim	1989	M-Pliocène	30	20	12	12
24	D1F116	Outadja	Beni Brahim	1970	M-Pliocène	30	20	10	8
25	D1F97	Baba Aissa	Beni Brahim	1961	m-pliocène	20	15	14	8

26	D1F109	Baba Merzoug	Beni Brahim	1962	m-pliocène	17	12	13	8
27	D1F125	Bab Sbaa	Beni Brahim	1978	m-pliocène	30	20	12	8
28	D1F136	Oulalou	Beni Brahim	1988	M-Pliocène	40	20	11	10
29	D1F130	Nanouidi	Beni Brahim	1982	M-Pliocène	30	20		
30	D1F129	Beybib	Beni Brahim	1982	M-Pliocène	30	20	13	10
31	D1F104	Bouchaib	Beni Brahim	1962	M-Pliocène	20	20	11	11
32	D1F133	Bouamour	Beni Brahim	1985	M-Pliocène	40	20	13	11
33	D1F111	Baba Youcef	Beni Brahim	1969	m-pliocène	28	20	14	10
34	D2F62	Ain Djidida	Said Otba	1982	M-Pliocène	25	20		
35	D2F61	Said	Said Otba	1974	Sénonien	20	20	12	11
36	D2F63	Haniche	Said Otba	1985	M-Pliocène	30	20	13	11
37	D2F59	Bouroubia	Beni Ouaguin	1966	M-Pliocène	16	10	12	10
38	D2F56	Baissa	Beni Ouaguin	1962	M-Pliocène	11	10	12	12
39	D2F64	Mimia	Beni Ouaguin	1988	M-Pliocène	35	20	13	8
40	D2F60	Ghendra	Beni Ouaguin	1960	M-Pliocène	20	20	16	12
41	D2F70	Sonia	Beni Ouaguin	1993	M-Pliocène	30			
42	D2F58	Ain Kahla	Beni Sessine	1962	M-Pliocène	20	20	13	8
43	D2F65	Ouidir	Beni Sessine	1988	M-Pliocène	30	20	12	8
44	D2F52	Temlaouine	Beni Sessine	1960	M-Pliocène	20	15	14	14
45	D2F57	Mahcen 2	Beni Sessine	196	M-Pliocène	16	12	115 h/S	
46	D4F89	Ain Smara	Beni Sessine	1971	M-Pliocène	30	16	14	14
47	D4F106	Baba Hamou	Beni Sessine	1991	M-Pliocène	30	20	10	8
48	D4F88	Ain Bala Djidida	Beni Sessine	1971	M-Pliocène	30	20	13	11
49	D4F87	Ain Djali	Beni Sessine	1971	M-Pliocène	30	20	12	10
50	D4F109	Meganou 3	Beni Sessine	1995	M-Pliocène	36	30		
51	D4F70	Ain Megan Djidia	Beni Sessine	1962	M-Pliocène	20	16	19	16
52	D4F74	Ain Bel Guebli	Beni Thour	1971	M-Pliocène		11		
53	D4F73	Ain Louise	Beni Thour	1966	Sénonien	30	20	10	8
54	D4F108	Ain Bel	Beni Thour	1985	M-Pliocène	35	29		
55	D4F82	Ain Saad	Beni Thour	1970	M-Pliocène	20	20	13	11
56	D4F81	Ain Harchaia	Beni Thour	1970	M-Pliocène	24	20	12	10
57	D4F107	Ain Sakouti	Beni Thour	1991	M-Pliocène	30	20		



58	D4F76	Hadj Chik Sebkh	Beni Thour	1968	M-Pliocène	25	20	13	11
59	D4F86	Ain Ben Saci	Rouissat	1971	M-Pliocène	30	20	13	11
60	D4F79	Ain Ben Krime	Rouissat	1969	M-Pliocène	25	20	13	13
61	D4F78	Ain Ouaste	Rouissat	1968	M-Pliocène		20	15	15
62	D3F7	Ain Djabana	Rouissat	1970	M-Pliocène	20	20	13	11
63	D4F103	Ain Arbia 2	Rouissat	1985	M-Pliocène	45	20	15	15
64	D4F96	Zaouia	Rouissat	1978	M-Pliocène	30	20		
65	D4F101	Ain Debaghe 2	Rouissat	1982	M-Pliocène	30	20		
66	D3F10	Rouissa 3	Rouissat	1977	Sénonien	45	20	13	13
67	D4F84	Ain El Arche	Rouissat	1970	M-Pliocène	28	20	12	12
68	D4F100	Ain Zoubaidi	Rouissat		M-Pliocène		20	12	12
69	D4F93	Al N abdelah	Rouissat	1973	M-Pliocène	30	20	12	12
70	D4F85	Ain Malha Djidida	Rouissat	1971	M-Pliocène	25	20		
71	D3F20	Ain Zaabat	Rouissat	1990	M-Pliocène	30	20		
72	D4F80	Ain Cherif	Rouissat	1970	M-Pliocène	25	20	13	13
73	D4F91	Beni Thour	Rouissat	1981	M-Pliocène		20	12	12
74	D4F98	Ain Medjbed	Rouissat	1981	M-Pliocène	30	20	12	12
75	D3F9	Ain Brahim	Rouissat	1973	M-Pliocène	40	10	12	12
77	D4F69	Ain El Hadeb	Rouissat	1960	M-Pliocène		8		
76	D4F94	Ain Star	Rouissat	1974	M-Pliocène	30	20	11	11
78	D4F77	Ain Toula	Ain Beida	1968	M-Pliocène	25	20	12	12
79	D5F117	Ain Degla	Ain Beida	1988	M-Pliocène	40	20	14	14
80	D4F97	Ain Koubania 2	Ain Beida	1979	M-Pliocène	35	20	10	10
	D4F94	Star Djidid	Rouissat	1975	M-Pliocène		10		
81	D4F75	Ain Kadi 2	Ain Beida	1968	M-Pliocène	20	20	15	15
82	D4F83	Ain Koubania1	Ain Beida	1970	M-Pliocène	30	20	8	8
83	D4F66	Khanafif	Ain Beida	1958	M-Pliocène	10	10	14	14
84	D4F61	Maghzane2	Ain Beida	1957	m-pliocène		10	9	9
85		Zergoun	Ain Beida		M-Pliocène		20		
86	D5F138	Ain Lassel 2	Ain Beida	1995	M-Pliocène	32	20	14	14
87	D4F102	Ain Arbaa	Ain Beida	1985	M-Pliocène	40	20	12	12
88	D5F77	Ain Tahar	Adjadja	1980	M-Pliocène		10	20	20

89	D5F73	Adjadja	Adjadja	1968	M-Pliocène	20	18	20	20
90	D5F120	Ain Assen	Adjadja	1989	M-Pliocène	32	20	17	17
91	D5F76	Ain Sakta	Adjadja	1971	M-Pliocène	40	20	17	17
92	D4F104	Ain Kadduor	Adjadja	1984	M-Pliocène	40	20	12	12
93	D4F55	Ain Kaid Laid	Adjadja	1952	M-Pliocène	13	11		
94	D5F127	Khouiled	Adjadja	1990	M-Pliocène		20	20	20
95	D5F143	Khazen Sebka	Adjadja	1995	M-Pliocène	10	10		
96	D4F100	Ain Rbaa	Adjadja	1985	M-Pliocène	20	20	12	12
97	D5F71	Ain El Bab	Chott	1960	M-Pliocène	12	12	14	14
	D5F128	Ain Messalah	Adjadja	1991	M-Pliocène		20	12	10
98	D5F80	Station Chott	Chott	1983	M-Pliocène	40	20	13	13
99	D5F123	Ain Khouiled	Chott	1989	M-Pliocène	30	20	16	16
100	D5F132	Ain Alali	Chott	1988	M-Pliocène	34	28	14	10
101	D5F75	Ain Zegag	Chott	1972	M-Pliocène	20	20	12	10
102	D5F112	Ain Behir	Chott	1996	M-Pliocène	35	20	12	12
103	D5F72	Beni Sessine	Chott	1963	M-Pliocène		5	10	10
104	D5F82	Si Slimane	Chott	1988	M-Pliocène		25	13	11
105	D5F124	Ain Briss	Chott	1991	M-Pliocène	30	20	11	10
106	D5F114	Tlili Mohamed	Chott	1990	M-Pliocène	35	20	10	10
107		Limame Lakhdar	Chott	1993	M-Pliocène		20	8	8
108	D5F139	Bouhafia	Chott	1995	M-Pliocène	20	20		
109	D5F140	Ain Beher2	Chott	1996	M-Pliocène	25	20		
110	D5F79	Ain Koudiet	Chott	1982	M-Pliocène	40	20	12	12
111	D5F81	Ain Freha	Chott	1985	M-Pliocène		20	11	10
112	D5F122	Ain Alali Med	Chott	1988	M-Pliocène	30	20	10	10
113	D5F83	Ain Freha	Chott	1985	M-Pliocène	40	20	12	12
114	D2F51	Transat Selis	Centre Ville	1958	M-Pliocène	15	10	8	8
115	D1F115	O,C,I	Centre Ville	1970	M-Pliocène	15	12	24	24
116	D1F102	Pessine	Centre Ville	1961	M-Pliocène	15	12	8	8
117	D1F114	Wilaya	Centre Ville	1970	M-Pliocène	15	12		0.32