

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار  
عنابة

Faculté des sciences de la terre

Année : 2007

Département de Géologie

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER

**IMPACT DE LA POLLUTION ORGANIQUE ET  
CHIMIQUE DES EAUX DE L'OUED SEYBOUSE  
ET DE L'OUED MELLAH SUR LES EAUX  
SOUTERRAINES DE LA NAPPE ALLUVIALE  
DE BOUCHEGOUF (GUELMA)**

Option :  
*Géoscience*

Par  
Widad CHAOUI

Directrice du mémoire :

**KHERICI BOUSNOUBRA. H**

**M.C U. Annaba**

Devant le Jury :

Président : **AMARCHI. H**

**MC U. Annaba**

Examineurs :

**CHOUABBI A.M  
DERRADJI. E.F**

**MC U. Annaba  
MC U. Annaba**

## Table des matières

- ملخص
- ABSTRACT
- RESUME
- REMERCIEMENT
- DEDICACE
- Liste des Tableaux
- Liste des Figures

<b>INTRODUCTION</b>	2
---------------------	---

### **CHAPITRE 1 : CADRE GENERALE DE LA REGION D'ETUDE**

1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE	4
1.2 APERÇU SOCIO-ECONOMIQUE	4
1.3 APERÇU GEOLOGIQUE	4
1.3.1 Introduction	4
1.3.2 Etude litho stratigraphique	4
1.3.2.1 Introduction	4
1.3.2.2 Quaternaire	5
1.3.2.3 Mio pliocène continental (post-nappe)	6
1.3.2.4 Les formations allochtones	6
1.3.2.4.1 Nappe Numidienne	6
1.3.2.4.2 Nappe Ultra tellienne	6
1.3.2.5 Complexe salifère du Nador	7
1.3.3 Synthèse de la géologie de la région d'étude	7
1.3.3.1 Quaternaire	7
1.3.3.1.1 Alluvions de la basse terrasse	7
1.3.3.1.2 Alluvions de la moyenne terrasse	10
1.3.3.1.3 Alluvions de la haute terrasse	10
1.3.3.2 Mio pliocène	11
1.3.3.3 Aquitanien	11
1.3.3.4 Trias	11
Conclusion	11

### **CHAPITRE 2 : HYDROCLIMATOLOGIE**

2.1. CLIMATOLOGIE	13
2.1.1. Introduction	13
2.1.2. Précipitations	13
- Coefficient pluviométrique (CP)	14
- Répartition saisonnière des précipitations	15
- Répartition des précipitations moyennes mensuelles	16
- Répartition des précipitations moyennes annuelles (1997/2006)	16
2.1.3 Evolution des températures	17
- Répartition des températures moyennes mensuelles	17
- Répartition des températures moyennes annuelles (1997/2006)	18
2.1.4 Type du climat	19

2.1.5 Diagramme pluviothermique	20
2.1.6 Bilan hydrique	21
2.1.6.1 Evapotranspiration	21
- Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	21
- Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)	22
2.1.6.2 Ruissellement	24
2.1.6.3 Infiltration	24
<b>2.2 HYDROLOGIE</b>	<b>24</b>
2.2.1 Introduction	24
2.2.2 Le stock d'eau de surface	25
2.2.2.1 Oued Seybouse	25
2.2.2.2 Oued Mellah	26
-Réseau hydrométrique	26
- Les débits à la station hydrométrique de Bouchegouf	26
- Débits moyens mensuels de l'Oued Mellah	26
- Débits moyens annuels de l'Oued Mellah	27
- Coefficient moyen des débits	28
2.2.3 Infiltration et stock d'eau	29
2.2.3.1 Distinction zone saturée et zone non saturée	29
2.2.3.2 Distinction eau du sol et eau du sous sol	30
2.2.3.3 Distinction zone saturée et zone non saturée dans la plaine de Bouchegouf	31
2.2.4 Relation eau de surface – eau souterraine	31
Conclusion	34

## **CHAPITRE 3 : QUALITE ET VULNERABILITE A LA POLLUTION DES EAUX DE BOUCHEGOUF**

<b>3.1 HYDROCHIMIE</b>	<b>36</b>
3.1.1 Introduction	36
3.1.2 Matériel et méthodes	36
3.1.3 Résultats et discussion	37
3.1.3.1 Détermination du faciès chimique	37
3.1.3.1.1 Formule ionique	37
3.1.3.1.2 Diagramme de Piper	38
3.1.3.1.3 Diagramme de Scholler Berkalo	39
3.1.3.2 Interprétation et conclusion	39
<b>3.2 QUALITE DES EAUX</b>	<b>40</b>
3.2.1 Vulnérabilité et protection	40
3.2.1.1 Introduction	40
3.2.1.2 Pouvoir épurateur des sols	41
3.2.1.3 Evaluation du pouvoir épurateur et périmètres de protection	43
3.2.2 Indice de contamination	46
3.2.3 Indice de pollution organique	47
3.2.4 Lisec Index	48
3.2.5 Méthode de IHE	49
3.2.6 Comparaison des indices de qualité	50
3.2.7 Evolution de la pollution entre deux états d'observation (2001, 2007)	54
Conclusion	58

## **CHAPITRE 4 : ETUDE QUALITATIVE DES EAUX DE LA REGION DE BOUCHEGOUF**

4.1 INTRODUCTION	60
4.2 POTABILITE DES EAUX	60
4.2.1 Introduction	60
4.2.2 pH	60
4.2.3 Conductivité électrique	60
4.2.4 Les chlorures	62
4.2.5 Calcium	63
4.2.6 Magnésium	63
4.2.7 Nitrates	63
4.2.8 Ammonium	65
4.2.9 Diagramme Ammonium Nitrates	67
4.2.10 Phosphates	68
4.2.11 DCO	69
4.2.12 DBO5	69
4.2.13 Eutrophisation	70
Conclusion	79
4.3 APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION	79
4.3.1 Introduction	79
4.3.2 Le risqué de salinité	80
4.3.3 Le risqué de sodicité	81
4.3. Etude agronomique	82
CONCLUSION	84
4.4 UTILISATION DES EAUX EN INDUSTRIE	84
4.4.1 Introduction	84
4.4.2 La corrosion	85
4.4.3 Entartrage	88
4.4.4 Calculs et résultats	91
Conclusion	93
<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</b>	95
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	99
<b>ANNEXES</b>	103

## **Abstract**

This study treats two objectives dealing pollution and water management in the region of Bouchegouf. Firstly, Hydrochemistry and pollutants of superficial and underground waters are approached using normalized indexes. Two maps showing water quality have been constructed based upon 10 points for analysis water covering the studied area. Water specimens were collected during the months of January and June of the year 2007. The results indicate that pollution is not vertical. Water quality of Seybouse and Mellah rivers has a Lisec Index ranging from 4 to 6 during lower water period, whereas for high water period, the quality is bad as the IPO Index is below 2. Secondly, water management in this region shows that pollution exists and may become important in time and specifically for underground waters. The use of Bouchegouf waters is allowed for irrigation and industry, however; as drinkable water, a thorough treatment is definitely required.

**Key Words:** Region of Bouchegouf, quality, surface water, underground water, pollution index, water management.

## Résumé

Cette étude traite deux objectifs en relation avec la pollution et la gestion des eaux de la région de Bouchegouf. En premier lieu, il est question d'approcher l'hydrochimie et les polluants des eaux superficielles et souterraines à partir de l'établissement des indices normalisés. Deux cartes illustrant la qualité des eaux ont été élaborées en se basant sur 10 points de prélèvement couvrant l'ensemble de la zone d'étude. Les prélèvements aient été effectués aux mois de janvier et en juin de l'année 2007. Les résultats indiquent que la pollution n'est pas verticale. La qualité des eaux des Oueds Seybouse et Mellah est bonne à très bonne ( $4 < \text{Lisec Index} < 6$ ) pour le mois de janvier. Par contre dans la période de juin, la qualité devient mauvaise avec des  $\text{IPO} < 2$ . En second lieu, la gestion qualitative des eaux de cette région montre que les ressources hydriques sont polluées et cette pollution risque de s'aggraver dans le temps et dans la nappe. L'utilisation de ces eaux est possible avec des précautions dans les domaines d'irrigation et d'industrie. Par contre dans le domaine d'alimentation en eau potable, ces eaux ne sont pas autorisées et nécessitent des traitements.

***Mots clés :** Région de Bouchegouf, qualité, eau de surface, eau souterraine, indice de pollution, gestion.*

## Listes des figures

N°	Titre	page
1.1	Situation géographique de la zone d'étude	05
1.2	Carte géologique de la région de Bouchegouf (M J Flandrin 1930)	08
1.3	Coupes géologiques la plaine de Bouchegouf	09
1.4	Coupe schématique des différents types de terrasses dans la plaine de Bouchegouf	10
2.1	Station climatique et hydrométrique dans le bassin de la Seybouse	13
2.2	Evolution des précipitations (1997/2006)	15
2.3	Pourcentage saisonniers des précipitations pour la période de 1997 à 2006.	15
2.4	Précipitations moyennes mensuelles (1997/2006).	16
2.5	Précipitations moyennes annuelles (1997/2006)	17
2.6	Températures moyennes mensuelles (1997/2006)	18
2.7	Températures moyennes annuelles (1997/2006)	19
2.8	Diagramme pluviothermique (1997/2006)	20
2.9	Le cycle de l'eau	21
2.10	Représentation graphique du bilan hydrique (1996/2006)	23
2.11	Le stock d'eau de surface	25
2.12	Variations mensuelles des débits (1985/2006)	27
2.13	Variations annuelle des débits (1985/2006)	28
2.14	Evolutions des coefficients des débits moyens de l'Oued Mellah (1985/2006)	29
2.15	Distinction zone non saturée et zone saturée	30
2.16	Coupe schématique illustrant la limitation de la zone non saturée et la zone saturée dans la plaine de Bouchegouf.	31
2.17	Coupe hydrogéologique de la région de Bouchegouf.	32
2.18	Carte piézométrique de la région de Bouchegouf (Djabri 1992)	33
3.1	Carte d'inventaire des points de prélèvement d'eau.	36
3.2	Diagramme de Piper (Janvier 2007)	38
3.3	Diagramme de Scholler Berkalo (Janvier 2007)	39
3.4	Comparaison des trois indices de pollution organique calculer dans la nappe alluvial de Bouchegouf et dans l'Oued Seybouse et l'Oued Mellah (Janvier 2007)	50
3.5	Indice de qualité pour la période de janvier 2007	51
3.6	Comparaison des trois indices de pollution organique calculer dans la nappe alluvial de Bouchegouf et dans l'Oued Seybouse et l'Oued Mellah (Juin 2007)	52
3.7	Indice de qualité pour la période de juin 2007	53
3.8	Carte d'inventaire des points d'eaux étudié en 2001	54
3.9	Courbes de variation du pH dans l'Oued Seybouse et Oued Mellah (2001, 2007)	55
3.10	Courbes de variation de la conductivité électrique dans l'Oued Seybouse et Oued Mellah (2001, 2007)	55
3.11	Courbes de variation du chlorure dans l'Oued Seybouse et Oued	56

	Mellah (2001, 2007)	
3.12	Courbes de variation du $\text{HCO}_3$ dans l'Oued Seybouse et Oued Mellah (2001, 2007)	56
3.13	Courbes de variation du $\text{NO}_3$ dans l'Oued Seybouse et Oued Mellah (2001, 2007)	57
3.14	Courbes de variation du DCO dans l'Oued Seybouse et Oued Mellah (2001, 2007)	57
4.1	Variation du pH dans les eaux de Bouchegouf (2007)	61
4.2	Variation de la conductivité électrique dans les eaux de Bouchegouf (2007)	61
4.3	Variation du chlorure dans les eaux de Bouchegouf (2007)	62
4.4	Variation du calcium dans les eaux de Bouchegouf (2007)	64
4.5	Variation du magnésium dans les eaux de Bouchegouf (2007)	65
4.6	Variation du nitrates dans les eaux de Bouchegouf (2007)	66
4.7	Variation d'ammonium dans les eaux de Bouchegouf (2007)	66
4.8	Schémas des différentes formes de pollution suivant l'orientation de l'axe dans le diagramme Ammonium Nitrates	67
4.9	Diagramme Ammonium Nitrates des points prélevés à Bouchegouf	67
4.10	Variation du phosphate dans les eaux de Bouchegouf (2007)	68
4.11	Variation du DCO dans les eaux de Bouchegouf (2007)	69
4.12	Variation du $\text{DBO}_5$ dans les eaux de Bouchegouf (2007)	70
4.13	Variation du Eh en fonction de $\text{NO}_3$ (Janvier 2007)	73
4.14	Variation du Eh en fonction de DCO (Janvier 2007)	73
4.15	Variation du Eh en fonction de $\text{DBO}_5$ (Janvier 2007)	74
4.16	Variation du Eh en fonction de pH (Janvier 2007)	74
4.17	Variation du $\text{NH}_4$ en fonction de $\text{PO}_4$ (Janvier 2007)	75
4.18	Variation du $\text{NO}_3$ en fonction de $\text{PO}_4$ (Janvier 2007)	75
4.19	Variation de la $\text{DBO}_5$ dans les deux Oueds Seybouse et Mellah de l'amont vert l'aval (2007)	76
4.20	Variation de la DCO dans les deux Oueds Seybouse et Mellah de l'amont vert l'aval (2007)	77
4.21	Variation de la $\text{NH}_4$ dans les deux Oueds Seybouse et Mellah de l'amont vert l'aval (2007)	77
4.22	Variation de la $\text{NO}_3$ dans les deux Oueds Seybouse et Mellah de l'amont vert l'aval (2007)	78
4.23	Variation de la $\text{PO}_4$ dans les deux Oueds Seybouse et Mellah de l'amont vert l'aval (2007)	78
4.24	Evolution spatio-temporelle de la conductivité des eaux (2007)	81
4.25	Diagramme de Richards (Janvier 2007)	83
4.26	Diagramme de Langelier Hoover	92

## Liste des tableaux

N°	Titre	page
1.1	Formations géologique et intérêt hydrogéologique	10
2.1	Evolution du coefficient pluviométrique (1997/2006)	14
2.2	Indice d'aridité mensuel moyen.	20
2.3	Bilan hydrique de la station de Bouchegouf (CW Thorntwaite)	22
2.4	Tableau récapitulative pour l'ETR	24
2.5	Paramètres du bilan global à la station de Bouchegouf (1997/2006)	24
2.6	Station hydrométrique du sous bassin versant Mellah	26
2.7	Le coefficient moyen des débits (1985/2006).	28
3.1	Les faciès chimiques de chaque analyse concernant la période de Janvier 2007 pour la nappe alluviale de Bouchegouf et les deux Oueds Seybouse et Mellah	38
3.2	Pouvoir épurateur du sol dans la couverture (zone non saturée) (W.Rehse, 1977)	42
3.3	Pouvoir épurateur du sol dans l'aquifère (zone saturée) (W.Rehse, 1977)	42
3.4	Pouvoir épurateur des aquifères de fractures H.Bolsenkotter (1984)	43
3.5	Pouvoir épurateur dans la nappe alluviale de Bouchegouf (H.Bousnoubra 2002) modifié	45
3.6	Intervalles des classes	46
3.7	Indice de contamination des eaux souterraines (2007)	46
3.8	Indice de contamination des eaux de surface (2007)	46
3.9	Intervalle des classes des paramètres de pollution organique( Leclerq et Maquet 1987)	47
3.10	Grille de degré d'indice de pollution organique	47
3.11	Indice de pollution organique des eaux souterraines (2007)	47
3.12	Indice de pollution organique des eaux de surfaces (2007)	47
3.13	Intervalle des classes des paramètres de pollution « méthode de Lisec-Index » (Bechers et Steegmans 1979)	48
3.14	Grille de qualité des eaux par la méthode de Lisec-Index	48
3.15	Indice de pollution Lisec-Index des eaux souterraines (2007)	48
3.16	Indice de pollution Lisec-Index des eaux de surfaces (2007)	48
3.17	Intervalle des classes des paramètres de pollution (méthode de l'IHE 1986)	49
3.18	Grille de degré de pollution organique calculé par la méthode de l'IHE.	49
3.19	Indice de pollution organique calculé par la méthode de l'IHE des eaux souterraines (2007)	49
3.20	Indice de pollution organique calculé par la méthode de l'IHE des eaux de surface (2007)	49
3.21	La classification des paramètres organique de la nappe alluviale de Bouchegouf, Oued Seybouse et Oued Mellah selon la qualité correspondant aux couleurs générales (Janvier 2007)	50
3.22	La classification des paramètres organique de la nappe alluviale de Bouchegouf, Oued Seybouse et Oued Mellah selon la qualité correspondant aux couleurs générales (Juin 2007)	52

4.1	Classes de salinité selon Richards (Mouassa S 2006)	80
4.2	Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR	82
4.3	Indice de corrosion et entartrage pour Janvier 2007	91
4.4	Indice de corrosion et entartrage pour Juin 2007	91

# INTRODUCTION

## Introduction

La gestion des eaux soit qualitative ou quantitative est un problème d'ordre socio-économique et écologique, car l'eau douce, élément constitutif du cycle de l'eau, est une ressource indispensable à la vie. Depuis toujours, sa disponibilité a guidé à l'apparition et le développement d'organismes vivants sur la planète.

L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère est devenu progressivement une préoccupation mondiale. En Algérie la principale source de satisfaction de la demande en eau est l'eau souterraine, du fait de son exploitation relativement facile. La croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent un grand problème de détérioration de la qualité de cette source souterraine, déjà en quantité limitée. Actuellement, les cours d'eau de la région étudiée reçoivent en permanence les rejets urbains et industriels chargés d'éléments chimiques et organiques, souvent toxique. Ces substances polluantes peuvent affecter de façon dangereuse la santé publique, si elle continue à être déversées dans la nature sans traitement préalable. Le mécanisme de pollution des eaux souterraines est un processus évolutif dans l'espace et dans le temps, difficilement maîtrisable.

C'est ce contexte qui s'inscrit la présente étude. Comme Bouchegouf est une région à vocation agricole, ce qui fait d'elle une grande utilisatrice de l'eau sans pour autant parler de la demande en eau potable à l'alimentation humaine et à l'utilisation industrielle. Essayons par ce travail de visée deux aspects, en premier lieu, l'étude s'intéresse à l'hydrochimie et la qualité des eaux de la région. En second lieu, gestionnée ces eaux selon leur qualité.

En vue d'atteindre ces deux objectifs nous avons entamé quatre principaux chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la présentation du cadre générale de la région d'étude (situation géographique et aperçu géologique).

Le second chapitre est divisé en deux parties :

Dans la première, il sera question de la climatologie où la détermination des termes du bilan hydrique. En se basant sur les données pluviométriques et de la température collectées entre 1997 et 2006. La deuxième partie sera dédiée à l'étude hydrologique en faisant apparaître le rôle des deux Oueds à savoir Oued Seybouse et Oued Mellah en relation avec la nappe souterraine.

Le troisième chapitre à pour but principal d'étudié les caractéristiques physicochimiques et la qualité des eaux superficielles et souterraines de la région d'étude à partir de la détermination du faciès chimique, du calcul des indices de pollution et l'illustration des cartes de qualité des eaux.

Le quatrième chapitre vise la gestion qualitative des eaux pour bien gérée ces dernières dans le domaine qu'il conviennes soit pour l'alimentation en eau potable, alimentation en eau industriel ou pour l'irrigation des cultures.

Et à la fin ces quatre chapitres ce termine par des conclusions et perspectives.

# **Chapitre 1**

## **CADRE GENERAL DE LA REGION D'ETUDE**

## 1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

La région d'étude se situe dans la partie Nord-Est de l'Algérie (Figure 1.1). Elle fait partie de la zone Est de la wilaya de Guelma. Elle est à 35 km d'Annaba au Nord et à 25 km de Souk Ahras au Sud-Est. Au Nord-Est, elle est limitée par la wilaya d'El-Tarf à 44 km. La ville de Bouchegouf dont la création remonte à l'époque pré-coloniale, a été érigée au rang de chef lieu de daïra depuis le découpage administratif de 1974. Spécifiquement, ses frontières administratives sont :

- Au Nord : la commune de Oued Frarah
- Au Sud : la commune de M'zadji-Sfa
- A l'Est : la commune de Hammam Beni Salah
- Au Nord-Ouest : la commune de Boukamouza
- Au Sud-Ouest : la commune de Hammam N'Bail

La Daïra de Bouchegouf s'étale sur une superficie de 232 km<sup>2</sup>.

## 1.2 APERÇU SOCIO-ECONOMIQUE

La daïra de Bouchegouf est essentiellement à vocation agricole caractérisée par une très large pratique du système céréaliculture et élevage. L'activité industrielle reste faible et elle est représentée simplement par les trois unités : (1) unité de production de levure, (2) unité de chaussures et habillements et (3) unité de l'office national d'alimentation du bétail (ONAB). Il faut toutefois signaler que la mise en valeur hydro agricole des 2000 hectares de la plaine de Bouchegouf contribue certainement à l'essor socio-économique prometteur à la commune.

## 1.3 APERÇU GEOLOGIQUE

### 1.3.1 Introduction

L'objectif de cette étude est de connaître les potentialités en eau de la plaine de Bouchegouf. Le travail est divisé en deux parties : la première concerne une étude litho stratigraphique alors que la seconde traite des formations récentes au niveau de la plaine de Bouchegouf.

### 1.3.2. Etude litho-stratigraphique

#### 1.3.2.1 Miocène

Le Miocène marin a été signalé pour la première fois en Algérie orientale par H. Coquant (Chouabbi.1987) et après plusieurs recherches faites par les géologues, trois séries Miocènes ont été distinguées dans l'Ouarsenis, le Chelif et plus au Sud dans le Hodna c'est :

- Miocène anté-nappe
- Miocène charrié

- Miocène post-nappe

### 1.3.2.2 Quaternaire

Le Quaternaire du bassin de la Seybouse comprend des formations variées, les unes d'origine marine (sable de plage), les autres révèlent de sédimentation continentale (dépôts alluvionnaires grès, terre rouge, dunes, éboulis, alluvions..).

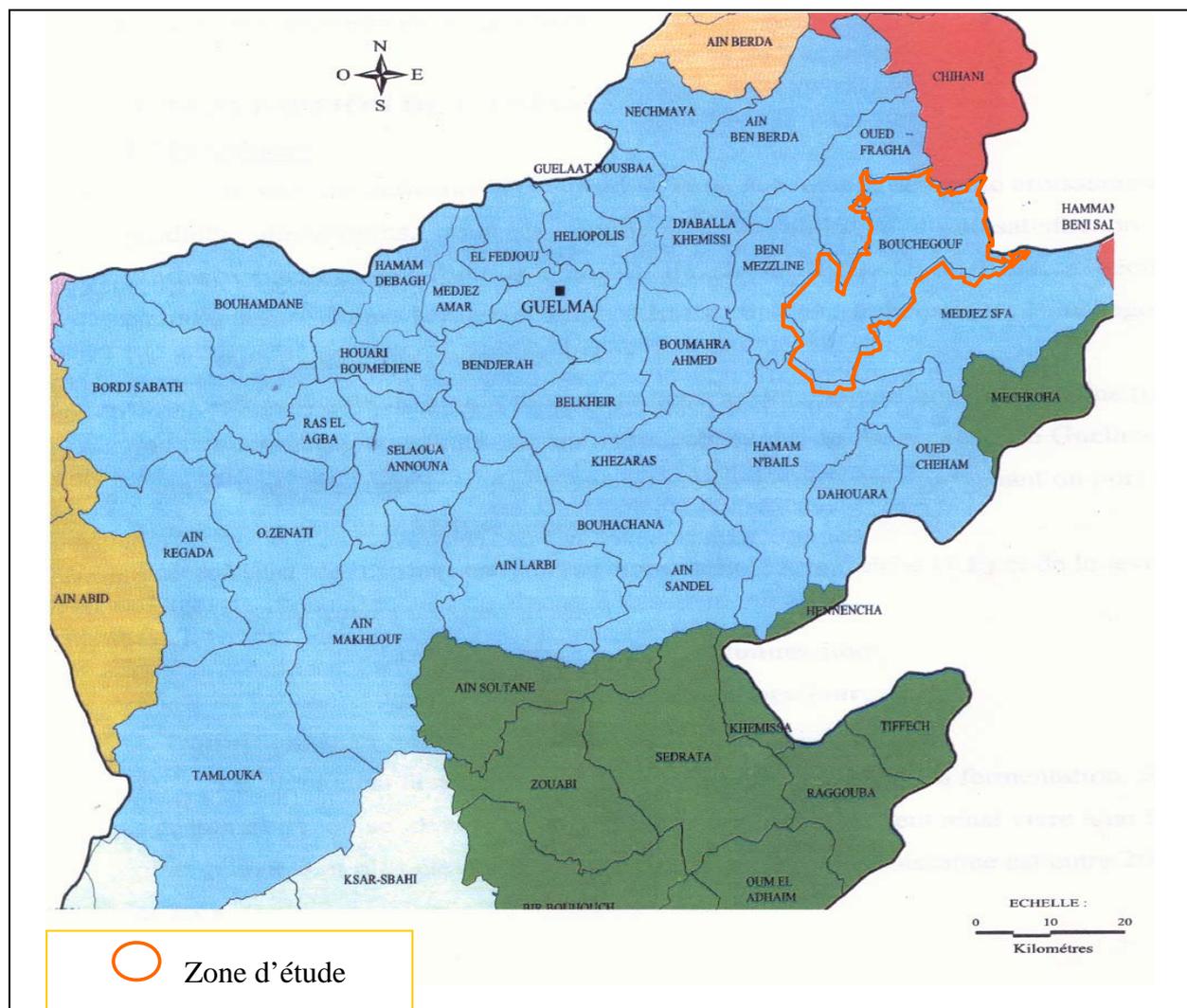
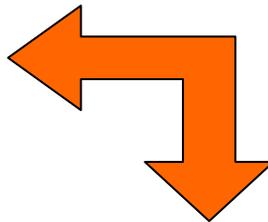


Figure 1.1 : Situation géographique de la zone d'étude

### 1.3.2.3 Mio-pliocène continental (post-nappe)

Après la phase tectonique de la fin du Miocène inférieur, responsable de la mise en place des nappes du tellien externe, la région a connu une phase de tectonique cassante post-nappe. L'érosion corrélative a modelé un relief complexe marqué par des zones hautes et par des bassins d'effondrements, tel celui de Guelma.

Des sédiments divers se sont accumulés dans ces bassins. Généralement ce sont des dépôts continentaux : argiles rouges, calcaires lacustres, couches à galets et argiles noires à gypses. Le bassin de la Seybouse- Guelma couvre tout le secteur compris entre les gorges du Nador à l'Est et la région de Medjez- Amar à l'Ouest en passant par la plaine de Guelma. Vers le Sud, il est limité par le Numidien de Ben Smih et le Trias du Nador N'Bails et enfin dans la partie Septentrionale par le Numidien de Haouara.

### 1.3.2.4 Les formations allochtones

Les formations Miocènes sont représentées par des grès très riches en glauconie et par des niveaux argilo- marneux.

#### 1.3.2.4.1 Nappe Numidienne

Le Numidien forme à l'Est du méridien d'Annaba un immense radeau qui s'étend de la région de Guelma jusqu'à Bizerte (Tunisie) sur près de 200 Kilomètres de long et sur une largeur moyenne de 30 à 40 Km. La nappe numidienne est caractérisée par la stratigraphie suivante :

- La série gréseuse
- Les argiles sous numidiennes.

#### a. La série gréseuse

Ce sont des grès en bancs décimétriques à métriques sur plus de 1000 mètres d'épaisseur, à grains hétérogènes. Dans la région de Constantine et en Kroumirie, ces bancs sont séparés par des niveaux argileux, parfois calcareux datés de l'Aquitanienn.

#### b. Les argiles sous numidiennes

Elles sont de teintes vertes ou rouge violacé. En grande Kabylie, ces argiles ont fourni des associations pélagiques de l'Oligocène moyen à supérieur. A l'Oued Bou Hamdane et à l'Oued Cherf, ces argiles ont livré une association d'âge Oligocène moyen à supérieur.

#### 1.3.2.4.2 Nappe ultra-tellienne

La notion ultra-tellienne a été introduite en 1969 par Durand Delga (Chouabbi 1997) à Djebel Bou-sba (Nord de Guelma). Dans la région concernée par cette étude, une unité ultra tellienne affleure à la station du Nador, une deuxième à Medjez-Sfa et à l'Est du village de Ain Tahamamine. D'après les travaux des géologues une série stratigraphique a été reconstituée allant du barrémien jusqu'à l'Eocène moyen.

### **a. Paléocène- Eocène (Paléogène)**

Les terrains du Paléocène-Eocène rangés dans la série ultra- tellienne affleurent au Nord-Est de Ain Tahamamine. Ils reposent sur le Lutétien appartenant à la nappe tellienne d'Ain Tahamamine. Ce sont des marnes, verdâtres à noirâtres de 15 à 20 m d'épaisseur.

### **b. Crétacé supérieur**

Le Crétacé supérieur affleure aux alentours de la station ferroviaire de Medjez- Sfa, au Djebel Rosfa et à Douar Sidi Ahmed Ben Mokrane. Il montre une sédimentation épaisse, riche en microfaune pélagique avec une dominante marneuse.

### **c. Crétacé inférieur**

Ce sont les unités les plus internes du domaine tellien. Elles affleurent à 4 km au Sud-Est de Bouchegouf.

- Le Barremien correspond à une cinquantaine de mètres de marnes noire riches en ammonites pyriteuses.
- L'Aptien est représenté par des marnes bleu verdâtre, alternant avec des bancs décimétriques de calcaires bleutés.
- L'Albien est l'étage le plus puissant du Crétacé inférieur avec un passage continu au Cénomaniens. Il est constitué par des marnes noires à verdâtres et par des bancs de calcaires micritiques claires.
- Le Vraconien montre le même faciès que l'Albien et affleure surtout aux alentours de la station ferroviaire de Medjaz Sfa.

#### **1.3.2.5 Complexe salifère du Nador**

Les formations triasiques de la région du Nador N'Bails et de la Mechroha se présentent comme une association de cargneules, de dolomies, des argiles rouges et gypses.

L'étude détaillée des contours montre que le Trias jalonne les contacts anormaux qui ont donné naissance au grand bassin molassique de Guelma. C'est le cas aussi, avec le bassin de la Macheroha - Ain Tahamamine.

### **1.3.3 Synthèse sur la géologie de la région de Bouchegouf**

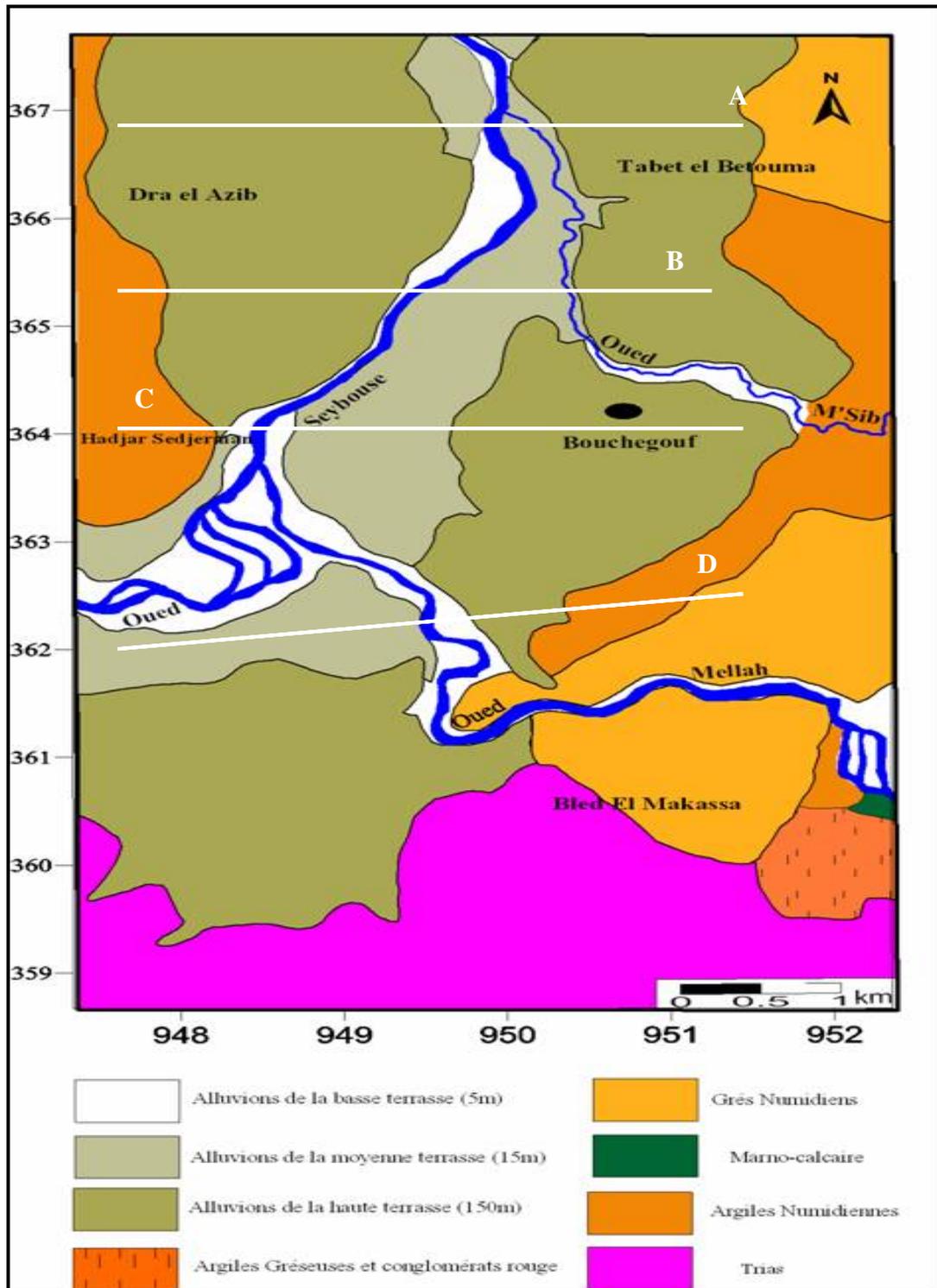
En résumé, la géologie de la région d'étude est comme suit:

#### **1.3.3.1 Quaternaire**

Le Quaternaire est comblé par des alluvions déposées par l'Oued Seybouse et l'Oued Mellah qui formant trois niveaux de terrasses (Figure 1.2, 1.3):

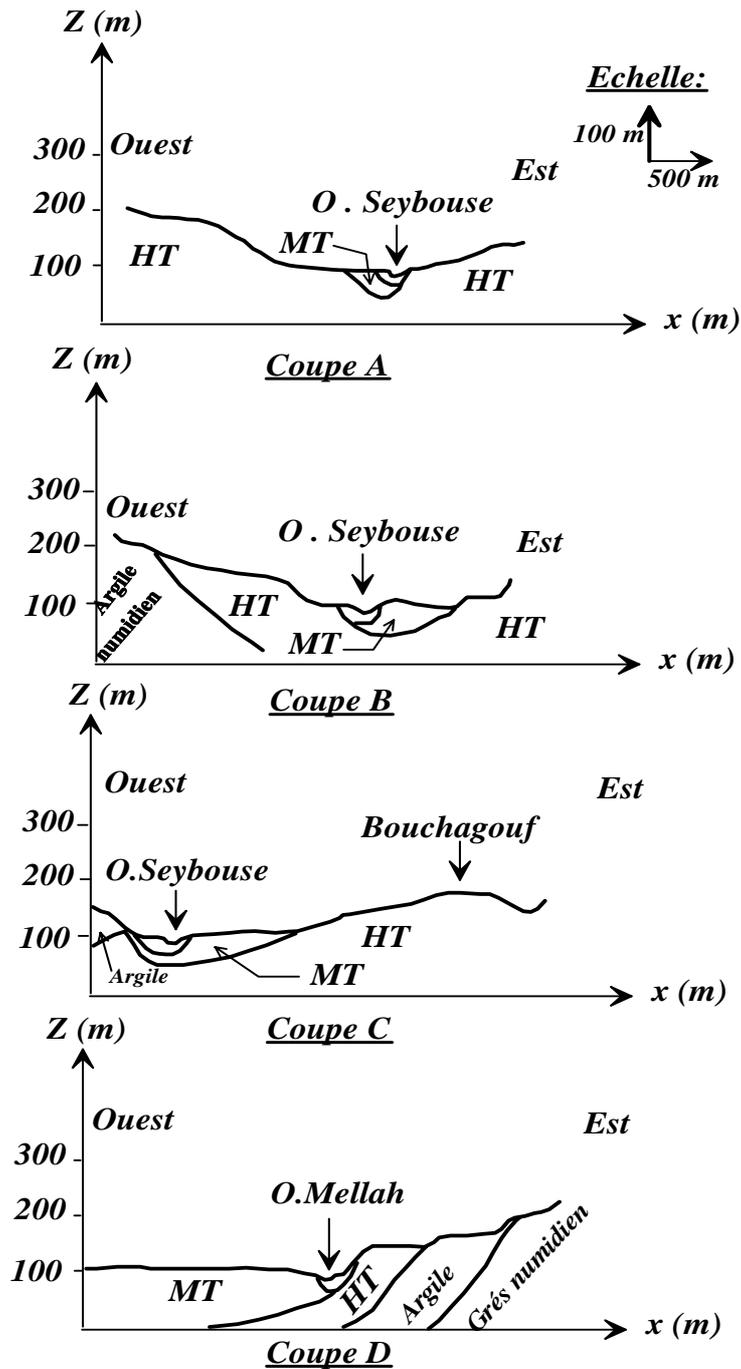
##### **1.3.3.1.1 Alluvions de basse terrasse**

Avec un épaisseur de 5 m, les alluvions de la basse terrasse constituant le lit de l'Oued et sont composé de cailloutis et de limons provenant de la fragmentation des conglomérats.



Trait blanc : Profil topographique des coupes géologiques.

**Figure 1.2 :** Carte géologique de la région de Bouchegouf (M. J. Flandrin 1930)



**Légende:**

- BT: Alluvions de la basse terrasse (5m)*
- MT: Alluvions de la moyenne terrasse (15m)*
- HT: Alluvions de la haute terrasse (150m)*

**Figure 1.3 :** Coupes Géologiques de la plaine de Bouchegouf.

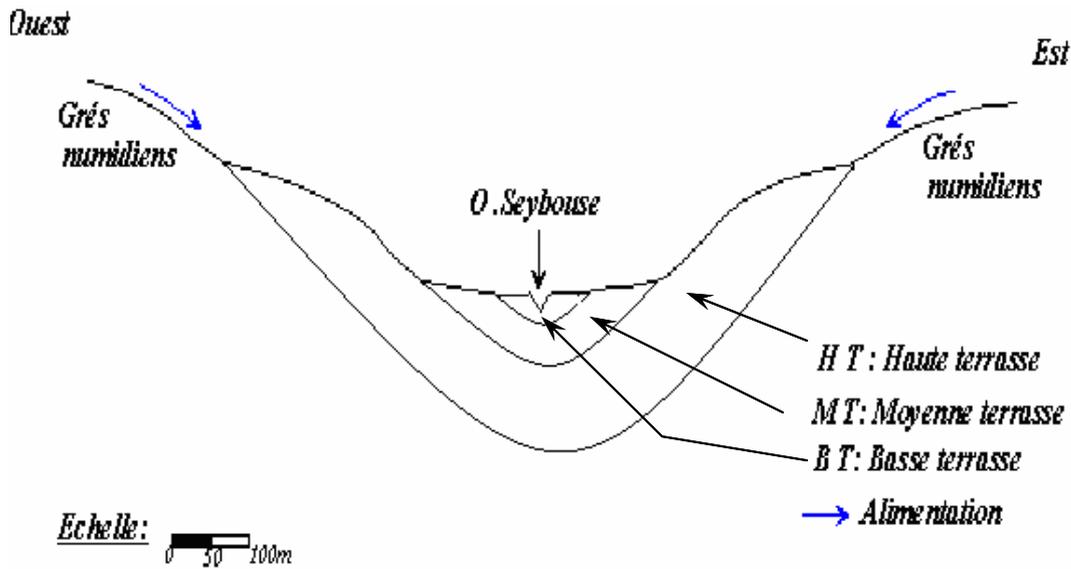


Figure 1.4 : Coupe schématique des différents types de terrasses dans la plaine de Bouchegouf.

Lithologie	Epaisseur (m)	Age	Intérêt hydrogéologique	
			perméabilité	Type de nappe
- Alluvions de la basse terrasse	5	Quaternaire	Perméable	- nappe de la basse terrasse
- Alluvions de la moyenne terrasse	15			- nappe de la moyenne terrasse
- Alluvions de la haute terrasse	150			- nappe de la haute terrasse
- Grès numidiens		Aquitaniens	impermeable	
- Argiles sous numidiennes		Oligocène	impermeable	
- Calcaire dolomitique		Trias		

Tableau 1.1 : Formations géologiques et intérêt hydrogéologique

### 1.3.3.1.2 Alluvions de la moyenne terrasse

Cette unité retrouvée en partie mineure sur l'Oued Mellah, est représentée par des conglomérats, des cailloutis, des galets et des blocs de grès (origine : la nappe numidienne) sur une épaisseur de 15 m.

### 1.3.3.1.3 Alluvions de la haute terrasse

Les alluvions de la haute terrasse ont une épaisseur de 150 m représentés par des argiles et des conglomérats.

### **1.3.3.2 Mio Pliocène**

Représenté par des argiles gréseuses et des conglomérats rouges, ces dernières correspondent à des galets de grandes dimensions qui passent parfois à des grès fins.

### **1.3.3.3 Aquitanien**

Les grès numidiens reposent sur des marnes argileuses grisâtres intercalés par place de petits bancs de grès à grains fins, on y rencontre aussi quelques niveaux marno- calcaires surmontés par des grès d'âge Aquitanien, développées dans la partie Est de la zone d'étude.

### **1.3.3.4 Trias**

Complexe formé d'argiles, calcaires dolomitiques bleus, cargneules jaunes et grès à ciment.

## **Conclusion**

Le tableau 1.1 résume la géologie de la région d'étude en trois formations principales de lithologie différentes avec :

- Formations perméables (dépôts alluvionnaires du Quaternaire) siège des nappes aquifères.
- Formations imperméables des grès numidiens (Aquitanien), siège d'alimentation des nappes par les flancs.
- Formations imperméables (Argiles du numidien), formant le substratum des aquifères.

## **Chapitre 2**

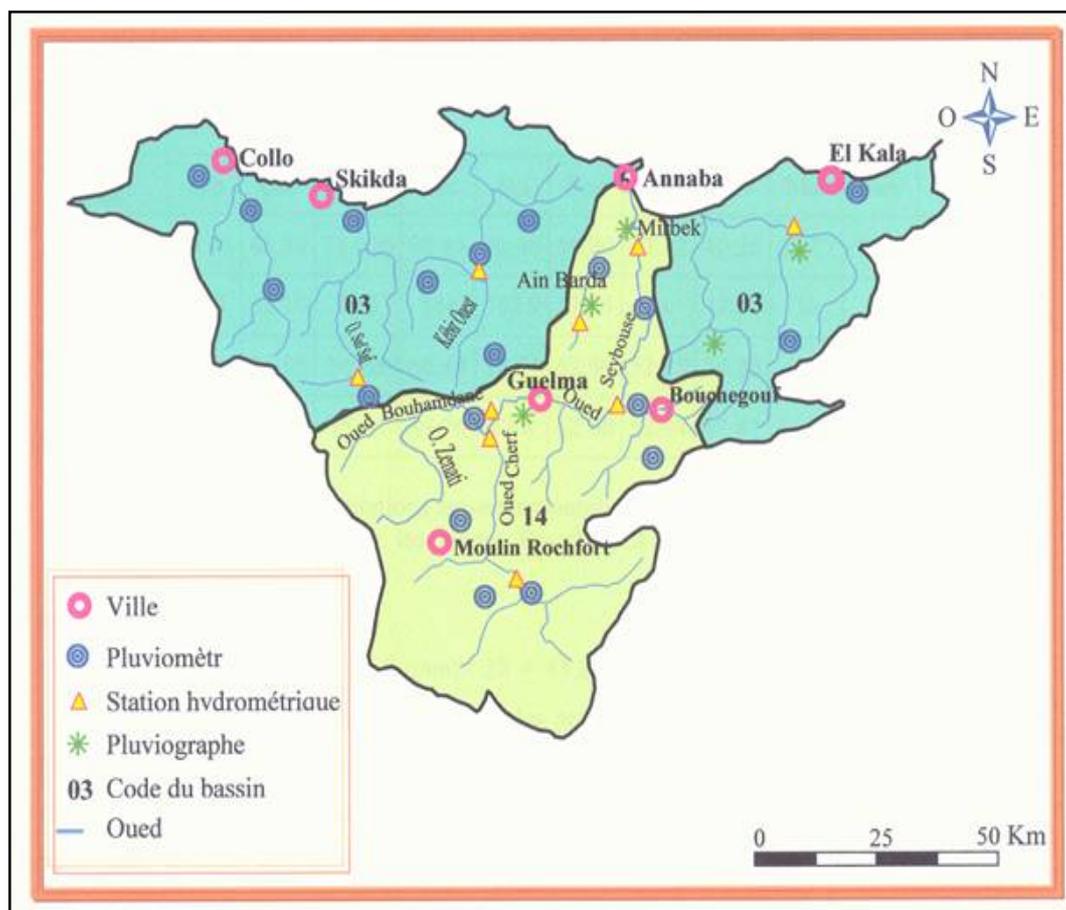
# **HYDROCLIMATOLOGIE**

## 2.1 CLIMATOLOGIE

### 2.1.1 Introduction

Le fonctionnement d'un système aquifère est représenté essentiellement par les phénomènes d'infiltration, d'écoulement et de l'évapotranspiration. Dans le but de comprendre le mécanisme de la pollution des eaux souterraines, il est impératif de déterminer les paramètres du bilan hydrologique qui expriment explicitement la précipitation. En somme, le bilan renseigne de manière quantitative les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissellement et enfin l'infiltration. Cette dernière joue un rôle capital lors de la migration des différents polluants liquides vers les eaux souterraines.

Pour l'étude climatique nous nous sommes basée sur une série d'observation allant de 1997 à 2006. Les données climatiques ont été collectées de la station climatique de Bouchegouf qui est située dans la ferme de Youcef Bouriachie (Figure 2.1). La station est repérée par une longitude de 7°44 E et une latitude de 36°28 N. Topographiquement, l'altitude de la station est de 480 m.



**Figure 2.1 :** Stations climatique et hydrométrique dans le bassin de la Seybouse

### 2.1.2 Précipitations

Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle de l'eau. Elles permettent le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations et elles

conditionnent l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eaux. En général, quatre aspects sont discutés; il s'agit du coefficient pluviométrique et des répartitions saisonnières, mensuelles et annuelles.

### - Coefficient pluviométrique (CP)

Le coefficient pluviométrique correspond à l'évolution interannuelle des précipitations et permet de différencier les années excédentaires ( $CP > 1$ ) des années déficitaires ( $CP < 1$ ). Le coefficient pluviométrique est donné par la formule suivante :

$$CP = \frac{P}{\bar{P}} \quad (2.1)$$

Année	P(mm)	CP	Type de l'année
1997	400,92	0,64	D
1998	837,96	1,34	E
1999	693	1,11	E
2000	561	0,89	D
2001	531	0,85	D
2002	339	0,54	D
2003	936,96	1,49	E
2004	811,92	1,29	E
2005	699	1,12	E
2006	457,92	0,73	D

**Tableau 2.1 :** Evolution du coefficient pluviométrique (1997/2006).

E : excédentaire, D : déficitaire

avec :  $P$  : Pluviométrie de l'année considérée et  $\bar{P}$  : Pluviométrie moyenne pour la période d'étude, qui est donnée par l'équation (2.2).

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum P_i \Rightarrow \bar{P} = 623.9 \text{ mm} \quad (2.2)$$

où :  $i=1, 10$  et  $N=10$ .

Sachant que l'année couvre en général la période s'étalant de Septembre de l'année en cour jusqu'à Août de l'année suivante.

Le tableau 2.1 et la figure 2.2 montrent une évolution alternative entre année déficitaire et excédentaire avec un maximum et un minimum de l'ordre de 900 mm (2003  $P=936.96 \text{ mm}$ ) et 300 mm (2002  $P=339 \text{ mm}$ ) respectivement et une limite de 600 mm qui différencie les années déficitaires ( $P < 600 \text{ mm}$ ) des années excédentaires ( $P > 600 \text{ mm}$ ). Cette période d'observation de 1997 à 2006 commence et se termine par une année déficitaire, entre ces deux années il y a des années excédentaires qui se suivent.

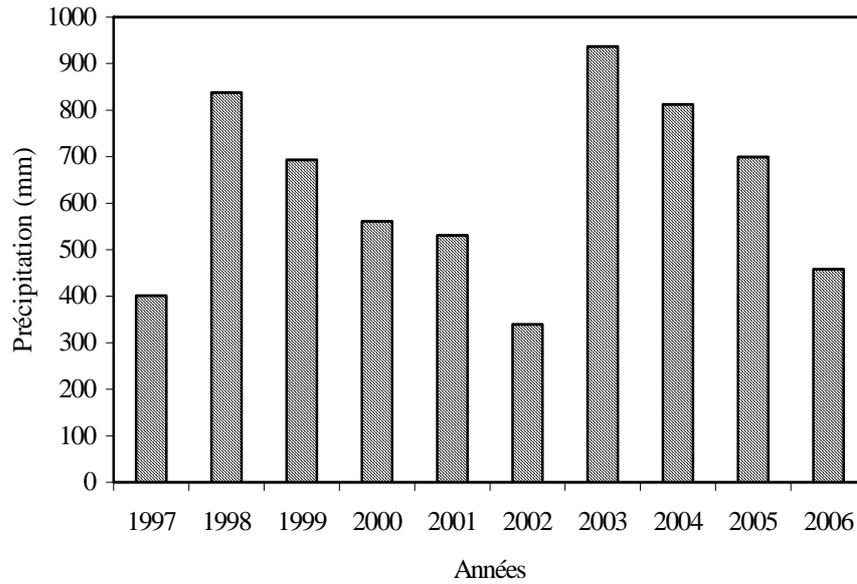


Figure 2.2 : Evolution des précipitations (1997/2006).

**- Répartition saisonnière des précipitations**

Les précipitations sont réparties suivant les saisons agricoles [Automne (S,O,N), Hiver (D,J,F), Printemps (M,A,M) et Eté (J,J,A)]. Les pourcentages moyens des pluies tombées chaque saison pour la période (1997/2006) sont calculées par l'équation suivante :

$$P \% = \frac{\bar{P}_s}{P_T} \times 100 \tag{2.3}$$

$$\bar{P}_s = \frac{1}{N} \sum P_i \tag{2.4}$$

avec  $P\%$  : Pourcentage moyen des pluies tombé chaque saison,  $\bar{P}_s$  : Pluviométrie moyenne pour chaque saison (mm) et  $P_T$  : Pluviométrie totale de la période observé (mm).

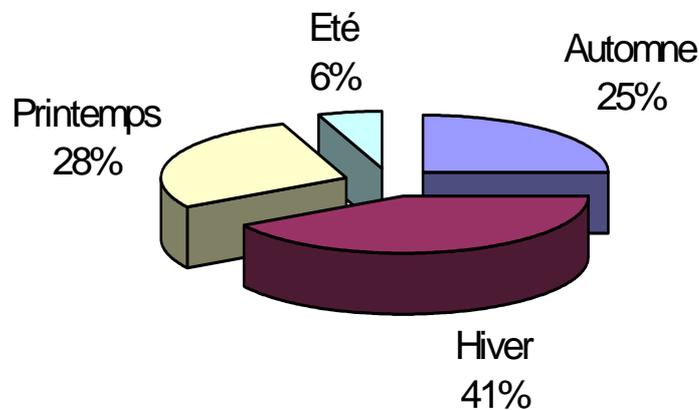


Figure 2.3 : Pourcentage saisonniers des précipitations pour la période de 1997 à 2006.

D'après la figure 2.3 on remarque que la saison hivernale est la plus pluvieuse avec un pourcentage de 41 % de pluie annuelle (une moyenne de 86.2 mm/mois). Par contre l'été est le plus sec avec un pourcentage de 5,6% de la pluie annuelle (une moyenne de 11.7 mm/mois). Le reste du pourcentage des pluies annuelles (40% à 50%) est répartie entre le Printemps et l'Automne.

### - Répartition des précipitations moyennes mensuelles

La figure 2.4 représente la distribution moyenne mensuelle des précipitations (Annexe 1) enregistrées dans la région de Bouchegouf sur une période de 10 ans. Chaque mois est indiqué par une barre montrant les valeurs maximale et minimale. Les valeurs moyennes calculées sont généralement proches des valeurs minimales. Il faut noter que sur la dizaine d'années considérée, la période estivale (J,J,A) reste pratiquement sèche vu que les  $P_{\min}$  sont très faibles.

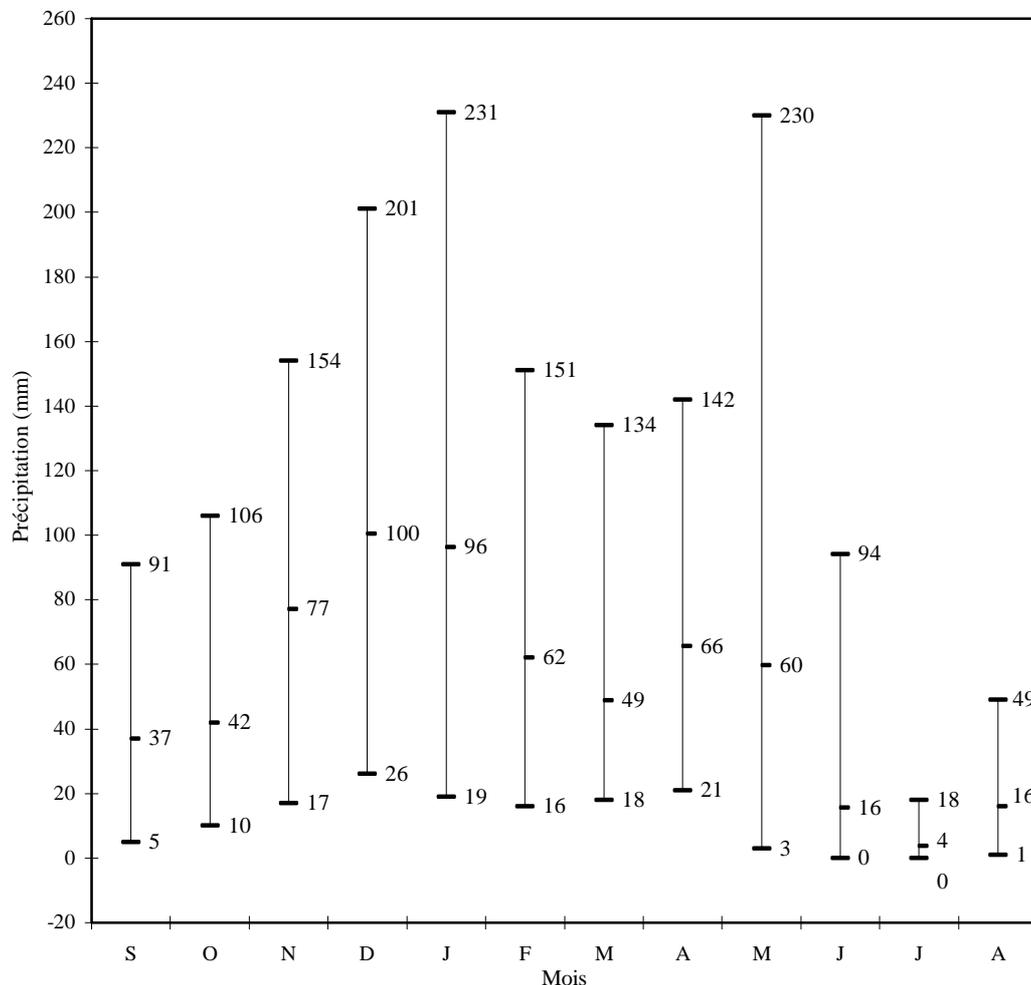
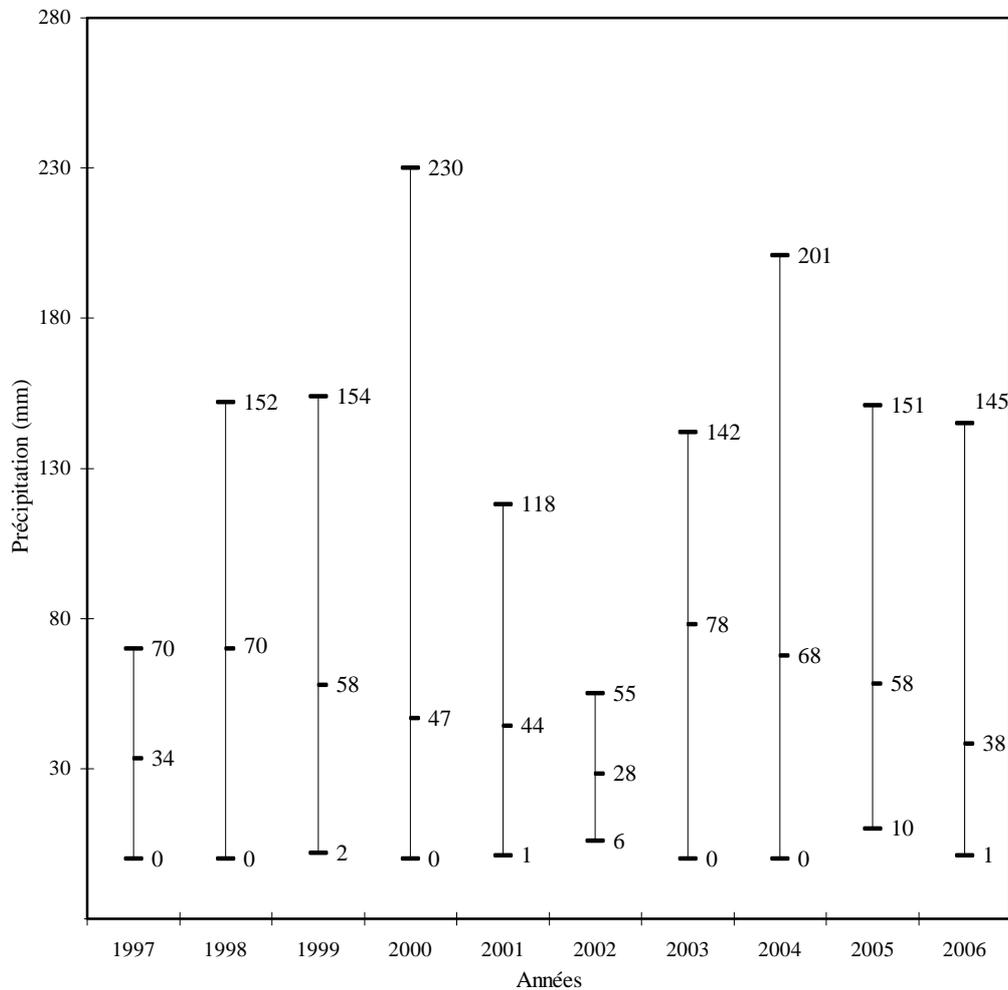


Figure 2.4 : Précipitations moyennes mensuelles (1997/2006).

### - Répartition des précipitations moyennes annuelles (1997/2006)

La distribution moyenne annuelle des précipitations (Annexe 2) enregistrées dans la région de Bouchegouf sur une période de 10 ans est illustrée dans la figure 2.5. Chaque année est indiquée par une barre montrant les valeurs maximale et minimale. Les valeurs moyennes

calculées sont généralement proches des valeurs minimales. Il faut noter que sur la dizaine d'années considérée les années hydrologiques (2000) et (2004) sont les plus pluvieuses avec 230 mm et 201 mm respectivement. Tandis que les années (1997) et (2002) sont sèches pour des valeurs inférieures à 70 mm



**Figure 2.5 :** Précipitations moyennes annuelles (1997/2006).

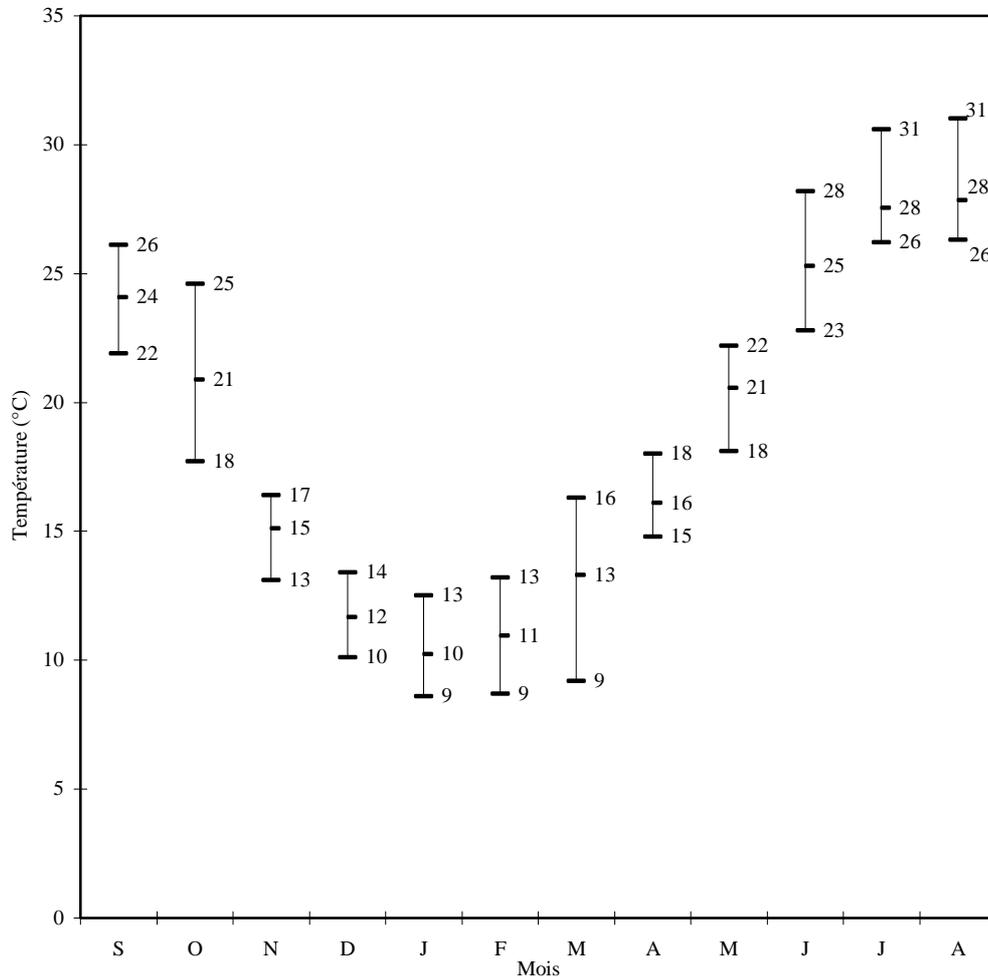
### 2.1.3. Evolution des Températures

La température est un facteur régissant le phénomène d'évapotranspiration et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les données collectées sont analysées dans les paragraphes qui suivent.

#### - Répartition des températures moyennes mensuelles

La figure 2.6 représente la distribution moyenne mensuelle des températures (Annexe 3) enregistrées dans la région de Boucheouf sur une période de 10 ans. Chaque mois est indiqué par une barre montrant les valeurs maximale et minimale. Les valeurs moyennes calculées sont généralement proches des valeurs minimales. Il faut noter que sur la dizaine d'années considérée, la période estivale (J,J,A) reste pratiquement chaude vu que les

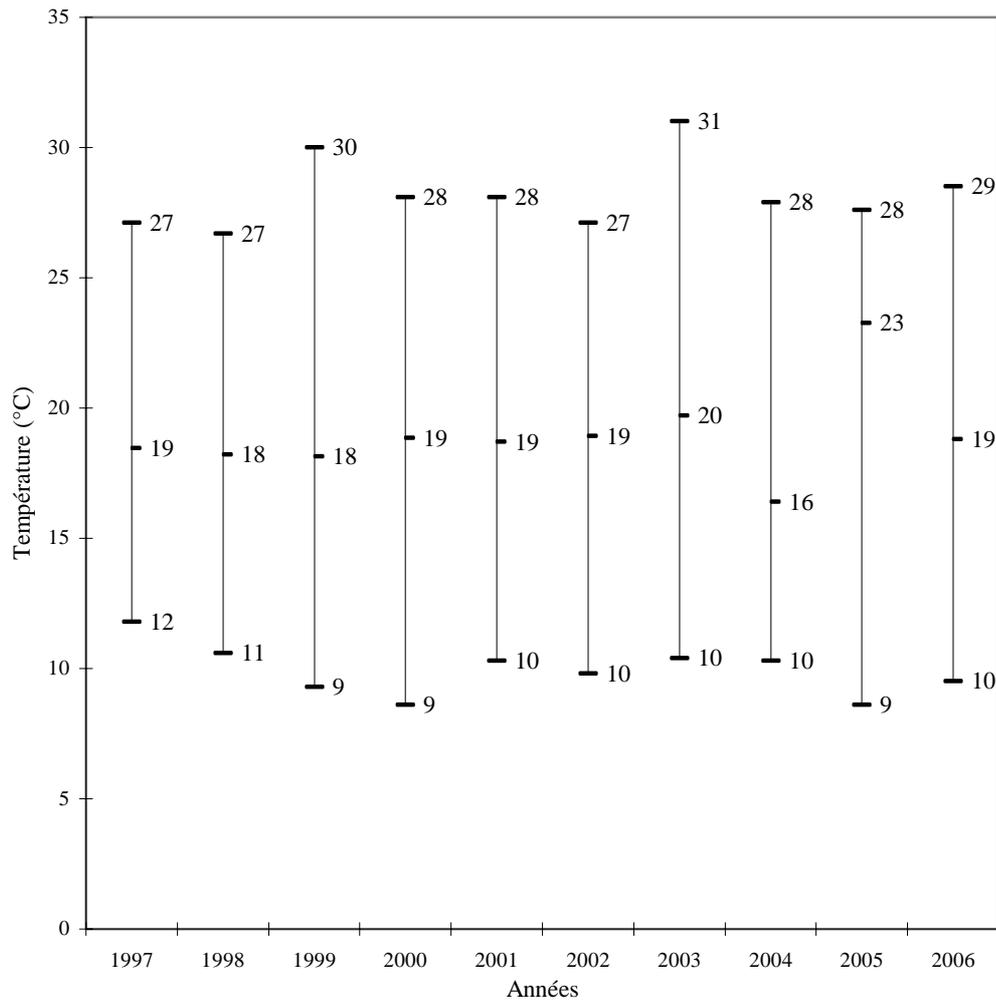
$T_{\min}$  sont élevées. Tandis que la période de Décembre, Janvier, Mars et Avril reste froide avec des  $T_{\min}$  de l'ordre de  $10^{\circ}\text{C}$



**Figure 2.6 :** Températures moyennes mensuelles (1997/2006).

### - Répartition des températures moyennes annuelles

La distribution moyenne annuelle des températures (Annexe 4) enregistrées dans la région de Bouchegouf sur une période de 10 ans est illustrée dans la figure 2.7. Chaque année est indiquée par une barre montrant les valeurs maximale et minimale. Les valeurs moyennes calculées sont généralement plus au moins proches des valeurs minimales. Il faut noter que sur la dizaine d'années considérée les années hydrologiques (1999) et (2003) sont les plus chauds avec  $30^{\circ}\text{C}$  et  $31^{\circ}\text{C}$  respectivement. Tandis que les années (1997) (1998) et (2002) sont sèches pour des valeurs inférieures à  $27^{\circ}\text{C}$ .



**Figure 2.7 :** Températures moyennes annuelles (1997/2006).

### 2.1.4 Type du climat

Pour déterminer le type du climat utilisant l'indice d'aridité  $A$  de Demartone (Annexe 5) qui donne les caractéristiques du climat régional, où :

$$A = \frac{P}{T+10} \quad (2.5)$$

avec  $P$  : précipitation moyenne annuelle en mm,  $T$  : température moyenne annuelle en °C et  $A$  : indice d'aridité de Demartone annuelle .

La valeur obtenue pour le paramètre  $A$  est de 21.8, ce qui implique que le climat de la région est tempéré pour une température moyenne de 18.62 °C et une précipitation de 623.9 mm. Cet indice d'aridité annuelle est dans la plage ( $20 < A < 30$ ) de l'Annexe 6.

Donc pour plus de précision, l'indice d'aridité de Demartone mensuel  $A$  qui est défini par l'équation suivante :

$$A = \frac{12 \cdot P}{T + 10} \quad (2.6)$$

avec  $P$  : précipitation moyenne mensuelle en mm,  $T$  : température moyenne mensuelle en °C et  $A$  : indice d'aridité de Demartone mensuel moyen.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>P (mm)</b>	37	41.9	77.1	100.4	96.2	62	48.9	65.7	59.6	15.5	3.7	15.9
<b>T (°C)</b>	24.07	20.89	15.1	11.67	10.23	10.95	13.29	16.09	20.55	25.29	27.54	27.84
<b>A</b>	13.03	16.28	36.86	55.6	57.1	35.5	25.2	30.2	23.4	5.27	1.18	5.04

**Tableau 2.2** : Indice d'aridité mensuel moyen.

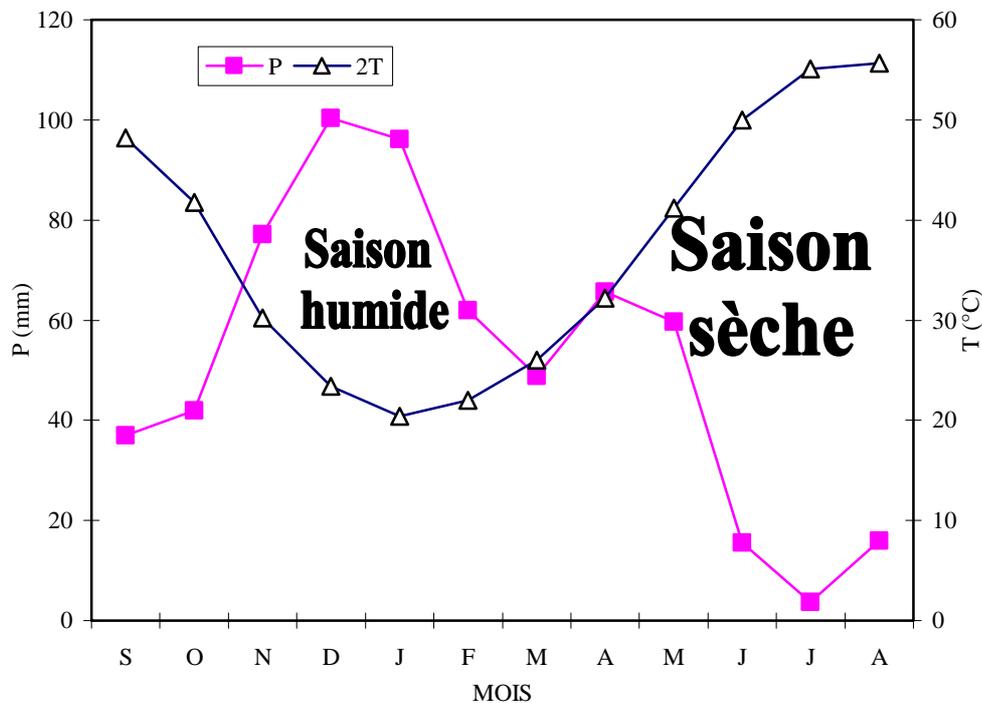
Le tableau 2.2 montre une répartition saisonnière du climat. Le climat est sec en automne (S,O,N) avec  $A$  compris entre 10 et 20, humide ( $A > 30$ ) en hiver (D,J,F), tempéré ( $20 < A < 30$ ) en printemps (M,A,M) et hyper aride ( $A < 5$ ) en été (J,J,A).

### 2.1.5 Diagramme pluviothermique

Le diagramme pluviothermique est la combinaison des températures et des précipitations mensuelles moyennes.

Le diagramme pluviothermique illustré dans la figure 2.8 fait ressortir deux saisons :

- Une saison sèche qui s'étend entre le mois de Mai jusqu'au mois de Novembre.
- Une saison humide qui dure cinq mois donc du mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril.



**Figure 2.8** : Diagramme pluviothermique (1997/2006).

### 2.1.6 Bilan hydrique

L'hydrologie est la science qui étudie l'eau sous ses aspects quantitatif et qualitatif durant les différentes phases de son cycle dans la nature. Elle utilise des modèles mathématiques pour prédire les différents phénomènes hydrologiques dans le but de gérer les ressources hydriques. L'ensemble de tous les processus de transformation de l'eau sur terre s'appelle cycle hydrologique (Figure 2.9) dont les phases principales sont : 1-Evaporation, 2- Transport par les vents et les courants, 3- Précipitations, 4- Infiltration, 5- Ecoulement souterrain, 6- Ruissellement de surface.

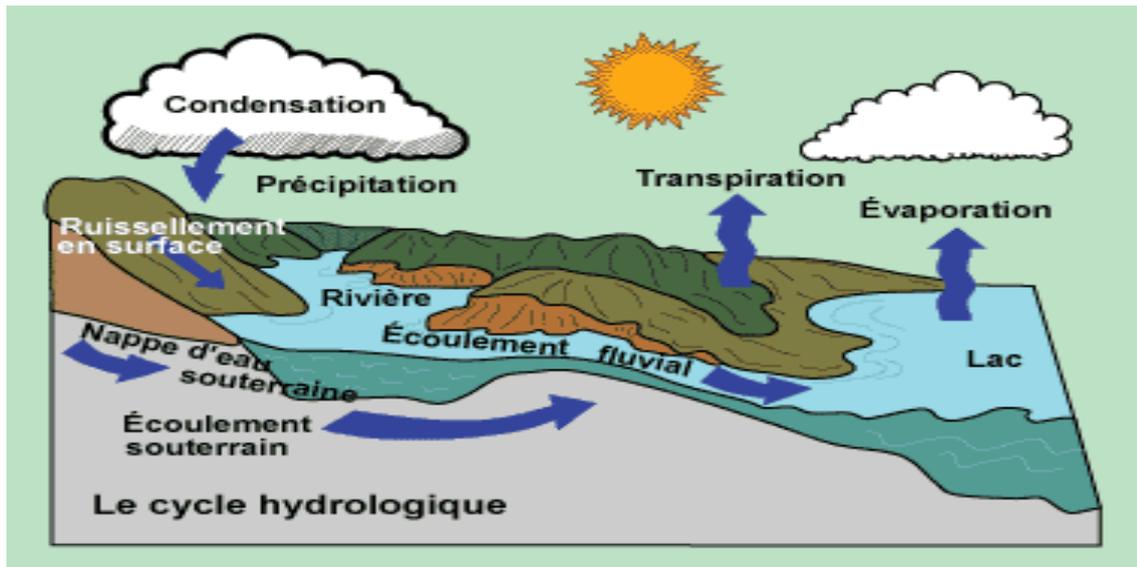


Figure 2.9 : Le cycle hydrologique.

#### 2.1.6.1 Evapotranspiration

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (phénomène biologique).

On distingue :

- L'évapotranspiration potentielle ( $ETP$ )
- L'évapotranspiration réelle ( $ETR$ )

#### - Estimation de l'évapotranspiration potentielle ( $ETP$ )

Pour l'estimation de l'  $ETP$  on a utilisé la formule de C W Thornthwaite :

$$ETP = 16(10T/I)^a K \quad (2.7)$$

où:

$$i = (T/5)^{1.5} \quad (2.8)$$

$$I = \sum i \quad (2.9)$$

avec *ETP* : Évapotranspiration potentielle, *T* : Température moyenne mensuelle, *i* : Indice thermique mensuel sur 10 ans et *I* : Somme des indices thermique mensuel des 10 ans

### - Estimation de l'évapotranspiration réelle (*ETR*)

Trois approches ont été utilisées pour cette estimation :

- Formule de C W Thornthwaite
- Formule de Turc
- Formule de Coutagne

#### 1. Formule de C W Thornthwaite

Mois	P (mm)	T (°C)	i	K	ETP (mm)	ETR (mm)	RFU (mm)	Ex	DA
S	37	24.07	10.56	1.03	111.36	37	0	0	71.12
O	41.9	20.89	8.53	0.97	79.67	41.9	0	0	37.76
N	77.1	15.1	5.24	0.86	37.63	37.63	39.47	0	0
D	100.4	11.67	3.56	0.81	21.50	21.50	100	18.37	0
J	96.2	10.23	2.92	0.87	17.89	17.89	100	78.31	0
F	62	10.95	3.24	0.85	19.94	19.94	100	42.06	0
M	48.9	13.29	4.33	1.03	35.18	35.18	100	13.72	0
A	65.7	16.09	5.77	1.1	54.44	54.44	100	11.26	0
M	59.6	20.55	8.33	1.21	96.26	59.6	63.34	0	0
J	15.5	25.29	11.37	1.22	145.18	15.5	0	0	66.34
J	3.7	27.54	12.92	1.24	174.1	3.7	0	0	170.4
A	15.9	27.84	13.13	1.16	166.32	15.9	0	0	150.42
<b>Total</b>	<b>623.9</b>	<b>18.62</b>	<b>89.9</b>		<b>956.22</b>	<b>460.18</b>	<b>602.81</b>	<b>163.72</b>	<b>496.04</b>

**Tableau 2.3** : Bilan hydrique de la station de Bouhegouf (C W Thornthwaite).

- P : Précipitation moyenne mensuelle (mm)  
 T : Température moyenne mensuelle (°C)  
 i : indice thermique mensuelle  
 ETP : Evapotranspiration potentielle (mm)  
 ETR : Evapotranspiration réelle (mm)  
 RFU : Réserve facilement utilisable (mm)  
 Ex : Excédent (mm)  
 DA : Déficit agricole (mm)  
 S, O,... : Mois de l'année

Le bilan hydrique selon C W Thornthwaite (Tableau 2.3 Et Figure 2.10) indique une évaporation maximale observée aux mois de juillet et août pour les valeurs de 174.1 mm et 166.32 mm respectivement, qui produit un déficit agricole étalon de juin jusqu'à octobre nécessitant une irrigation pour les zones de cultures. Pour le reste des mois l'évapotranspiration est faible et la précipitation élevée produisant aussi une recharge de la nappe.

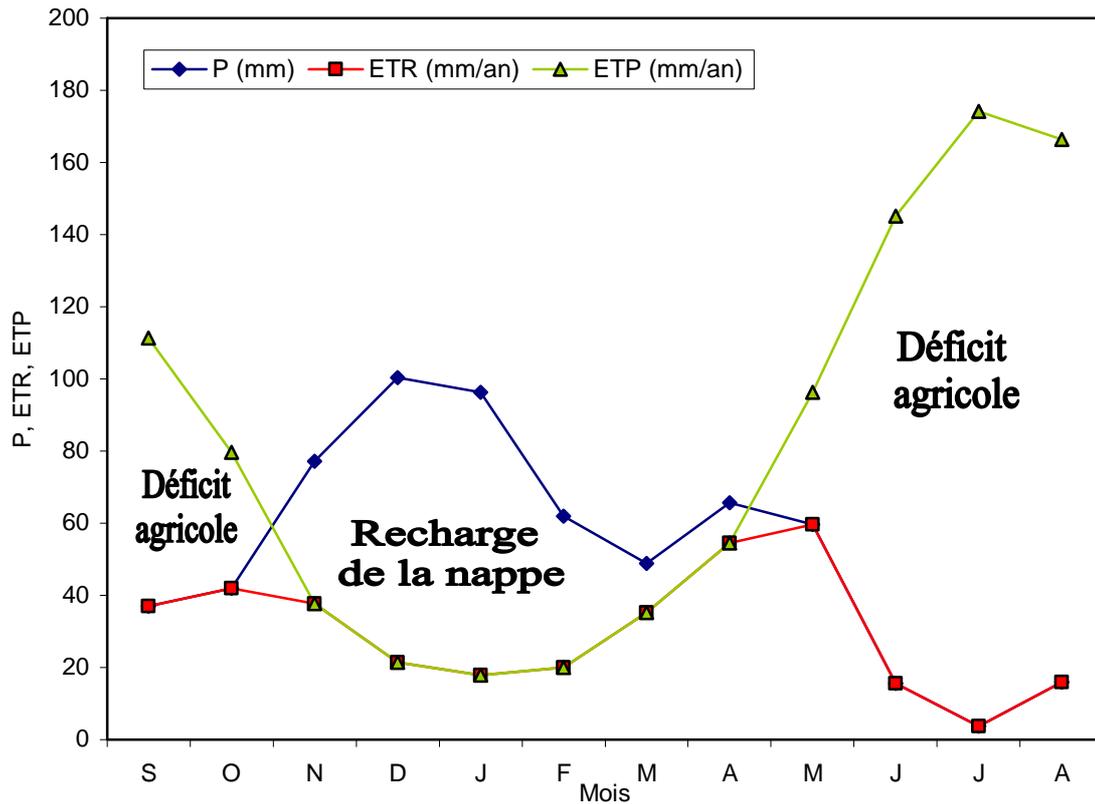


Figure 2.10 : Représentation graphique du bilan hydrique (1996/2006).

**2. Formule de Turc**

$$ETR = P / \left[ 0.9 + \left( \frac{P}{L} \right)^2 \right]^{1/2} \tag{2.10}$$

avec  $P$  : Précipitation moyenne annuelle en mm = 623.9 mm et  $L$  : Pouvoir évaporant

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \tag{2.11}$$

$T$  étant la température moyenne annuelle en °C. Ceci donne une ETR de 563,08 mm/an.

**3. Formule de Coutagne**

$$ETR = P - \lambda P^2 \tag{2.12}$$

avec :

$$\lambda = 1 / (0.8 + 0.14T) \tag{2.13}$$

$ETR$  : Évapotranspiration réelle en mm/an  
 $P$  : Précipitation moyenne annuelle en m = 0.623 m  
 $T$  : Température moyenne annuelle en °C = 18.62°C  
 $\lambda$  : Facteur de correction intégrant la durée d’insolation et le nombre des jours de mois et la température. Cette formule n’est valable que si les précipitations sont comprises entre [1 et ½] avec  $P$  en m. Les calculs donnent une ETR de 504.68 mm/an

Formules	C W Thornthwaite	Turc	Coutagne
ETR (mm)	460.18	563,08	504,68

**Tableau 2.4 :** Tableau récapitulative pour l'ETR

### 2.1.6.2 Ruissellement

Le ruissellement ( $R$ ) peut être estimé par la formule de Tixeront Berkallof qui exige que  $P$  soit supérieure à 600 comme c'est le cas de la station de Bouchegouf.  $R$  est calculé par :

$$R = P^3 / 3 \quad (2.14)$$

### 2.1.6.3 Infiltration :

D'après le bilan global :

$$P = R + I + ETR \quad (2.15)$$

$$I = P - R - ETR \quad (2.16)$$

où  $P$  : Précipitations moyennes annuelles (mm),  $R$  : Ruissellement (mm),  $ETR$  : Évapotranspiration (mm) et  $I$  : Infiltration (mm). L'application numérique donne une infiltration de 83 mm/an. Etant positive et différente de la valeur nulle ce qui implique que les entrées sont supérieures aux sorties. Cette infiltration joue un rôle capital dans la migration des polluants dans les nappes libres.

P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
623.9	460.18	80.95	82.77
100%	73.75%	12.97%	13.26%

**Tableau 2.5 :** Paramètres du bilan global à la station de Bouchegouf (1997- 2006).

L'étude climatologique a montré que la région est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes : l'une humide et l'autre sèche. La température moyenne est de 18,62 °C alors que la moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 623,9 mm dont 74% d'elle est consommée par l'évapotranspiration. Le reste des précipitations est partagé presque à part égale entre le ruissellement (81 mm) qui va rejoindre principalement les deux Oueds et l'infiltration (83 mm) (Tableau 2.5) qui va recharger les nappes souterraine.

## 2.2 HYDROLOGIE

### 2.2.1 Introduction

Pour compléter l'étude des composantes du cycle de l'eau, il est indispensable de déterminer le stockage d'eau, qui se présente sous différentes formes. Trois grands types de réservoirs sont distingués :

- 1- Stock d'eau de surface : Les dépressions de surface du sol dans les quelles l'eau peut s'accumuler.
- 2- Stock d'eau souterraine : Le sol et le sous sol dans les quelles l'eau est emmagasinée.
- 3- Stock d'eau solide : Les couvertures neigeuses et glaciaires.

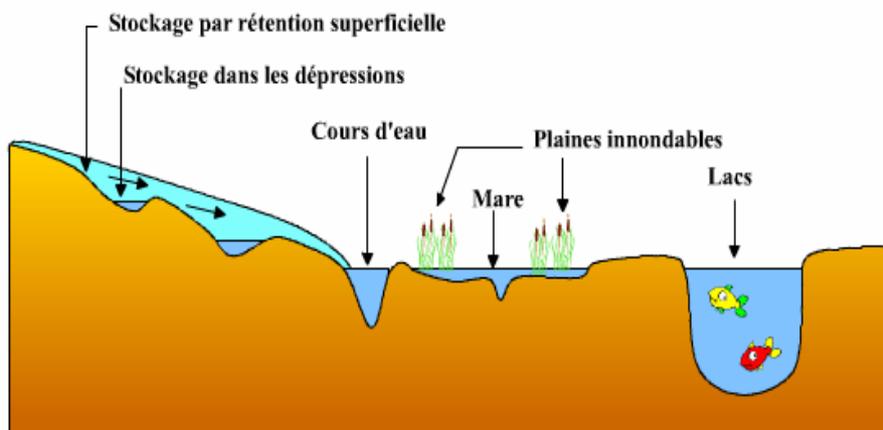
## 2.2.2 Le stock d'eau de surface

Toute l'eau captée dans les dépressions de surface, dues à la rugosité du sol, aux plus grandes plaines inondées, lacs, marais et étangs, est désignée comme le stock d'eau de surface (Figure 2.11).

Selon l'échelle temporelle (averse, saison, année, ... etc.) et l'échelle spatiale (type de dépressions) il y a :

- Les petites dépressions de surface qui se remplissent dès que l'intensité des précipitations est supérieure à la capacité d'absorption du sol.
- Les lacs, les étangs ou les plaines inondées sont des réservoirs d'eau de surface naturels ou artificiels.

Ils interviennent directement dans le bilan hydrologique par les échanges d'eau avec le sol (relation eau de surface- nappe).



**Figure 2.11** : Le stock d'eau de surface.

Du point de vue hydrologique, la plaine de Bouchegouf est traversée par deux Oueds ; dont l'Oued Seybouse du Nord au Sud et l'Oued Mellah, ce dernier longe la région du Sud Ouest vers le Nord Est. Il est l'affluent le plus important de l'Oued Seybouse.

### 2.2.2.1 Oued Seybouse

Le bassin versant de la Seybouse couvre au total une superficie de 6741 km<sup>2</sup>. De direction Sud- Nord, Oued Seybouse prend naissance dans les hautes plaines de Hecarta et Sellaoua. Vu les quantités importantes des précipitations d'hiver reçues par la chaîne numidienne les nappes alluviales traversées par la Seybouse permettent de régulariser l'écoulement de cet Oued (Figure 1.4). A la sortie de cette dernière, la Seybouse pénètre dans

la plaine de Annaba en perdant sa torrencialité et en abandonnant une grande partie de sa charge solide où il trouve son embouchure dans la mer méditerranée au Nord.

Le débit moyen annuel de la Seybouse et de ses principaux affluents s'accroît progressivement d'amont en aval, la confluence de l'oued Cherf et Bouhamdane (principaux affluents) forme l'Oued Seybouse, ce dernier écoule  $6.06 \text{ m}^3/\text{s}$  pour une aire de drainage qui est la somme de trois bassins partiels (Cherf amont, Cherf aval et Bouhamdane) de  $4037 \text{ km}^2$ , alors que le sous bassin de l'oued Mellah avec  $550 \text{ km}^2$ , fournit  $3.41 \text{ m}^3/\text{s}$  soit plus de 50% du débit de la Seybouse à Medjaz Amar. Après la confluence de l'Oued Mellah et l'Oued Seybouse, ce dernier à un débit de  $9.07 \text{ m}^3/\text{s}$  pour une aire de réception de  $4849 \text{ km}^2$ . La Seybouse à Merbek écoule  $13.2 \text{ m}^3/\text{s}$ . (Djabri 1996)

### 2.2.2.2 Oued Mellah

Le bassin versant de l'Oued Mellah se situe à l'Est de la moyenne Seybouse. Il constitue le quatrième sous bassin après ceux de : Cherf, Bouhamdane et celui de Guelma. L'Oued Mellah prend sa source à  $1180 \text{ m}$  d'altitude dans le Djbel Bardo au Sud-Ouest de djbel Zouara, Safiet El-Alouet et Kef Aks par la réunion de l'Oued Sfa et l'Oued Ramen qu'il traverse suivant une orientation Sud- Ouest Nord- Est jusqu'à l'Oued Rirane. Durant son parcours, l'Oued Mellah reçoit quelques affluents importants, entre autres : l'Oued Zarin, Oued Rirane, Oued Chham, Oued El Hammam et Oued Bouzara. Le sous bassin de l'Oued Mellah couvre une superficie de  $550 \text{ km}^2$ .

#### - Réseau hydrométrique

Le régime d'un cour d'eau ou son comportement est lié à la diversité des facteurs de l'écoulement (pente, perméabilité des terrains...). Dans la région de Bouchegouf l'apport de l'Oued Mellah semble le plus important pour l'Oued Seybouse, donc l'étude du régime des débits durant une période déterminée pour l'Oued Mellah a pour intérêt de faire ressortir la relation entre la quantité d'eau précipité à la quantité d'eau écoulee et alimentant l'Oued Seybouse.

#### - Les débits de l'Oued Mellah à la station hydrométrique de Bouchegouf

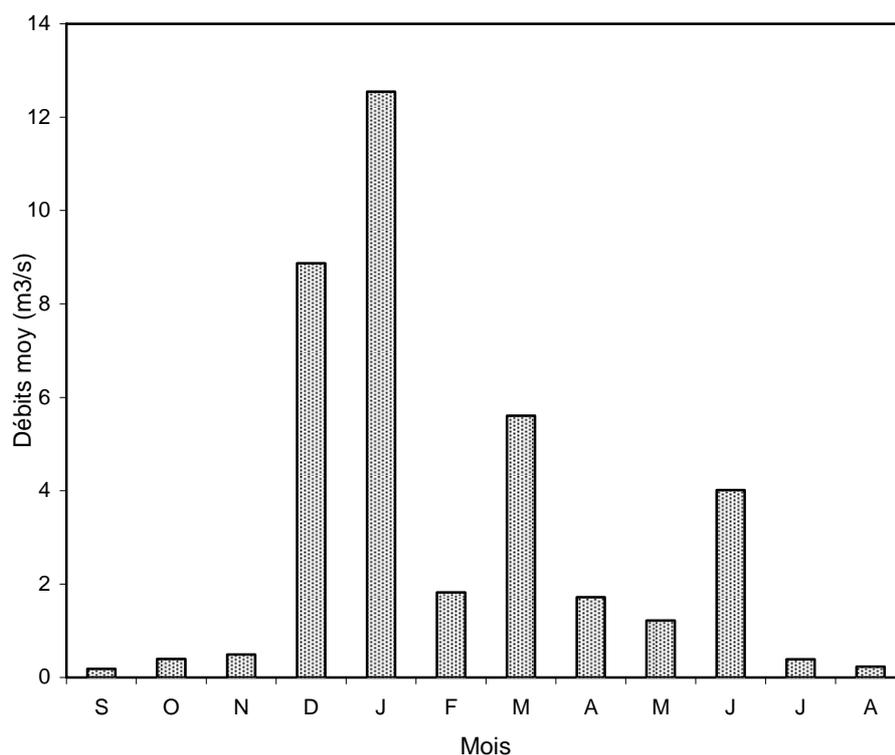
L'étude hydrologique a été abordée par la quantification des débits au niveau de la station hydrométrique de Bouchegouf (Figure 2.1) sur une période d'observation de 22 années

X	Y	Z
949.60	362.10	95

**Tableau 2.6 :** Station hydrométrique du sous bassin versant Mellah.

#### - Débits moyens mensuels de l'Oued Mellah

La figure 2.12 représente la distribution des débits moyens mensuels (Annexe 7) enregistrés dans la station hydrométrique de Bouchegouf sur une période étalée entre 1985 à 2006. Les résultats des jaugeages de l'Oued Mellah indiquent une diminution des débits ( $0.39 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $0.23 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $0.183 \text{ m}^3/\text{s}$ ) pour les mois de Juillet, Août et Septembre. Cette période estivale (J, A, S) montre une corrélation entre le débit et les précipitations. Les débits maximaux ( $8.87 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $12.55 \text{ m}^3/\text{s}$ ) sont rencontrés au mois de Décembre et au mois de Janvier.



**Figure 2.12** : Variations mensuelles des débits (1985-2006).

### - Débits moyens annuelles de l'Oued Mellah

Pour montrer les années déficitaires et excédentaires au niveau de l'oued Mellah, on a étudié les variations annuelles des débits avec la représentation graphique sur une période de 22 ans (Figure 2.13).

La distribution des débits moyens annuels sur la vingtaine d'années (Annexe 8) considérée indique que les années excédentaires sont : 1991, 1993 et 2000 et les années restantes sont des années déficitaires. Le manque des données pour les précipitations (une période de 10 ans) n'a pas permis de faire une bonne comparaison avec les débits. Toute fois, le diagramme (Figure 2.13) fait sentir le changement climatique par les années déficitaires.

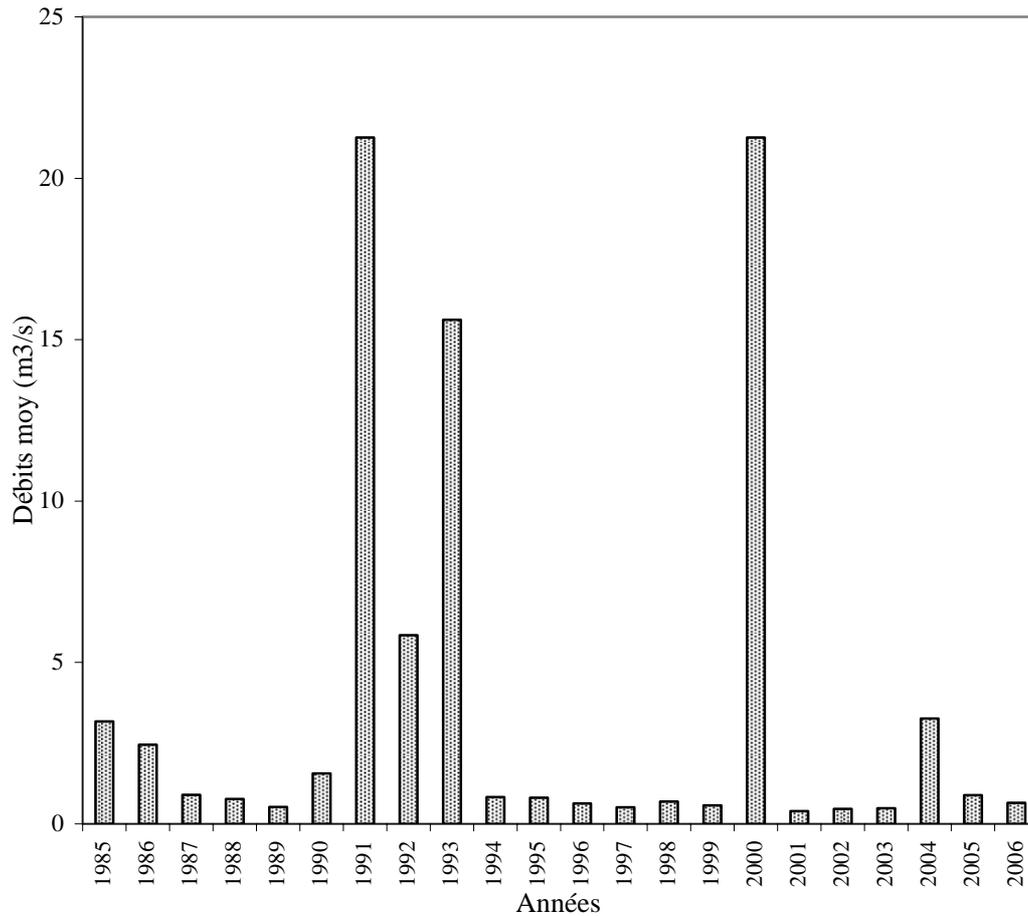


Figure 2.13 : Variations annuelles des débits (1985/2006).

**- Coefficient moyen des débits**

Le coefficient moyen des débits définit le régime d'un cours d'eau pendant une période considérée. Il est donné par la formule suivante :

$$CMD = Q_i / Q \tag{2.17}$$

avec CMD : coefficient moyen des débits,  $Q_i$  : Débits moyens mensuels en  $m^3/s$  et  $Q$  : débits moyens.

- Si  $CMD > 1$  : Période des hautes eaux
- Si  $CMD < 1$  : Période des basses eaux

Les valeurs du coefficient moyen des débits calculés à partir des données hydrométrique de l'oued Mellah sont récapitulées dans le tableau 2.6.

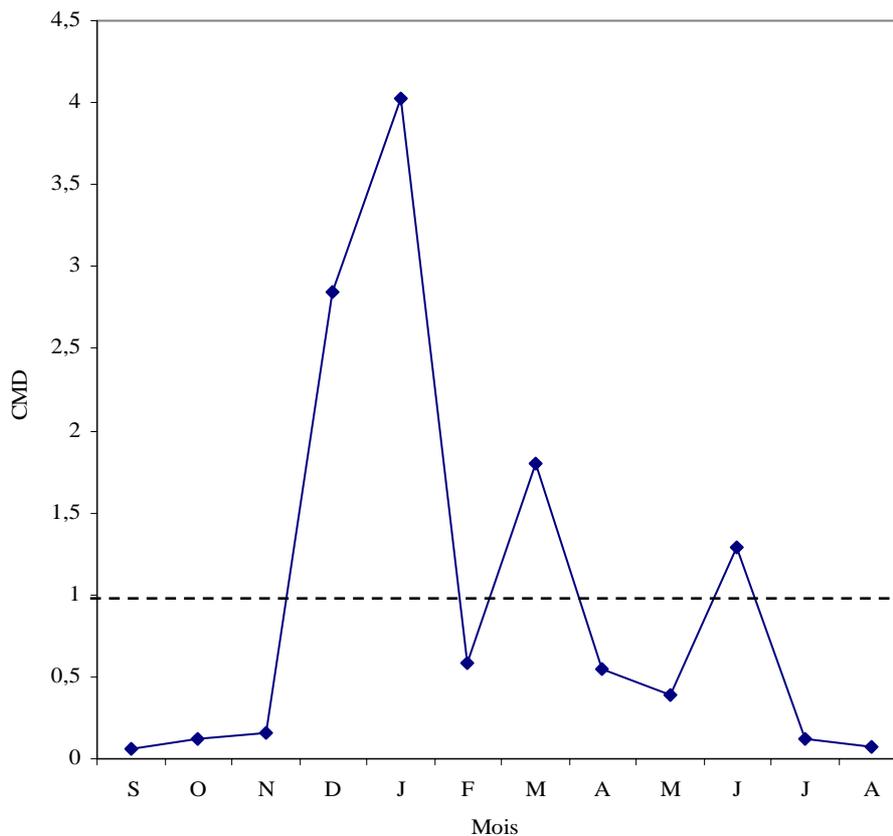
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>Débits moy (<math>m^3/s</math>)</b>	0.183	0.397	0.490	8.870	12.550	1.820	5.610	1.720	1.220	4.010	0.390	0.230
<b>CMD</b>	0.058	0.127	0.157	2.840	4.022	0.580	1.798	0.551	0.391	1.285	0.125	0.073

Tableau 2.7 : Le coefficient moyen des débits (1985-2006).

La figure 2.14 fait ressortir deux périodes :

- Une période des basses eaux s'étalant de mois de Mai jusqu'au mois de Novembre.
- Une période des hautes eaux s'étalant sur cinq mois du mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril.

Ce qui est en corrélation avec les saisons sèche et humides (figure 2.8).



**Figure 2.14 :** Evolution des coefficients des débits moyens de l'Oued Mellah (1985-2006).

## 2.2.3 Infiltration et stock d'eau

L'infiltration s'intéresse à l'eau qui pénètre dans le sol et y séjourne, un court instant ou de longues années (phase souterraine du cycle de l'eau). Les contraintes qui régissent la circulation de l'eau dans toute l'épaisseur du sol et du sous sol amène à distinguer l'eau du sol et l'eau des réservoirs souterrains. Ces deux « compartiments » sont étudiés séparément.

### 2.2.3.1 Distinction zone saturée et zone non saturée

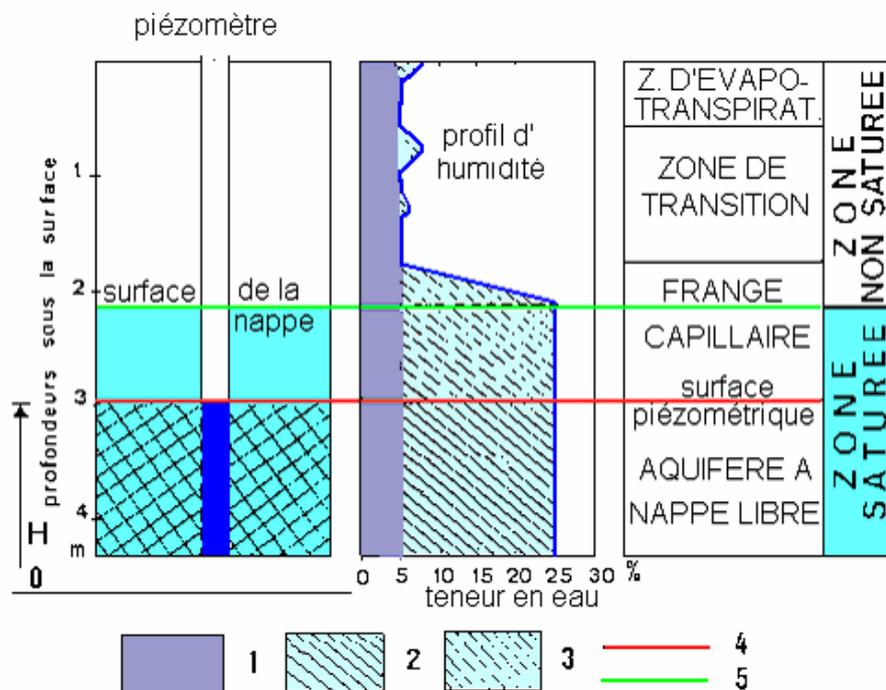
Au dessous de la surface du sol, deux zones peuvent être identifiées de haut en bas (Figure 2.15) :

### - La zone non saturée

Un système à trois phases (liquide, solide, gaz) où seule une partie des espaces lacunaires sont remplis d'eau, le reste étant occupé par l'air du sol.

### - La zone saturée

Un système à deux phases (solide, liquide) où tous les pores sont remplis d'eau. La distinction fondamentale entre la zone saturée et la zone non saturée réside dans le comportement hydrodynamique de l'eau due à l'effet de l'air et se traduit notamment par une conductivité hydraulique différente. Ce pendant, la zone saturée et la zone non saturée ne sont pas des domaines séparées, mais font partie d'un système d'écoulement continu.



(1) : eau de rétention ; (2) : eau gravitaire ; (3) : remontée capillaires ; (4) surface piézométrique ; (5) : surface de la nappe.

**Figure 2.15 :** Distinction zone saturée et zone non saturée

#### 2.2.3.2 Distinction eau du sol et eau du sous sol

Pour faciliter l'étude de l'eau souterraine, nous distinguons toute fois :

- **L'eau du sol**, assimilée à celle se trouvant dans la zone non saturée. La zone de l'eau du sol est le siège des racines végétaux et constitue surtout une limite supérieure importante des nappes (alimentation, évaporation), elle est également le lieu de transit de matières et de substance. Ces processus font partie du continuum sol- plante- atmosphère.

- **L'eau du sous sol**, correspondant à celle de la nappe. L'infiltration renouvelle l'eau du sous sol et des réservoirs souterrains et entretient, par son circuit dans les aquifères, le débit de

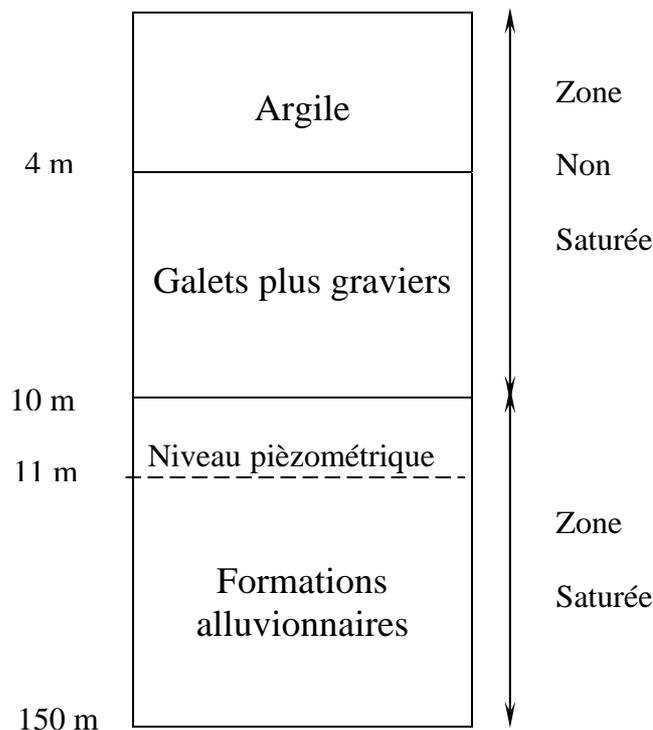
l'écoulement souterrain (débit de base). Celui ci alimente les sources et les cours d'eau. Le niveau de l'eau souterrain est influencé par le régime de percolation de la pluie ou de l'eau d'irrigation à travers la zone non saturée.

### 2.2.3.3 Distinction zone saturée et zone non saturée dans la plaine de Bouchegouf

La nappe alluvionnaire de Bouchegouf est partagée en deux zones, au dessous de la surface du sol, représentées schématiquement dans la figure 2.16 d'après les colonnes stratigraphiques.

La première est la zone non saturée marquée par la présence d'une couche argileuse de 4 mètres d'épaisseur suivie par des galets et des graviers où les trois phases constituant cette zone (liquide, solide et air).

La seconde est la zone saturée système de deux phases : liquide (eau) et solide (formations alluvionnaires) d'épaisseur varie de 40 m à 150 m avec un niveau piézométrique de 11 m..



**Figure 2.16 :** Coupe schématique illustrant la limitation de la Zone non saturée et la zone saturée dans la plaine de Bouchegouf.

### 2.2.4 Relation eau de surface –eau souterraine

Les liaisons entre les eaux de surface et les eaux souterraines jouent un très grand rôle en hydrogéologie. Si les liaisons nappe lac et nappe mer sont généralement peu évolutives, les liaisons cours d'eau nappe sont par contre plus complexe variant au cours des saisons. Les cours d'eau sont ainsi soit drainant, soit infiltrant, quelques fois indépendants. L'infiltration à

partir d'un cours d'eau ne reste généralement élevée que lorsque son lit n'est pas stabilisé (alluvionnement, érosion). Le long d'un torrent, elle est plus importante en amont qu'en aval. L'influence des cours d'eau sur une nappe s'observe facilement par des mesures piézométriques à différentes distances du cours d'eau. On complète souvent les mesures piézométriques par des mesures de paramètres chimiques et isotopiques qui permettent de bien mettre en évidence les influences de l'infiltration de l'eau de la rivière sur l'eau de la nappe.

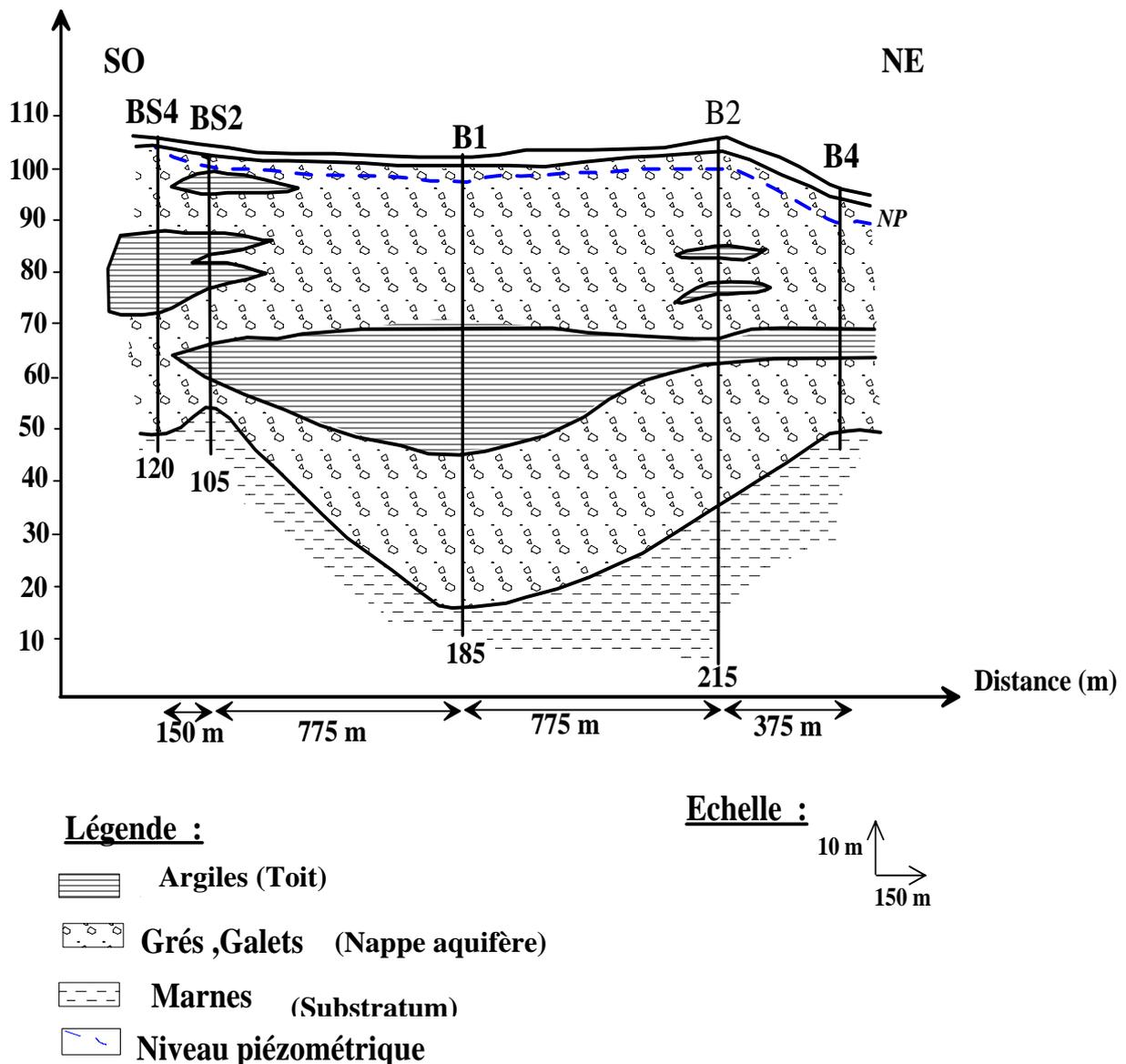


Figure 2.17 : Coupe hydrogéologique de la région de Boucheouf.

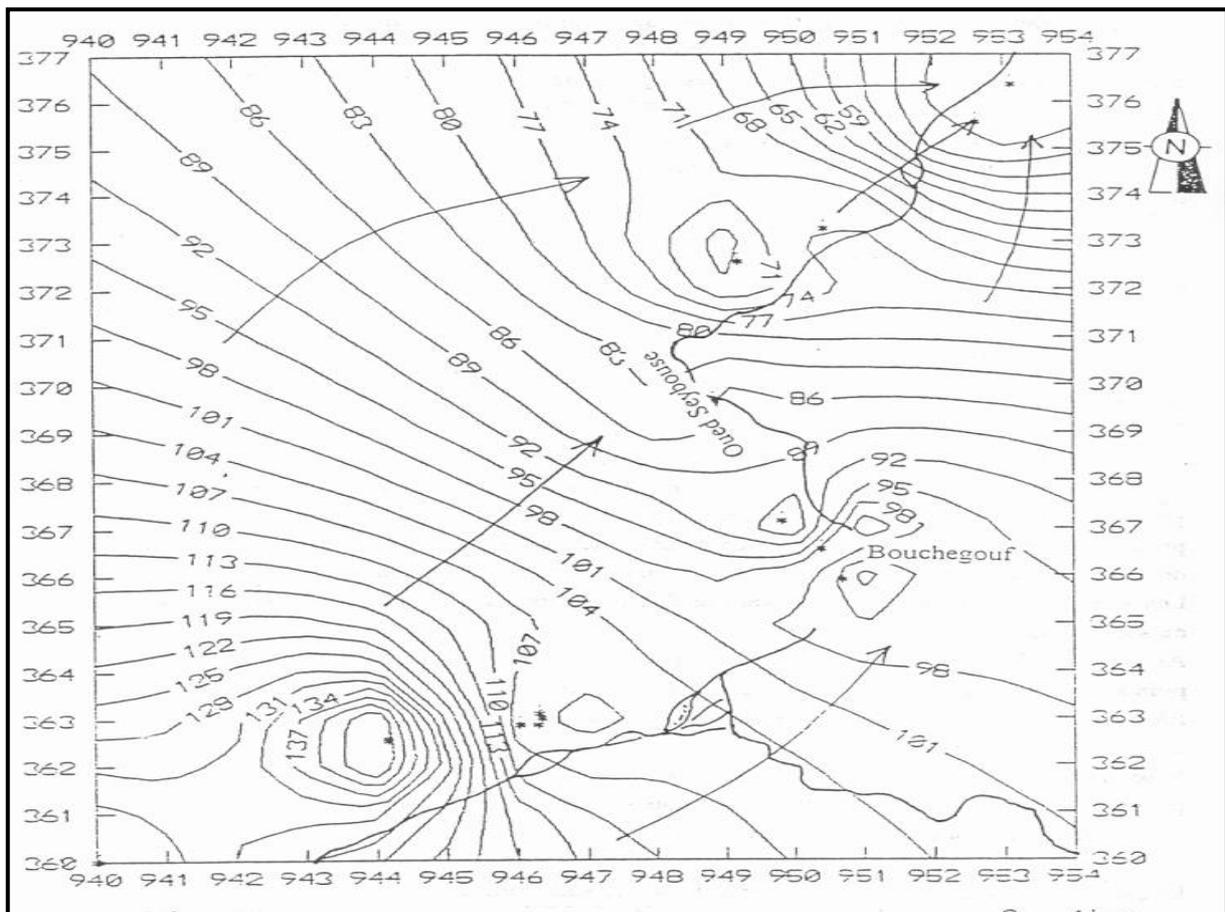
La coupe hydrogéologique établie en se référant aux colonnes stratigraphiques des forages, leur profondeur, l'altitude topographique et les distances entre eux, a pour but de reconstituer la géométrie, le type et la nature, ainsi que l'évolution latérale de la nappe.

La coupe hydrogéologique de la région de Boucheouf de direction SO NE indique l'évolution suivante :

Le forage BS4 indique l'existence de deux nappes captives d'épaisseur à peu près égale. Le matériel constituant ces nappes est identique. Les lentilles d'argile divisent la nappe captive devenant libre en plusieurs nappes captives au niveau du forage BS2.

Vers l'aval, les mêmes nappes captives d'épaisseur 61 m pour la première et 83 m pour la deuxième rencontrées au niveau du forage B1 sont rencontrées au niveau des forages B2 et B4, avec des épaisseurs différentes.

Ces nappes sont formées essentiellement de sable, grès et galets, le toit est formé d'argile imperméable et le substratum des marnes. On peut dire qu'il s'agit d'une seule nappe captive avec des passages des lentilles d'argile intermédiaires d'épaisseurs différents, l'absence de ces dernières permet la communication entre les nappes.



**Figure 2.18 :** Carte piézométrique de la région de Bouchegouf (in Djabri 1992)

Au sud, la carte (Figure 2.18) en courbes hydroisopiées, établie à partir de 20 points rattachés au N G A, montre une concavité orientée vers l'amont, alors qu'au Nord, les filets convergent vers l'Oued, ce qui marque un drainage important de la nappe par la Seybouse. Le gradient hydraulique est très élevé (2%). Des éléments perturbateurs (pompages à fort débit en particuliers) modifiant parfois l'allure des courbes. Dans notre travail on n'a pas pu établir une carte piézométrique car la plus part des forage sont en arrêt, donc on suppose que il n'y a pas de sur exploitation.

## **Conclusion**

L'étude hydrologique a été abordée par la définition des stock d'eau de surface et souterraines et par la quantification des débits au niveau de la station hydrométrique de la région de Bouchegouf. Dans le but d'étudier la relation entre les eaux de surfaces et souterraines l'interprétation d'une carte piézométrique été la dernière étape dans cette partie. La conclusion obtenu c'est que l'Oued Mellah est l'effluent le plus important pour l'Oued Seybouse dans la région de Bouchegouf et que la nappe draine l'Oued Seybouse.

## **Chapitre 3**

# **QUALITE ET VULNERABILITE A LA POLLUTION DES EAUX DE BOUCHEGOUF**

## 3.1. HYDROCHIMIE

### 3.1.1 Introduction

Généralement, il est bien admis que l'eau dans la nature est rarement pure car différents éléments peuvent altérer sa constitution de base par diffusion, dissolution ou par un simple mélange. La composition de l'eau dépend de l'environnement dans lequel elle se trouve sous forme d'un processus d'écoulement ou d'un stockage. Aussi, une eau est identifiée par ses propres caractéristiques physico-chimiques telles que la dureté, la salinité et le pH. Les éléments qui se mélangent à l'eau lui confèrent un chimisme particulier traduisant certaines propriétés ou spécificités intrinsèques au trajet suivi par l'eau.

L'eau traverse des couches géologiques perméables, ce qui entraîne une augmentation de la minéralisation par lessivage des roches, notamment ceux à nappes libres. Cette situation donne lieu à des atteintes graves à la qualité de l'eau par contamination verticale. Les eaux souterraines, constituent une ressource de qualité généralement meilleure par rapport à celles des eaux de surface. La vulnérabilité des systèmes aquifères situés à proximité des centres urbains est matérialisée par une contamination sous la forme d'affluents qui se jettent dans les cours d'eau. Comme il y a une relation mixte entre les eaux de surface et les eaux souterraines, la pollution est systématiquement étendue vers les eaux souterraines et superficielles par le phénomène de drainage. L'objectif visé dans cette étude est la détermination de la vulnérabilité à la pollution des eaux de la région de Bouchegouf.

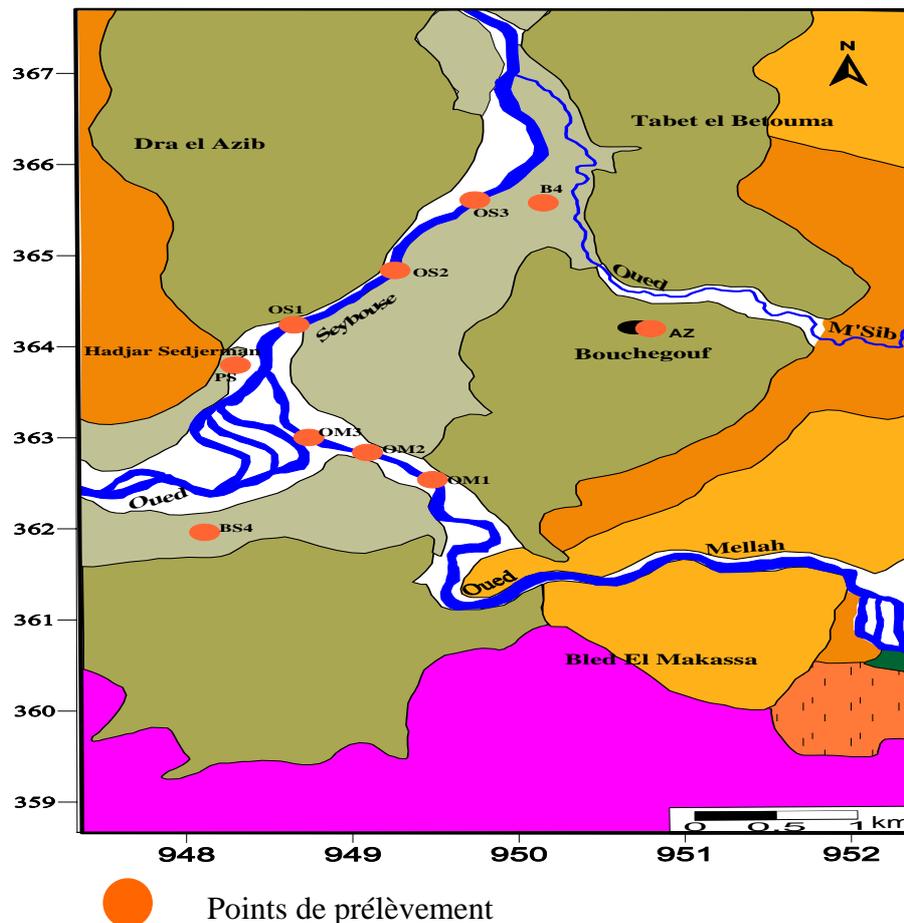


Figure 3.1 : Carte d'inventaire des points de prélèvement d'eau.

### 3.1.2 Matériel et méthodes

Les mesures physico-chimiques ont été réalisées au laboratoire de chimie des eaux du département de génie des procédés (université d'Annaba) (DCO, DBO<sub>5</sub>, [Cl<sup>-</sup>], [HCO<sub>3</sub>], conductivité électrique, salinité...) et au laboratoire central de l'Algérienne des Eaux (ADE) ([NH<sub>4</sub><sup>+</sup>], [NO<sub>3</sub><sup>-</sup>], [PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>],...) suivant les normes connues. L'analyse chimique pour l'étude de la pollution souterraine et de surface est basée sur 10 points de prélèvement dont la balance ionique présente une erreur inférieure à 10%. Les points de mesures sont répartis comme suit :

Trois points au niveau de l'Oued Seybouse (Figure 3.1), trois points au niveau de l'Oued Mellah et quatre points au niveau de la nappe (1 puits, 1 source et 2 forages).

Dans le but d'avoir une description et un suivi réalistes des pollutions qui ont eu lieu dans la région, les échantillons sont prélevés durant les deux mois (Janvier) et (Juin) durant l'année 2007.

### 3.1.3 Résultats et discussion

Avec l'augmentation des opportunités industrielles et agricoles de la région de Bouchegouf, il est attendu que des altérations des eaux superficielles et souterraines aient lieu. Pour des raisons purement naturelles, les processus de contamination sont évolutifs en fonction des facteurs propres à l'environnement économique. Dans cette étape, il est normal d'établir le faciès chimique, l'indice de contamination et enfin la qualité des eaux pour les deux mois janvier et juin de l'année 2007.

#### 3.1.3.1 Détermination du faciès chimique

La détermination du faciès chimique sera faite par la formule ionique, le diagramme de Scholler Berkaloof et le diagramme de Piper.

##### 3.1.3.1.1 Formule ionique

Cette formule a pour but de classer par ordre décroissant les quantités en réaction en (méq/l) des groupe anions et cations. Cette formule permet de définir les caractéristiques physico-chimiques des eaux de l'aquifère en relation avec sa lithologie et de classer les eaux de même origine.

Le tableau 3.1 donne les faciès chimiques de chaque analyse concernant le mois de Janvier 2007 pour la nappe alluviale de Bouchegouf et les deux Oueds Seybouse et Mellah.

D'après la formule ionique, deux familles de faciès chimique se distinguent, pendant la période d'observation (janvier 2007), aussi bien que les eaux superficielles que pour la nappe.

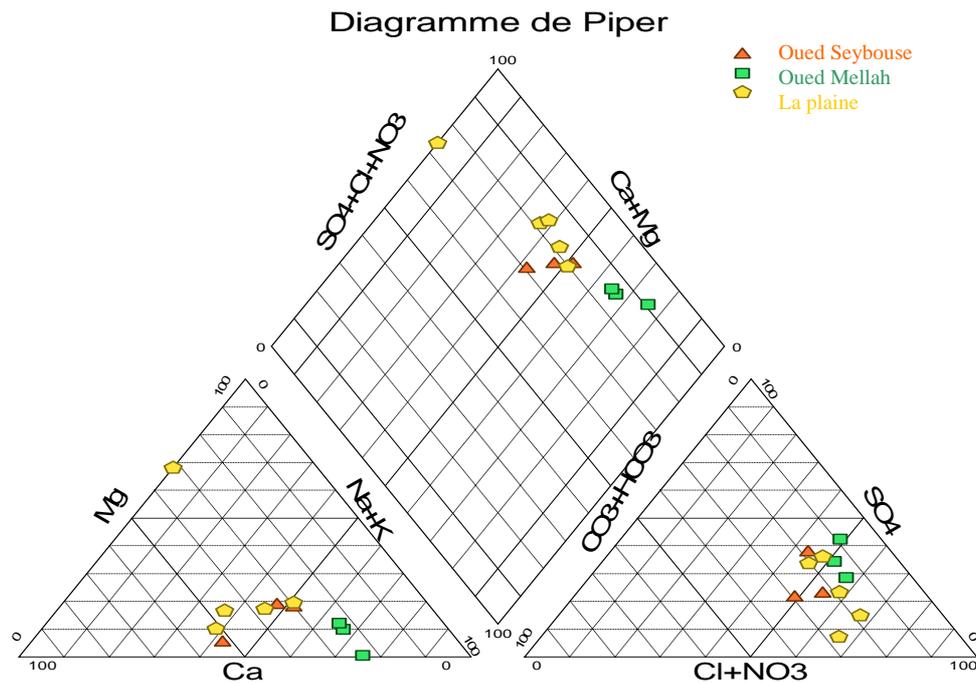
- Un faciès chimique chloruré sodique.
- Un faciès chimique chloruré calcique.

N°	Echantillon	Formule chimique	Faciès chimique
1	OS1	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ $rCa^{++} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{++}$	Chloruré calcique
2	OS2	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ $r(Na^+ + k^+) > rCa^{++} > rMg^{++}$	Chloruré sodique
3	OS3	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^-$ $r(Na^+ + k^+) > rCa^{++} > rMg^{++}$	Sulfaté sodique
4	OM1	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^-$ $r(Na^+ + k^+) > rCa^{++} > rMg^{++}$	Sulfaté sodique
5	OM2	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ $r(Na^+ + k^+) > rCa^{++} > rMg^{++}$	Chloruré sodique
6	OM3	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ $r(Na^+ + k^+) > rCa^{++} > rMg^{++}$	Chloruré sodique
7	PS	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ $rCa^{++} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{++}$	Chloruré calcique
8	AZ	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ $rCa^{++} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{++}$	Chloruré calcique
9	B4	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ $r(Na^+ + k^+) > rCa^{++} > rMg^{++}$	Chloruré sodique
10	BS4	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ $r(Na^+ + k^+) > rCa^{++} > rMg^{++}$	Chloruré sodique

**Tableau 3.1 :** Les faciès chimiques de chaque analyse concernant le mois de Janvier 2007 pour la nappe alluviale de Bouchegouf et les deux Oueds Seybouse et Mellah.

### 3.1.3.1.2 Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet la visualisation d'un grand nombre d'analyse et de suivre l'évolution de chimisme de la nappe et des eaux superficielles (Figure 3.2).



**Figure 3.2 :** Diagramme de Piper (Janvier 2007).

Le diagramme de Piper (Figure 3.2) permet de visualiser trois familles distinctes, mettant en évidence :

- Une famille assez riche en  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ , définissant les eaux de la nappe.
- Une famille moyennement riche en  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ , définissant les eaux de l'Oued Seybouse.

- Une famille relativement pauvre en  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , déterminant les eaux de l'Oued Mellah.

Toute fois l'ensemble des points d'eau montre des eaux pauvres en hydrates alcalins.

### 3.1.3.1.3 Diagramme de Scholler Berkalof

Le diagramme semi-logarithmique de Scholler Berkalof permet de distinguer les différentes familles des eaux et les comparer entre elles (Figure 3.3).

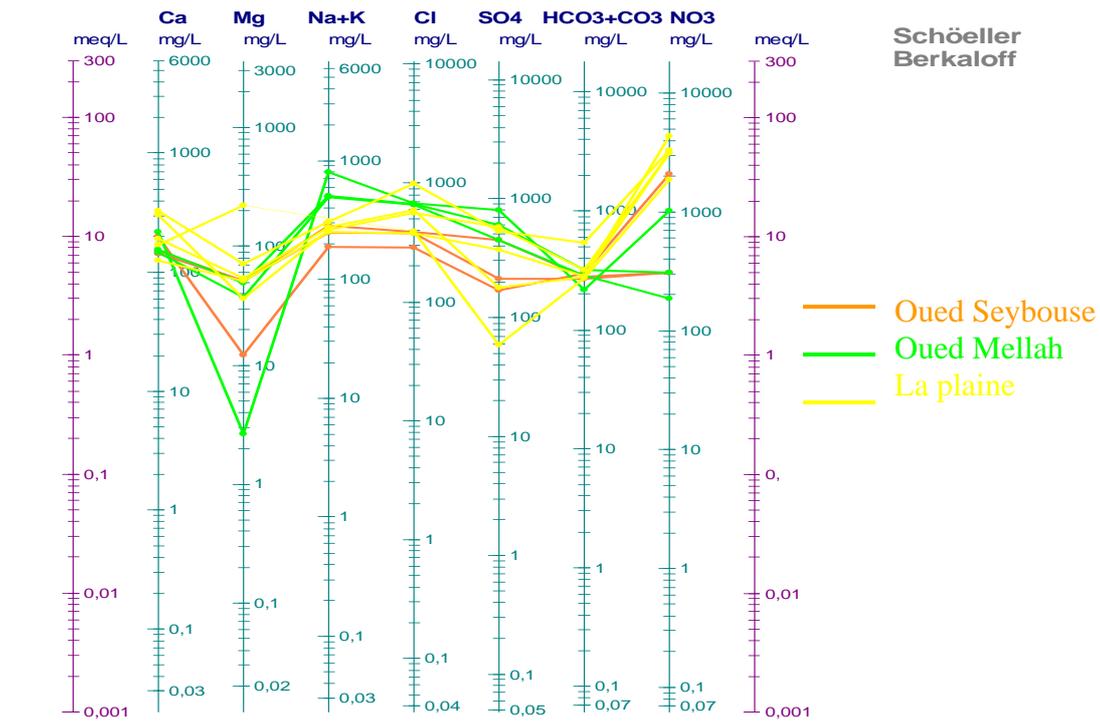


Figure 3.3 : Diagramme de Schoeller Berkaloff (Janvier 2007).

## Interprétation

Pour le chimisme des eaux de la région, l'allure générale du diagramme de Piper montre un faciès chimique chloruré sodique dans le cas de l'Oued Seybouse. Les teneurs en chlorure et sodium ont atteint 383 mg/l et 278 mg/l respectivement. La forte teneur en chlorure est probablement due à la forte évaporation des eaux (Figure 3.2). Aussi, la nature argileuse du sol représente une contamination probablement induite par l'Oued Mellah qui est le principal affluent de l'Oued Seybouse.

Alternativement, pour l'Oued Mellah, l'analyse a conduit à un faciès chloruré sodique avec une teneur en chlorure de l'ordre de 667 mg/l, alors que celle du sodium aura atteint 800 mg/l. Il est observé que les chlorures sont dominants par leur origine géologique, attribuée précisément au Trias gypsifère de Nador et à la forte évaporation des eaux. Dans ce cas, les résultats indiquent un faciès sulfaté sodique au niveau des points OS3 et OM1. Les sulfates auraient pour origines deux sources. La première serait naturelle due à la formation

géologique confirmée par la présence des évaporites gypseuses, tandis que la seconde serait plutôt anthropique soutenue par le diversement des rejets industriels.

Concernant les eaux de la nappe alluviale de Bouchegouf, les résultats mettent en évidence deux familles d'eaux bien distinctes dont les faciès chimiques sont : (1) chloruré sodique et (2) chloruré calcique avec des teneurs en chlorure pouvant atteindre 976 mg/l. Les teneurs en sodium et en calcium sont 299 mg/l et 329 mg/l respectivement. Le faciès chloruré calcique est dû probablement aux formations géologiques de la région où sont observés les évaporites des sels de sodium et de potassium. Il est possible d'attribuer également ces changements des faciès chimiques au niveau de la nappe aux échanges de base entre les eaux de la nappe et la formation géologique.

## **3.2 QUALITE DES EAUX**

### **3.2.1 Vulnérabilité et protection (Bousnoubra Kherici H 2002)**

#### **3.2.1.1 Introduction**

Les eaux souterraines, constituent une ressource de qualité généralement meilleure à celle des eaux de surface, grâce à la protection naturelle des couches du sol sus-jacentes et aux pouvoirs filtrant des terrains. Elles permettent des échanges physico-chimiques avec le milieu réservoir en provoquant un retard de la matière polluante par sa destruction ou par sa fixation. Le milieu aquifère et les microorganismes peuvent réagir sur les produits polluants, il s'agit de phénomènes très complexes dont les réactions biologiques sont beaucoup plus efficaces en milieu non saturé.

Cette partie rentre dans la prévision de la propagation de la pollution de surface dont il est très important de la prendre en considération; son atténuation est due au transit des eaux à travers les couches du sol non saturées en eau. A l'échelle des mesures, la migration d'un polluant est régie par deux parcours : l'un vertical, traversant les couches superficielles de la nappe (zone non saturée de la nappe), l'autre horizontal suivant le sens d'écoulement de la nappe (zone saturée).

Une méthode simple d'identification prévisionnelle a été développée pour délimiter les périmètres de protection rapprochée et éloignée des points d'eau, par conséquent des champs de captage. Dans la pratique la détermination de ces périmètres concerne beaucoup plus les nappes superficielles.

#### **3.2.1.1.1 Les matières polluantes et leur origine**

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique et biologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'Homme et ses activités. Elle perturbe parfois considérablement la composition physico-chimique des eaux de surface, ces dernières sont le vecteur principal de transport de ces substances dans les nappes souterraines. Elle change les conditions de vie de la flore et de la faune aquatiques, aussi compromet-elle les utilisations de l'eau et l'équilibre du milieu aquatique. Cette perturbation provient :

- Des rejets domestiques, surtout constitués de matières organiques (graisses, déchets organiques divers), mais aussi de produits chimiques (poudres à laver, détergents) qui sont à l'origine d'apports de phosphates et de nitrates dans les eaux usées.
- Des effluents industriels pouvant causer des pollutions organiques (industries agro-alimentaires, papeteries), chimiques (tanneries, usines textiles) ou physiques (réchauffement des eaux par les centrales thermiques, matières en suspension des mines et de la sidérurgie).
- Enfin des épandages d'engrais mettant en cause des terrains riches en nitrates, en phosphore Leur entraînement par les eaux pluviales provoque une contamination des eaux superficielles et souterraines.

Les rejets sont alors à l'origine de plusieurs types de pollution :

- La pollution physique: altération de la transparence de l'eau (présence de matières en suspension) ou de sa température.
- La pollution chimique: présence de substances chimiques indésirables ou toxiques, comme par exemple les nitrates ou les métaux qui provoquent des déséquilibres biologiques.
- La pollution organique: présence de matières organiques qui génèrent une surconsommation de dioxygène, nécessaire à leur dégradation et l'apparition de produits toxiques comme l'ammoniac.
- La pollution bactériologique : présence de microorganismes dont certains sont pathogènes susceptibles de provoquer des maladies.

La vulnérabilité des nappes à ces diverses pollutions est conditionnée par plusieurs facteurs, parmi lesquels on cite :

- Le pouvoir filtrant du réservoir.
- L'épaisseur de la zone non saturée du réservoir.
- La vitesse d'écoulement des eaux souterraines.
- La nature du réservoir (captif ou libre).

### **3.2.1.2 Pouvoir épurateur des sols**

Les terrains recouvrant les zones aquifères constituent un réacteur qui contribue à épurer les eaux d'infiltration. Il convient de connaître les fonctions et les limites de ce filtre naturel. Dans le cas général, la coupe transversale d'un sol est la suivante:

Une première couche organique de quelques centimètres à quelques mètres d'épaisseur, est le siège d'activité biologique et physico-chimique. Elle permet une épuration totale pour une épaisseur  $H > 1.2$  m (Rehse 1977), lui attribuant d'ailleurs un coefficient d'autoépuration très élevé ( $1/H=0.8$ ): c'est la partie du sol exploitée par les racines des plantes (Tableau 3.2).

Une zone de transfert vertical de pollution en milieu poreux non saturé, où les indices de l'autoépuration sont donnés en fonction de l'épaisseur des couches et de leur nature lithologique. Exemple, pour une couverture formée de sable grossier, représentant la zone non saturée de la nappe, son pouvoir épurateur est de 0.07, pour une épaisseur de 15 m.

Description du matériau	H(m)	i=1/H
Humus 5à10%, 5à10% argile	1.2	0.80
Argile, limon argileux, sable très argileux	2.0	0.50
Silt argileux à silt	2.5	0.40
Silt, sable siliceux, sable peu siliceux et peu argileux	3.0 à 4.5	0.33-0.22
Sable fin à moyen	6.0	0.17
Sable moyen à grossier	10.0	0.1
Sable grossier	15.0	0.07
Gravier silteux riche en sable et argile	8.0	0.13
Gravier peu silteux, beaucoup de sable	12.0	0.08
Gravier fin à moyen riche en sable	25.0	0.04
Gravier moyen à grossier, peu de sable	35.0	0.03
Galets	50.0	0.02

**Tableau 3.2 :** Pouvoir épurateur du sol dans la couverture (ZNS) W.Rehse (1977).

H : épaisseur de la couche de sol nécessaire pour une épuration totale.

i : index caractéristique associé à chaque type de terrain.

Une zone de transfert horizontal où l'épuration se fait par dilution dans la nappe (zone saturée), suivant la vitesse d'écoulement (Tableau 3.2 et 3.3).

Description du matériau	Vitesse effective (m.J <sup>-1</sup> )	L (m)
Gravier peu silteux, riche en sable	V < 3	100
	3 < V < 20	150
	20 < V < 50	170
	V > 50	200
Gravier fin à moyen, riche en sable	V < 3	150
	3 < V < 20	200
	20 < V < 50	220
	V > 50	250
Gravier moyen à grossier, peu sableux	V < 3	200
	3 < V < 20	250
	20 < V < 50	270
	V > 50	300
Graviers et galets	V < 3	300
	3 < V < 20	340
	20 < V < 50	360
	V > 50	400

**Tableau 3.3 :** Pouvoir épurateur du sol dans l'aquifère (ZS), (W. Rehse, 1977).

V : Vitesse effective des eaux de la nappe.

L : Distance horizontale pour une épuration totale.

H. Bolsenkotter (1984) a complété le tableau 3.4, en admettant des pouvoirs épurateurs dans les roches dures et fissurées. Ces derniers doivent être appliqués en tenant compte des conditions de vulnérabilité de chaque champ de captage (Tableau 3.3).

Description du matériau	H (cm)	ia =0.5/H
Marnes	10	0.05
Grès avec argile, argiles, micachistes, phyllites	20	0.025
Basaltes et roches volcaniques	30	0.017
Grauwake, arkose, ou grès silteux	50	0.01
Granite, granodiorite, diorite, syénite	70	0.007
Quartzites, grès à silex	100	0.005
Calcaire	200	0.0025

**Tableau 3.4 :** Pouvoir épurateur des aquifères de fractures H. Bolsenkotter (1984).

### 3.2.1.3 Evaluation du pouvoir épurateur et périmètres de protection

Le pouvoir épurateur du sol, surtout dans la zone non saturée, est très important à déterminer pour éviter la propagation d'une pollution directe vers les nappes; sur ces bases Rehse (in Detay1997) a proposé en 1977 une méthode empirique pour l'évaluation du pouvoir épurateur des terrains, lors du transfert d'un polluant, de la surface du sol jusqu'à l'aquifère par circulation verticale, puis en circulation horizontale au sein de la nappe. Cette approche donne une indication sur le périmètre à protéger.

Les conditions de protection de la qualité des eaux destinées à l'alimentation, au droit des ouvrages de prélèvement, sont régies par des interdictions des actions dangereuses pour la qualité des eaux, sur l'aire d'alimentation du captage ou au moins sur une distance telle que le transit des polluants éventuels soit suffisamment long pour qu'ils puissent être dégradés par action bactérienne, chimique ou autres, avant de parvenir au forage.

Le rôle du périmètre de protection est de préserver efficacement le captage d'eau d'une éventuelle migration de substances indésirables dans le sol. La protection du point de prélèvement ou du champs de captage fait intervenir trois périmètres de protection, notamment le périmètre de protection immédiat(PPI), le périmètre de protection rapproché(PPR) et enfin le périmètre de protection éloigné (PPE). Ces périmètres sont déterminés en fonction de plusieurs critères, parmi lesquels nous évoquons:

- Les caractéristiques de l'aquifère et de l'écoulement souterrain.
- Le débit d'exploitation maximum du forage.
- Le pouvoir auto épurateur des sols, donc de dégradation de la pollution.
- L'influence du pompage sur le niveau piézométrique, donc sur le rabattement de la nappe.
- La zone d'influence du pompage et la zone d'appel.
- Les conditions aux limites de l'aquifère.
- Le temps de transfert du polluant pour atteindre la nappe.
- La méthode de Rehse (Detay1997), complétée par Bolsenkotter (Detay1997) reprise par Lallemand Barres (1989) pour le calcul du périmètre de protection, fait appel au pouvoir épurateur de la tranche de terrain surmontant l'aquifère au droit de l'ouvrage de captage,

au temps de transfert du polluant entre le point d'émission et le point de prélèvement dans la nappe (temps de transfert vertical puis horizontal). Ce critère, basé sur un mode de transfert convectif (Detay1997), est par nature plus pessimiste que le précédent, ce qui assure une sécurité accrue.

Le principe de calcul est simple, on considère que l'épuration est variable, selon les milieux traversés et proportionnelle à la distance parcourue. Pour utiliser cette méthode, il convient de classer les différentes catégories de sol en fonction de leur granulométrie (Tableau 3.2 et 3.3) et de les étudier en conditions saturées et non saturées. Pour chaque cas, une longueur minimale d'épuration totale  $L$  peut être déterminée et l'épuration est considérée comme proportionnelle à la distance parcourue dans le milieu.

Si  $M_x$  est le pouvoir épurateur sur la totalité du transfert,  $M_d$  le pouvoir épurateur sur le trajet vertical et  $M_r$  le pouvoir épurateur sur le trajet horizontal, l'autoépuration des couches est:

$$M_x = M_d + M_r \quad (3.1)$$

D'après Rehse l'épuration est complète pour  $M_x = 1$

$$M_d = h_1 i_1 + h_2 i_2 + h_3 i_3 + \dots + h_n i_n \quad (3.2)$$

où :

$h$  : hauteur non mouillée des différentes catégories des terrains rencontrés (zone non saturée de la nappe).

$i$  : index caractéristique associé à chaque type de terrain (Tableau 3.2).

Deux cas se présentent :

1.  $M_d > 1$  : l'épuration est totale dans les couches de couverture et que la délimitation d'un périmètre de protection n'est pas nécessaire.

2.  $M_d < 1$  : la dépollution n'est pas totale. Elle doit se poursuivre dans l'aquifère lors du transfert horizontal; dans ce cas le calcul de périmètres de protections s'impose.

Soit  $M_r = 1 - M_d$  est le pouvoir épurateur dans l'aquifère, la distance  $L$  à parcourir horizontalement pour une épuration totale sera :

$$L = M_r / i_a \quad (3.3)$$

où :

$i_a$  : index de l'aquifère relatif à la vitesse d'écoulement (Tableau 3.2).

Forage	Lithologie de couverture	E (m)	ENS (m)	NP (m)	Md
<b>B<sub>1</sub></b>	-Argile plastique	4	4	10.56	2.13
	-Caillout + galets de calcaire	61	6.56		
<b>B<sub>2</sub></b>	-Argile plastique rouge	6	6	11.7	3.11
	-Graviers + galet	32	5.7		
<b>B<sub>3</sub></b>	-Terre végétale	4	4	12.3	2.16
	-Galets + graviers	8.3	8.3		
<b>B<sub>4</sub></b>	-Terre végétale	4	4	12.9	2.18
	-Galets + graviers	49.4	8.9		
<b>BS<sub>2</sub></b>	-Sable + galets	2	2	8.48	2.57
	-Argile plastique rouge	5	5		
	-Galets + graviers	4	1.48		
<b>BS<sub>4</sub></b>	-Terre végétale	2	2	4	1.04
	-Galets + graviers	33	2		

**Tableau 3.5** : Pouvoir épurateur dans la nappe alluvial de Bouchegouf (H.Bousnoubra 2002) modifié

- E : épaisseur de la couche  
 ENS : épaisseur non saturée de la nappe  
 NP : niveau piézométrique de la nappe  
 M<sub>d</sub> : pouvoir épurateur sur le trajet vertical

D'après le tableau 3.5 on remarque une autoépuration (pouvoir épurateur très élevé, pouvant atteindre la valeur de 3.1) car la couche argileuse joue le rôle protecteur, donc la détermination d'un périmètre de protection n'est pas nécessaire et on va chercher ailleurs l'origine de la pollution. Comme l'hypothèse du transfert d'un polluant, de la surface du sol jusqu'à l'aquifère par circulation verticale est rejeté car  $M_d > 1$  donc on va vérifier la contamination ou non de ces eaux par l'évaluation de la qualité de ces dernières pour cela il est nécessaire de disposer des méthodes permettant une approche globale des problèmes de pollution.

Parmi les méthodes souvent utilisées pour l'évaluation de la qualité des eaux superficielles et souterraines citons :

- l'indice de contamination (Kherici 1993)
- l'indice de pollution organique (Leclercq et Maquet 1987)
- l'Index (Beckers et Steegmans 1979)
- l'institut d'Hygiène et d'Epidémiologie 1986

### 3.2.2 Indice de contamination (Kherici. N 1993)

En vue d'apprécier la contamination des eaux de la nappe et des eaux de surface, N.kherici (1993) a admis des classes pour chacun des éléments chimiques (  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ...) et après avoir attribué ces classes aux points d'eau de la zone d'étude, on a calculé l'indice de contamination correspondant. Ainsi, plus la valeur de l'indice de contamination est élevée est plus le points d'eau est contaminé.

Classe Ions	1	2	3	4	5	6	7
$\text{Cl}^-$	<250	250-500	500-750	750-1000	1000-1250	>1250	
$\text{SO}_4^-$	<150	150-250	250-350	350-450	450-550	>550	
$\text{Na}^+$	<100	100-150	150-200	200-250	250-500	>500	
$\text{K}^+$	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25	
$\text{Ca}^{++}$	<50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	>300
$\text{Mg}^{++}$	<50	50-100	100-150	150-200			
$\text{NO}_3^-$	<13	13-18	18-23	23-30	>30		

**Tableau 3.6 :** Intervalle des classes. (Kherici. N 1993).

#### - Eaux souterraines

Le tableau 3.7 montre que la nappe de Bouchegouf est vulnérable à la pollution avec un indice de contamination supérieure à 12.

Points d'eau	IC (Janvier 2007)	IC (Juin 2007)
<b>PS</b>	18	12
<b>AZ</b>	16	15
<b>B4</b>	14	11
<b>BS4</b>	12	8

**Tableau 3.7 :** Indice de Contamination des eaux souterraines (2007).

#### - Eaux de surfaces

Les eaux de l'Oued Seybouse et de l'Oued Mellah sont moins contaminées que les eaux de la nappe alluviale de Bouchegouf avec un indice de contamination inférieur à 12 présenté dans le tableau 3.8.

Points d'eau	IC (Janvier 2007)	IC (Juin 2007)
<b>OS1</b>	12	8
<b>OS2</b>	9	8
<b>OS3</b>	8	8
<b>OM1</b>	11	11
<b>OM2</b>	8	11
<b>OM3</b>	9	10

**Tableau 3.8 :** Indice de Contamination des eaux de surface (2007).

### 3.2.3 Indice de pollution organique (Leclercq et Maquet 1987)

Le principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en cinq classes puis de déterminer à partir de ses propres mesures comme l'indique la formule suivante:

Paramètres Classes	DBO <sub>5</sub> Mg-O <sub>2</sub> /l	Ammonium NH <sub>4</sub> mg-N/l	Nitrite µg-N/l	Phosphates µg-P/l
5	<2	<0.1	5	15
4	2-5	0.1-0.9	6-10	16-75
3	5.1-10	1-2.4	11-50	76-250
2	10.1-15	2.5-6.0	51-150	251-900
1	>15	>6	>150	>900

**Tableau 3.9 :** Intervalle des classes des paramètres de pollution organique (Leclercq et Maquet 1987).

Indice de pollution organique	Pollution organique nulle	Pollution organique Faible	Pollution organique Modérée	Pollution organique Forte	Pollution organique Très forte
I P O	5.0 - 4.6	4.5 - 4.0	3.9 - 3.0	2.9 - 2.0	1.9 - 1.0

**Tableau 3.10 :** Grille de degré d'indice de pollution organique.

#### - Eaux souterraines

L'IPO indique que les eaux de la nappe alluviale de Bouchegouf ont une pollution organique modérée à faible donc sont de qualité moyenne à bonne (Tableau 3.11).

Points d'eau	I P O (Janvier 2007)	I P O (Juin 2007)
PS	4	3.3
AZ	4	3
B4	2.5	4
BS4	4.3	4

**Tableau 3.11 :** Indice de pollution organique des eaux souterraines (2007)

#### - Eaux de surfaces

Dans le tableau 3.12 La méthode d'IPO fait ressortir que les eaux de l'Oued Seybouse représentent une pollution organique moyenne à faible donc les eaux sont de qualité moyenne à bonne, par ailleurs les eaux de l'Oued Mellah représentent une pollution organique modérée à forte alors les eaux sont de qualité moyenne à mauvaise pour la période de janvier, ainsi dans la période de juin les deux Oueds ont une bonne qualité.

Points d'eau	I P O (Janvier 2007)	I P O (Juin 2007)
OS1	3	4
OS2	4.6	5
OS3	3.3	4
OM1	2	5
OM2	2.6	4.6
OM3	1	5

**Tableau 3.12 :** Indice de pollution organique des eaux de surface (2007).

### 3.2.4 Lisec-Index (Beckers et Steegmans 1979)

Ici les classes sont numérotées en sens inverse de celle de l'IPO, ainsi un indice élevé correspondra à une pollution importante donc :

Paramètres Classes	Oxygène dissous % de saturation	DBO <sub>5</sub> Mg-O <sub>2</sub> /l	Ammonium NH <sub>4</sub> mg-N/l	Phosphor total µg-P/l
1	91-110	3	<0.5	50
2	71-90	3.1-6.0	0.5-1.0	51-249
3	51-70	6.1-9.0	1.1-2.0	250-899
4	31-50	9.1-15.0	2.1-5.0	900-1499
5	<30	>15	>5	>1500

**Tableau 3.13 :** Intervalle des classes des paramètres de pollution « méthode de Lisec-Index » (Beckers et Steegmans 1979).

Qualité d'eau	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Lisec-Index	4-<6	6-<10	10-<14	14-<18	18-20

**Tableau 3.14 :** Grille de qualité des eaux par la méthode de Lisec-Index.

#### - Eaux souterraines :

Lisec-Index indique que les eaux de la nappe alluviale de Bouchegouf sont de bonne qualité (Tableau 3.15).

Points d'eau	Indice de pollution « Lisec-Index » (Janvier 2007)	Indice de pollution « Lisec-Index » (Juin 2007)
PS	8	8
AZ	2	10
B4	3	4
BS4	6	4

**Tableau 3.15 :** Indice de pollution Lisec-Index des eaux souterraines (2007).

#### - Eaux de surfaces :

La méthode de Lisec-Index figuré dans le tableau 3.16 que les eaux des deux Oueds sont de qualité bonne dans la période de janvier et très bonne dans la période de juin.

Points d'eau	Indice de pollution « Lisec-Index » (Janvier 2007)	Indice de pollution « Lisec-Index » (Juin 2007)
OS1	8	4
OS2	6	4
OS3	6	4
OM1	3	4
OM2	10	4
OM3	5	4

**Tableau 3.16 :** Indice de pollution Lisec-Index des eaux de surface (2007).

### 3.2.5 Méthode de l' IHE (Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie 1986)

Dans cette méthode il s'agit d'autres paramètres et d'autres classes.

Paramètres Classes	Oxygène dissous % de saturation	DCO Mg-O <sub>2</sub> /l	DBO <sub>5</sub> Mg-O <sub>2</sub> /l	Ammonium NH <sub>4</sub> mg-N/l	Phosphates µg-P/l	Phosphor total µg-P/l
5	90-110	<5.0	<1.0	<0.05	<50	<50
4	70-89	5.1-10.0	1.1-3.0	0.06-0.50	51-100	51-100
3	50-69	10.1-20.0	3.1-5.0	0.51-1.00	101-200	101-200
2	30-49	20.1-50.0	5.1-10.0	1.01-2.00	201-400	201-400
1	<30	>50.0	>10.0	>2.00	>400	>400

**Tableau 3.17 :** Intervalle des classes des paramètres de pollution « méthode de l'IHE 1986 ».

Degré de pollution	Pollution organique nulle	Pollution organique Faible	Pollution organique Modérée	Pollution organique Forte	Pollution organique Très forte
L'IHE	5.0 - 4.6	4.5 - 4.0	3.9 - 3.0	2.9 - 2.0	1.9 - 1.0

**Tableau 3.18 :** Grille de degré de pollution organique calculé par la méthode de l'IHE.

#### - Eaux souterraines

D'après le tableau 3.19 les eaux de la nappe alluviale de Bouchegouf sont de pollution faible à moyenne.

Points d'eau	IHE (Janvier 2007)	IHE (Juin 2007)
PS	3.75	2.75
AZ	4.33	2.75
B4	2.66	2.75
BS4	4.25	3.25

**Tableau 3.19 :** Indice de pollution organique calculée par la méthode de l'IHE des eaux souterraines (2007).

#### - Eaux de surfaces

La méthode de l'IHE indique une forte pollution organique au niveau des eaux de l'Oued Mellah et une qualité moyenne à forte dans les eaux de l'Oued Seybouse pour la période de janvier, mais une qualité moyenne pour les deux Oueds dans la période de juin (Tableau 3.20).

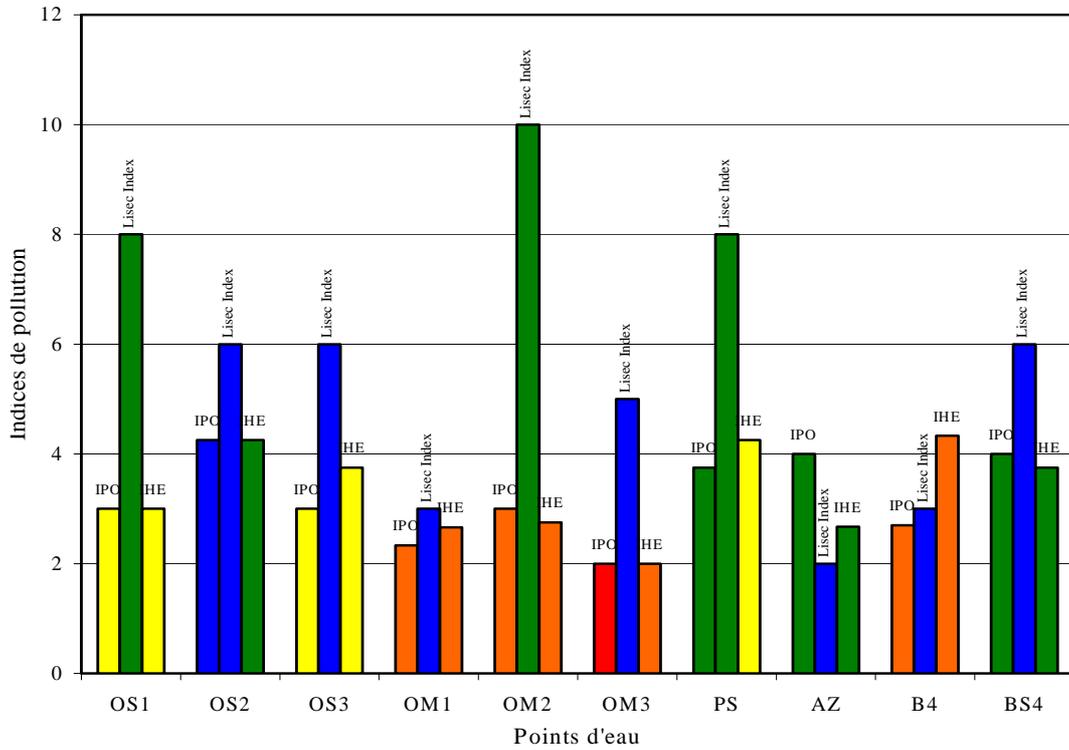
Points d'eau	IHE (Janvier 2007)	IHE (Juin 2007)
OS1	3	3
OS2	4.25	3.75
OS3	3.75	3.25
OM1	2.66	4
OM2	2.75	3.75
OM3	2	3.75

**Tableau 3.20 :** Indice de pollution organique calculée par la méthode de l'IHE des eaux de surfaces (2007).

### 3.2.6 Comparaison des indices de qualité

- Période de janvier 2007

D’après les indices calculer on remarque que les eaux souterraines sont de qualité moyenne à bonne, par contre les eaux de surfaces sont en général de moyenne qualité (Tableau 3.21 et Figure 3.5).



**Figure 3.4 :** Comparaison des trois indices de pollutions organiques calculées dans la nappe alluviale de Bouchegouf et dans l’Oued Seybouse et l’Oued Mellah (Janvier 2007).

Points d'eau	OS1	OS2	OS3	OM1	OM2	OM3	PS	AZ	B4	BS4
Qualité d'eau	Yellow	Green	Yellow	Orange	Orange	Orange	Yellow	Green	Orange	Green

**Tableau 3.21 :** La classification des paramètres organiques de la nappe alluviale de Bouchegouf, Oued Seybouse et Oued Mellah selon la qualité correspondant aux couleurs générales (Janvier 2007).

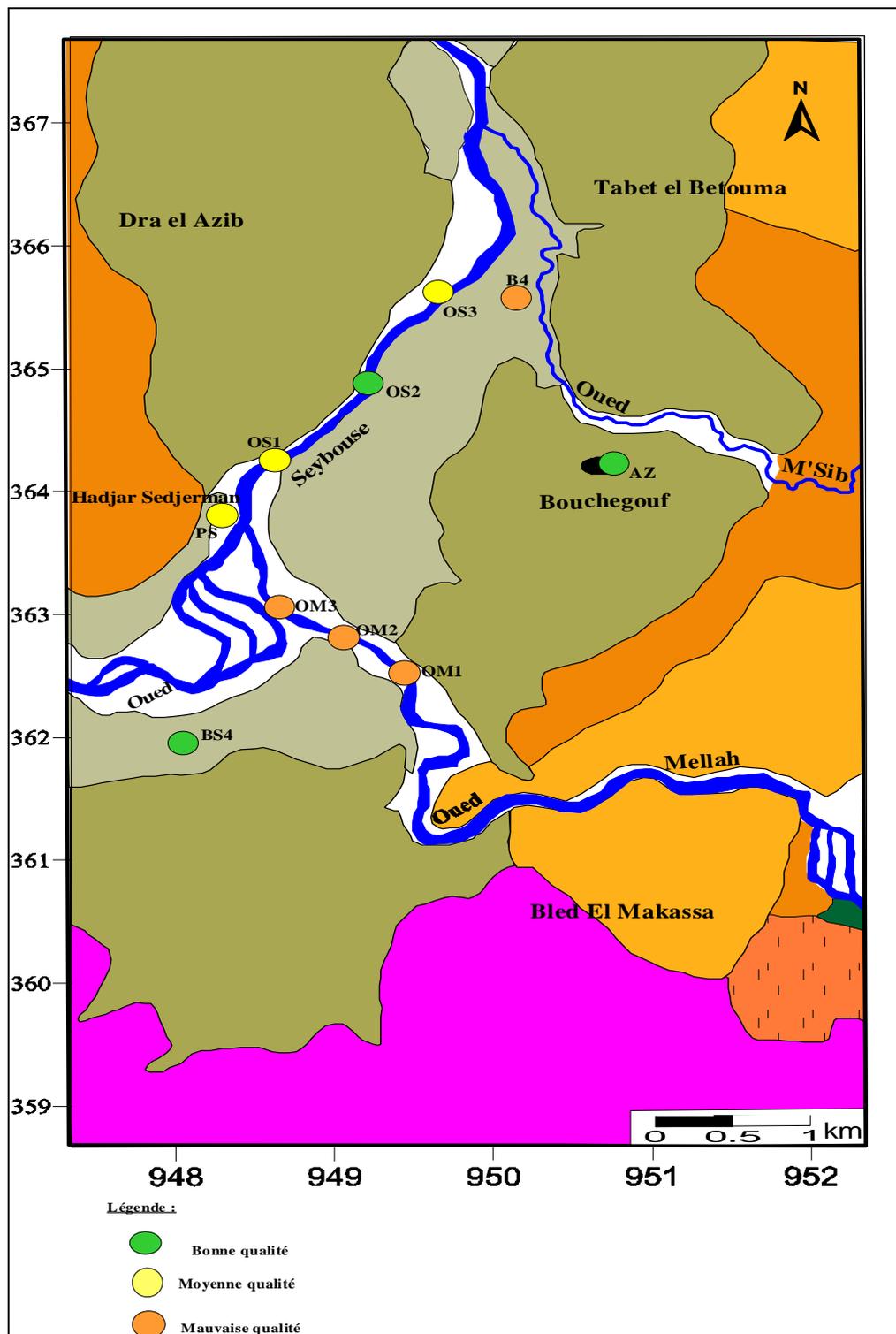
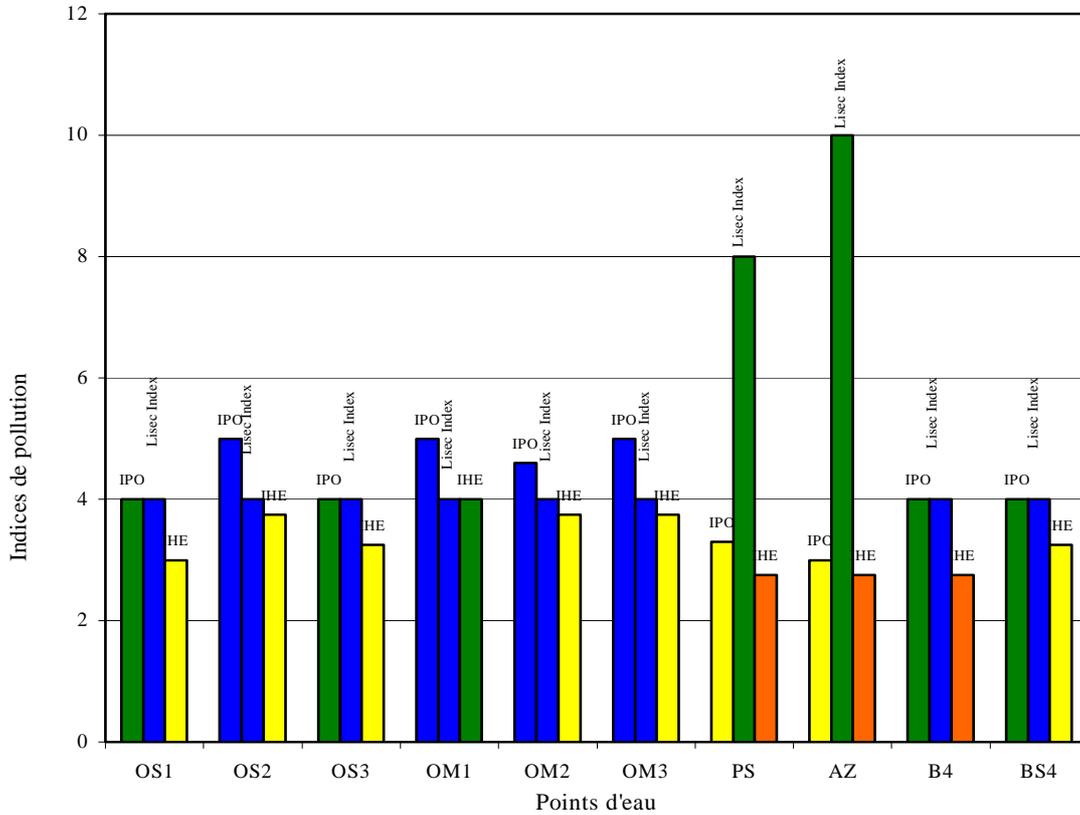


Figure 3.5 : Indice de qualité pour la période de janvier 2007.

- Périodes de juin 2007

D’après les indices calculer on remarque que les eaux souterraines sont de qualité moyenne à bonne, par contre les eaux de surfaces sont en général de bonne qualité (Tableau 3.22 et Figure 3.7)



**Figure 3.6 :** Comparaison des trois indices de pollution organique calculés dans la nappe alluviale de Bouchegouf et dans l’Oued Seybouse et l’Oued Mellah (Juin 2007)

Points d'eau	OS1	OS2	OS3	OM1	OM2	OM3	PS	AZ	B4	BS4
Qualité d'eau	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Yellow

**Tableau 3.22 :** La classification des paramètres organiques de la nappe alluviale de Bouchegouf, Oued Seybouse et Oued Mellah selon la qualité correspondant aux couleurs générales (Juin 2007).

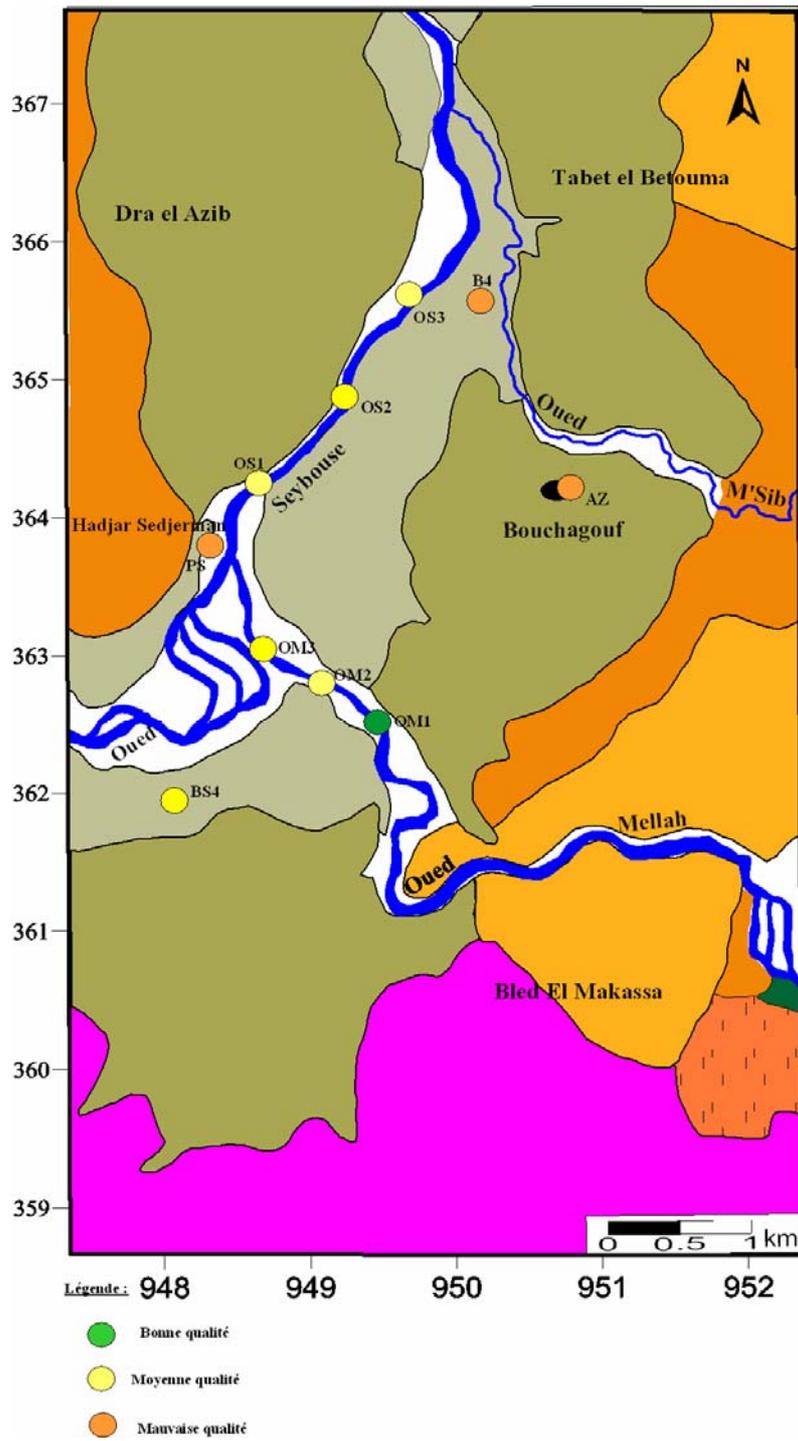


Figure 3.7 : Indice de qualité pour la période de juin 2007.

### Interprétation

L'étude qualitative réalisée a permis de caractériser le mécanisme de la pollution hydrique qui présente une influence directe sur l'environnement et la santé. Les causes essentielles sont imputées aux divers rejets dans les Oueds Seybouse et Mellah en plus de l'utilisation excessive d'engrais dans les exploitations agricoles de la région. La nature gypsifère de la partie sud de la zone d'étude joue un rôle favorable pour l'augmentation de la

salinité. La cartographie du niveau de pollution donne une idée sur la qualité déduite des eaux de la région. Ainsi, durant le mois de janvier 2007, les indices calculés indiquent que les eaux souterraines sont de qualité moyenne à bonne. Par contre, les eaux superficielles sont de moyenne qualité (Figure 3.5 et 3.6). Alternativement, en juin 2007, il est noté de manière générale, que les eaux souterraines sont aussi de qualité moyenne à bonne, alors que les eaux de surfaces sont de moyenne qualité (Figure 3.7 et 3.8).

### 3.2.7 Evolution de la pollution entre deux états d'observation (2001, 2007)

Le travail qui a été fait en 2001 par le binôme M. Chadlia et L Boumdiri s'était donné pour objectif d'évaluer l'impact des rejets de la levurerie de Bouchegouf sur l'altération de la qualité des eaux de surfaces et souterraines a été suivi par une campagne d'analyse faite en 2007. Cette dernière campagne a pour but d'évaluée le degré de pollution entre les deux période d'observation, préservant les même points de prélèvement (Figure 3.9).

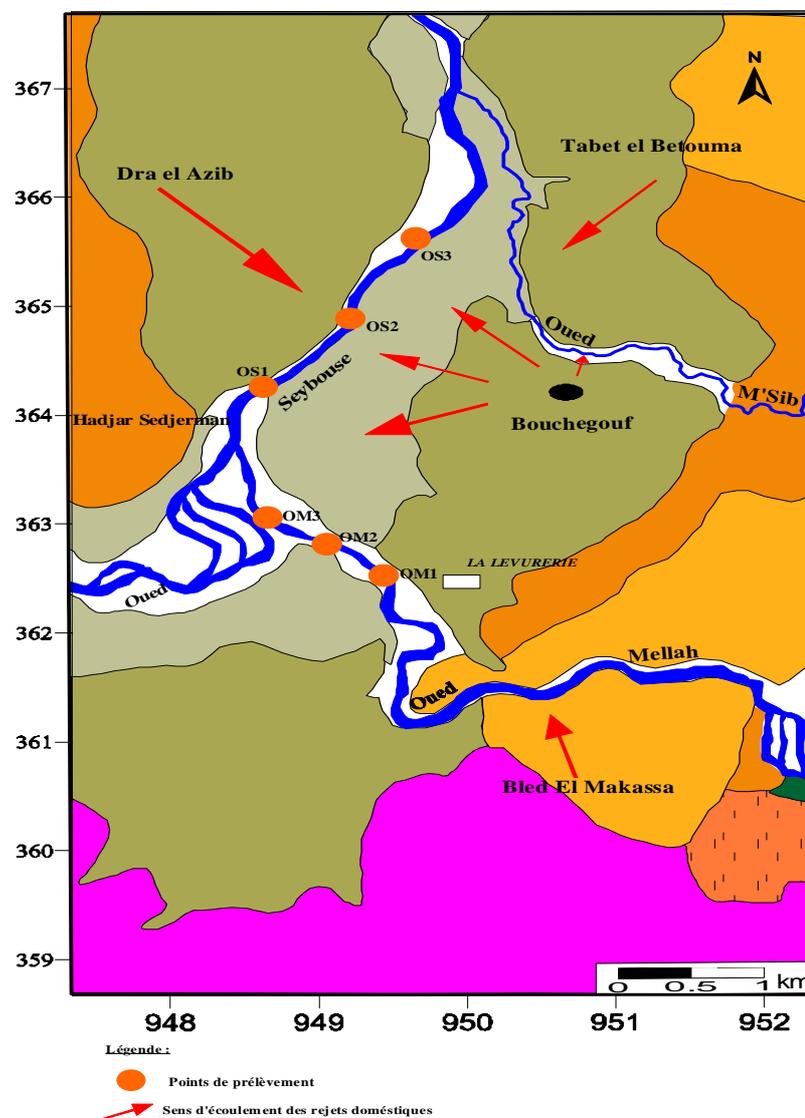


Figure 3.8 : Carte d'inventaire des points d'eaux étudiés en 2001.

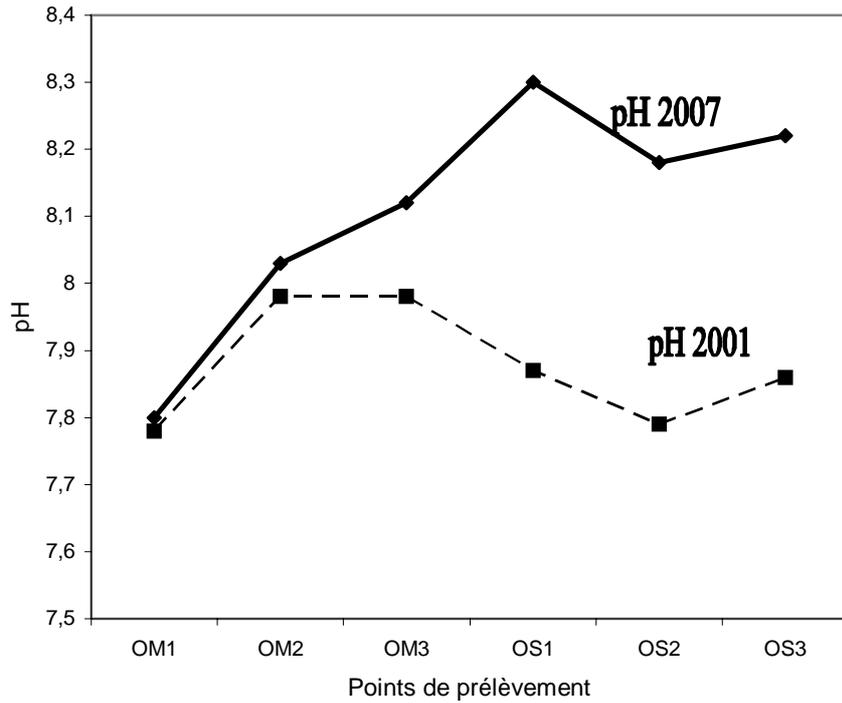


Figure 3.9 : Courbes de variation du pH dans l’Oued Seybouse et Oued Mellah (2001, 2007).

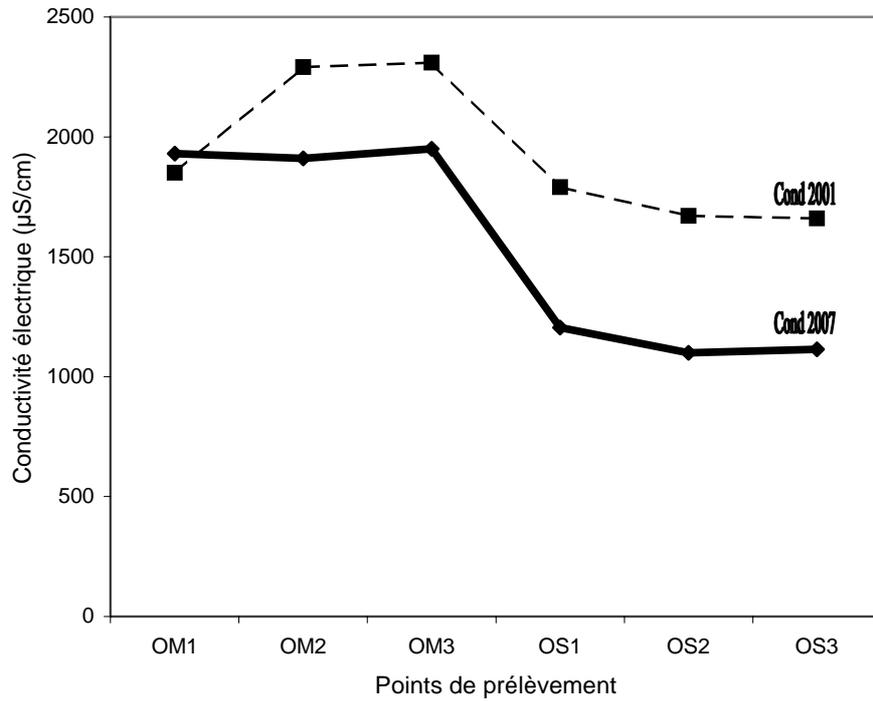
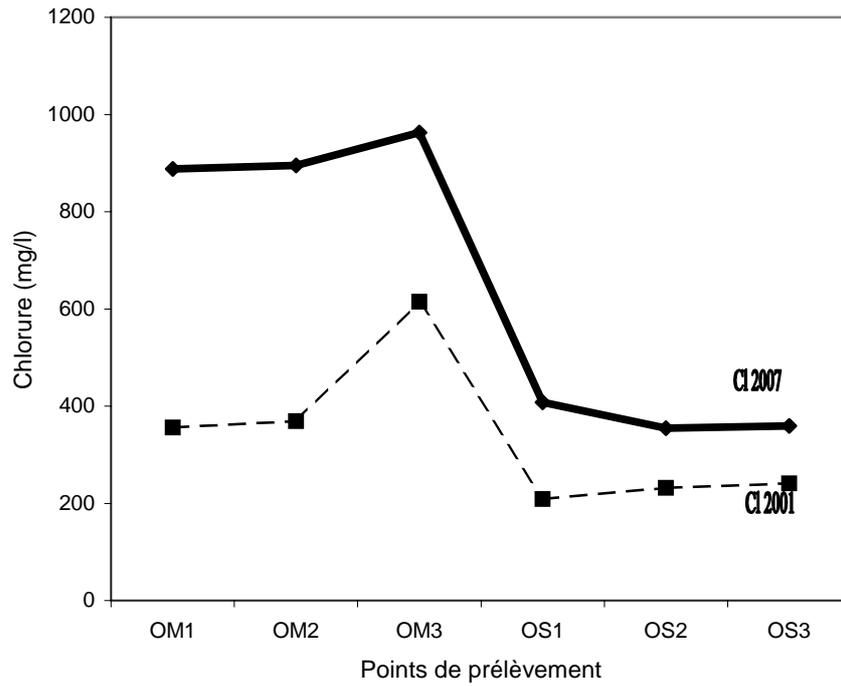
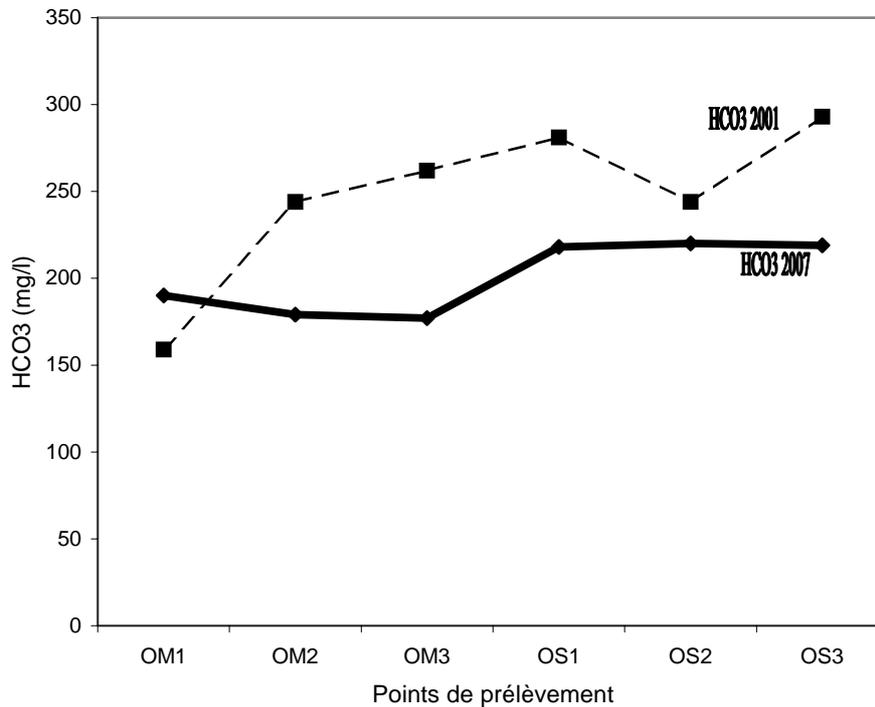


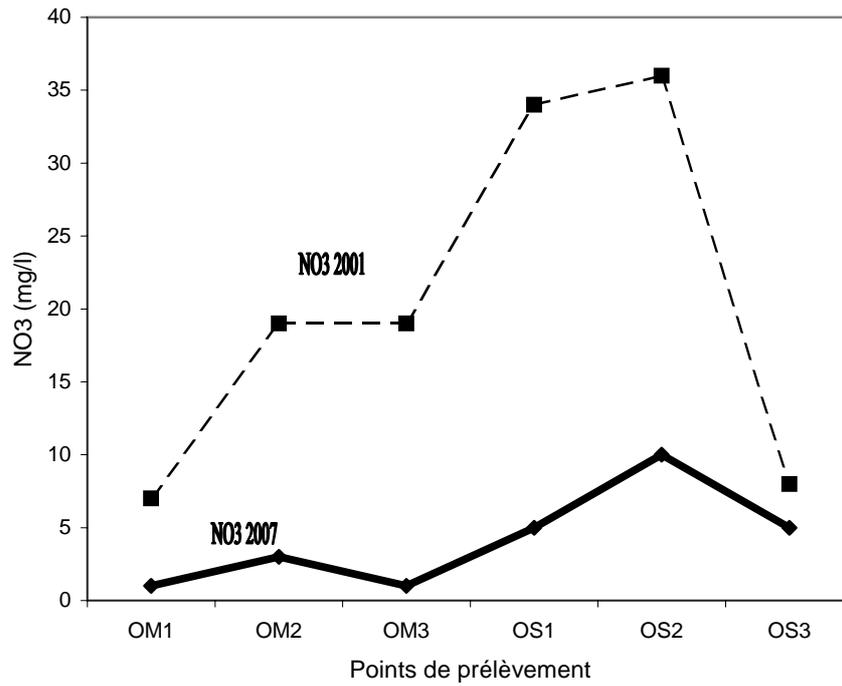
Figure 3.10 : Courbes de variation du conductivité électrique dans l’Oued Seybouse et Oued Mellah (2001, 2007).



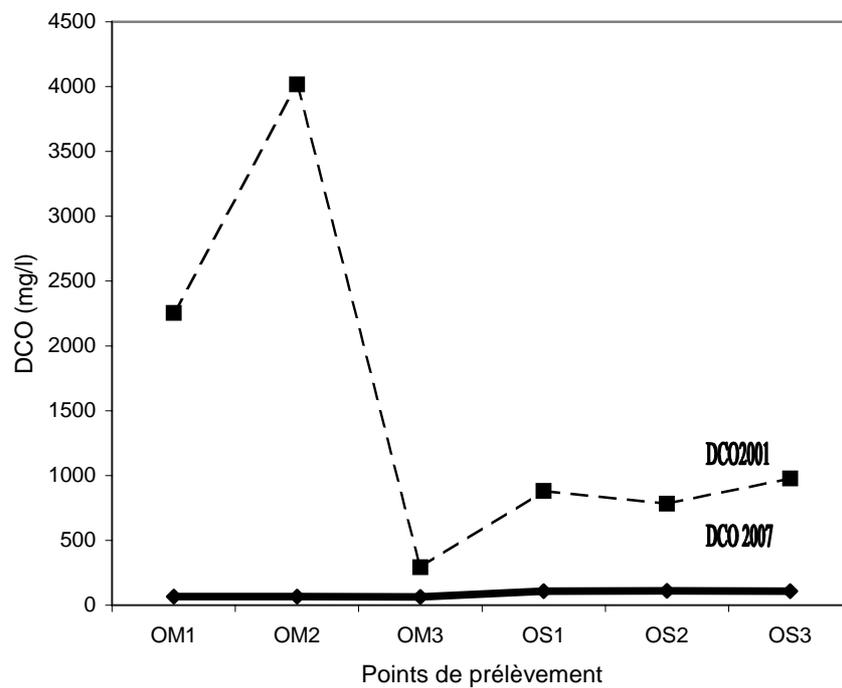
**Figure 3.11 :** Courbes de variation du chlorure dans l’Oued Seybouse et Oued Mellah (2001, 2007).



**Figure 3.12 :** Courbes de variation du HCO3 dans l’Oued Seybouse et Oued Mellah (2001, 2007).



**Figure 3.13 :** Courbes de variation du NO3 dans l’Oued Seybouse et Oued Mellah (2001, 2007).



**Figure 3.14 :** Courbes de variation du DCO dans l’Oued Seybouse et Oued Mellah (2001, 2007).

## Interprétation

Dans l'ensemble, les valeurs des éléments étudiés durant les années 2001 et 2007 ne sont pas acceptables car elles dépassent les limites normatives généralement admises. De plus la situation était plus alarmante en 2001 qu'en 2007 car les concentrations enregistrées maintenant sont largement moins élevées. Les fortes teneurs précédentes peuvent être la conséquence de plusieurs facteurs parmi lesquels, il y a :

- Les rejets polluants de la levurerie qui sont constitués essentiellement par les eaux de lavage, les eaux sanitaires ainsi que la levure rebutée et rejetée avec des eaux fortement chargées.
- Certains éléments tels que les chlorures, le calcium, le magnésium, les bicarbonates et les sulfates peuvent être d'origine géologique, c'est-à-dire provenant d'une dissolution de la roche (gypse, grès, argile), ou encore ils peuvent dériver d'un lessivage des sols.
- Enfin, les éléments nutritifs existent avec des teneurs importantes dans ces eaux et ils peuvent provenir soit des eaux de rejets de la levurerie riche en matières organiques et/ou des apports d'engrais chimiques.

D'après les courbes (Figure 3.10 jusqu'à 3.15) il apparaît que les eaux issues des rejets de la levurerie et des rejets domestiques de Bouchegouf sont chargées en matières polluantes, alors le danger de la pollution risque de s'aggraver, puisque le pouvoir auto épurateur des Oueds s'affaiblit dans le temps.

## Conclusion

L'étude hydrochimique réalisée a permis de caractériser le mécanisme de la pollution hydrique qui présente une influence directe sur l'environnement et la santé. Les causes essentielles sont imputées aux divers rejets dans les Oueds Seybouse et Mellah en plus de l'utilisation excessive des engrais en agriculture. La nature gypsifère de la partie sud de la zone d'étude joue un rôle dans l'augmentation de la salinité. La cartographie du niveau de pollution met en évidence la relation mixte qui existe entre la nappe et les deux Oueds par l'appréciation de la répartition des concentrations des polluants chimiques et leur évolution temporelle et spatiale. Il est clair que la situation risque de s'aggraver dans le temps si des stations de traitement des rejets industriels ne sont pas installées et si l'utilisation des engrais pour l'agriculture n'est pas contrôlée.

## **Chapitre 4**

# **ETUDE QUALITATIVE DES EAUX DE LA REGION DE BOUCHEGOUF**

## 4.1 INTRODUCTION

Parmi les différentes sources d'eau disponible (mer, lacs, aquifère, cours d'eau...) celle des aquifères et des cours d'eau sont les plus utilisées pour les différents usages : alimentation en eau potable, irrigation, industrie, navigation, exutoire d'eaux usées, ....etc. Les critères retenus par ces usages, pour juger de la qualité d'une eau, sont différents. Certains sont plus exigeants que d'autres sur la bactériologie et moins sur la salinité. La qualité d'une aquifère ou d'un cours d'eau est l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques, et bactériologique des eaux.

Ainsi l'étude de la gestion qualitative des eaux est importante pour bien gérer ces dernières dans le domaine qu'il convienne, soit pour l'alimentation en eau potable, alimentation en eau industriel ou pour l'irrigation des cultures.

## 4.2 POTABILITE DES EAUX

L'OMS a établi des normes de potabilité des eaux en fonction de la teneur des éléments qui la composent. Nous discutons la concentration des différents éléments et leurs conséquences sur la potabilité des eaux et leurs impact sur la santé.

### 4.2.2 pH

Le pH traduit la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, il peut avoir un effet indirect en modifiant la toxicité de certaines substances en solution qui peut prendre une forme toxique. La plus importante est de se souvenir que les plantes comme les poissons ne sont en aucune façon concernée par la valeur du pH mais ce qui est essentiel pour eux c'est la composition des substances qui donnent ce pH et ses variations. Dans la région d'étude les valeurs du pH des eaux illustrées dans la figure 4.1. Le pH des eaux des deux Oueds se trouve dans l'intervalle de la norme de potabilité mais avec des valeurs variables entre 7,80 et 8,30. par contre le pH des eaux de la plaine de Bouchegouf est relativement faible avec un  $pH < 7,90$ .

### 4.2.3 Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (mesurée en micro-Siemens par centimètre) de l'eau donne une indication sur la minéralisation globale de cette eau. Plus l'eau est minéralisée plus il y a d'ions et par conséquent plus le passage du courant sera important et la conductivité élevée. Les points d'eau de la plaine de Bouchegouf présentent une conductivité supérieure à 1300  $\mu S/cm$  (Figure 4.2) qui rend l'eau très mauvaise à l'alimentation et la même chose pour les eaux de surfaces avec une conductivité qui atteint 3300  $\mu S/cm$  au niveau de l'Oued Mellah.

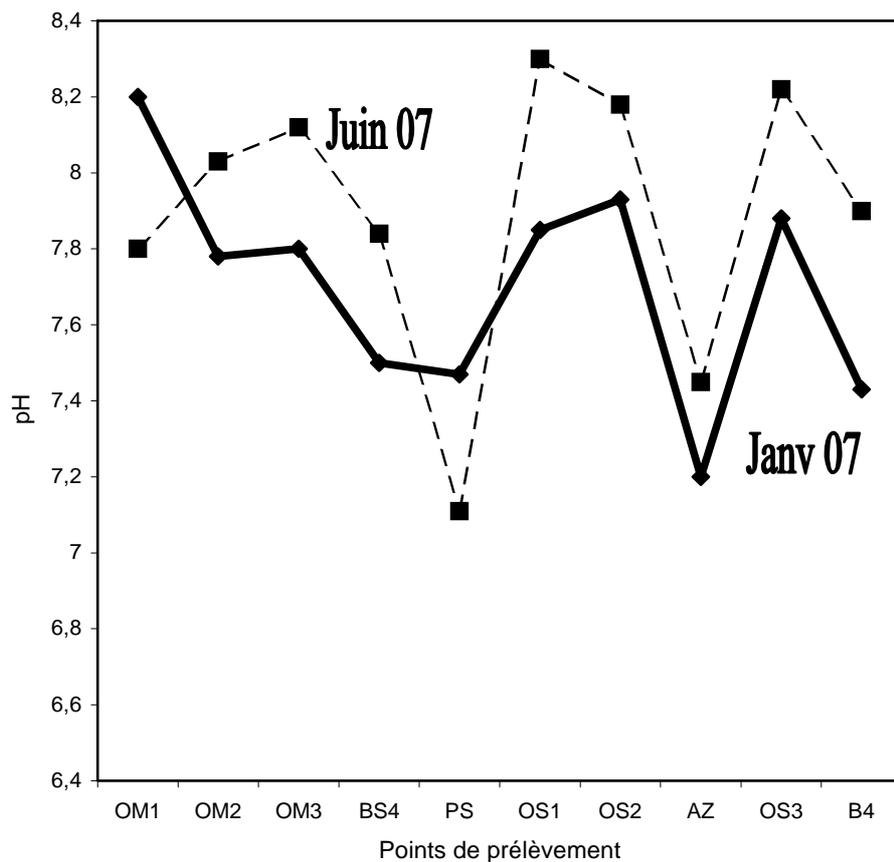


Figure 4.1 : Variation du pH dans les eaux de Bouchegouf (2007).

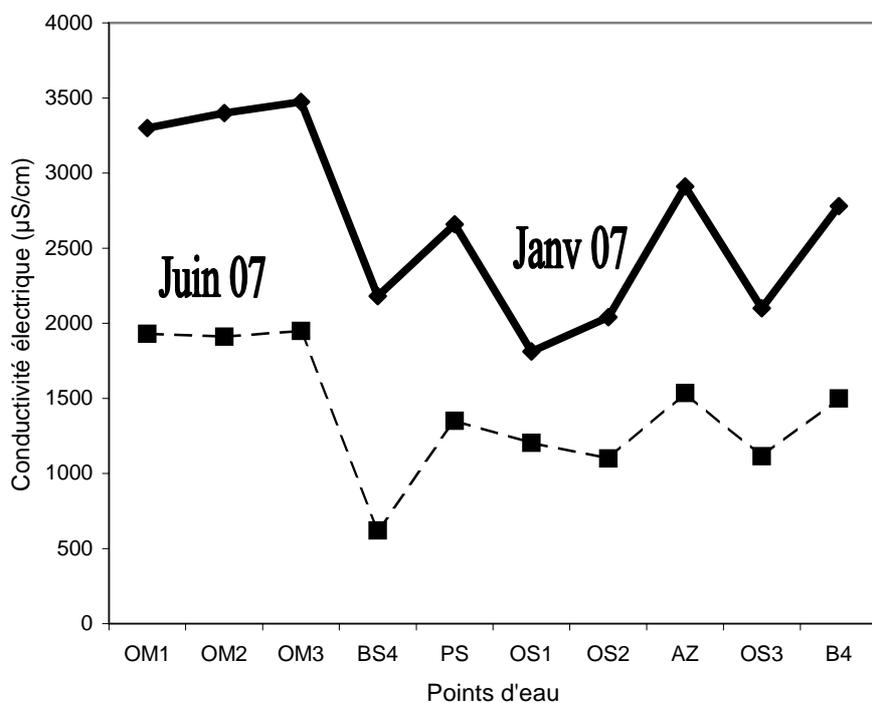


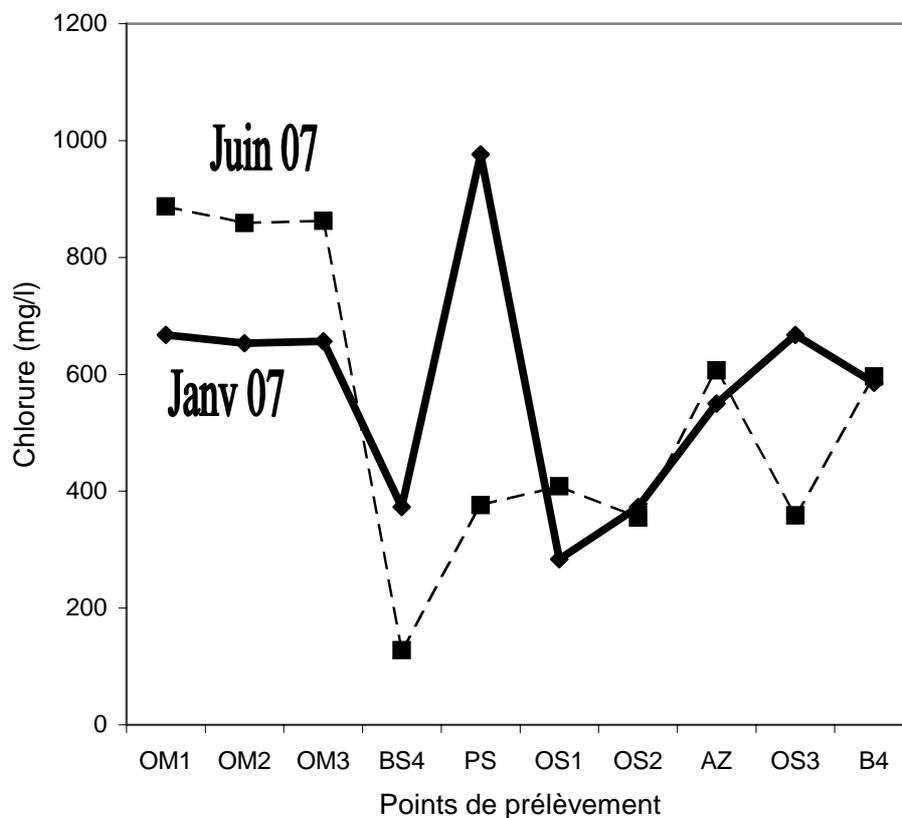
Figure 4.2 : Variation de la conductivité électrique dans les eaux de Bouchegouf (2007).

#### 4.2.4 Les Chlorures

Les Chlorures sont généralement très répons dans la nature, sous forme de sels de sodium (NaCl) de potassium (KCl) et de calcium (CaCl<sub>2</sub>), l'ion chlore est très mobile. La présence de chlorures dans les eaux naturelles peut être attribuée à la nature des terrains traversés, à la pénétration de l'eau de mer dans les régions côtières, à la pollution provenant des rejets urbains et industrielles, à la pollution par la lixiviation des décharges. Chacune de ces sources de pollution peut contaminer localement les eaux de surfaces et les eaux souterraines.

Les eaux chlorurées alcalines sont laxatives et peuvent poser des problèmes aux personnes atteintes de maladie cardiovasculaire ou rénales. Le seuil de détection gustative des chlorures dans l'eau de boisson est de l'ordre de 200 à 300 mg/l. Les teneurs des chlorures (Figure 4.3) varient entre 130 à 970 mg/l pour les eaux souterraines et superficielles de Bouchegouf qui prouve l'influence de l'Oued Mellah sur les eaux de l'Oued Seybouse et la nappe. Les eaux arrivent par cet affluent étant salées (formation triasique), contaminent Oued Seybouse qui est en relation avec la nappe (la piézométrie).

Les fortes teneurs observées à Bouchegouf sont liées aussi à la forte vitesse de l'écoulement et à la forte évapotranspiration. Les concentrations se réduisent au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'Oued Mellah mettant en évidence l'influence de ce dernier sur l'Oued Seybouse et la nappe.



**Figure 4.3 :** Variation du chlorure dans les eaux de Bouchegouf (2007).

### 4.2.5 Calcium

Le calcium est un constituant majeur du calcaire, ce qui en fait un élément très important pour la formation du squelette des poissons, de la carapace des crustacés (gammars, écrevisses..) et des mollusques (anodontes, limnées...). Le calcium joue un rôle essentiel dans la formation de la paroi cellulaire et la division de cellules dans tous les organismes vivants.

L'OMS a fixé une limite maximale admissible de la concentration en calcium à 200 mg/l mais les concentrations sont élevées au niveau des eaux souterraines et superficielles (120 à 329 mg/l) (Figure 4.4) probablement les résultats de la concentration induite par le Trias.

### 4.2.6 Magnésium

Le magnésium, atome central de la chlorophylle, est un élément essentiel de la vie plantes. Il est indispensable à la croissance des végétaux ainsi qu'au métabolisme animal dans le quel il fonctionne entre autres, comme activateur de la dégradation des sucres. D'après les résultats des analyses de Mg (Figure 4.5), on remarque que tous les échantillons ont des teneurs de Mg inférieures à 150mg/l qui est la teneur maximale admissible par l'OMS.

### 4.2.7 Les nitrates

#### 4.2.7.1 Sources des nitrates

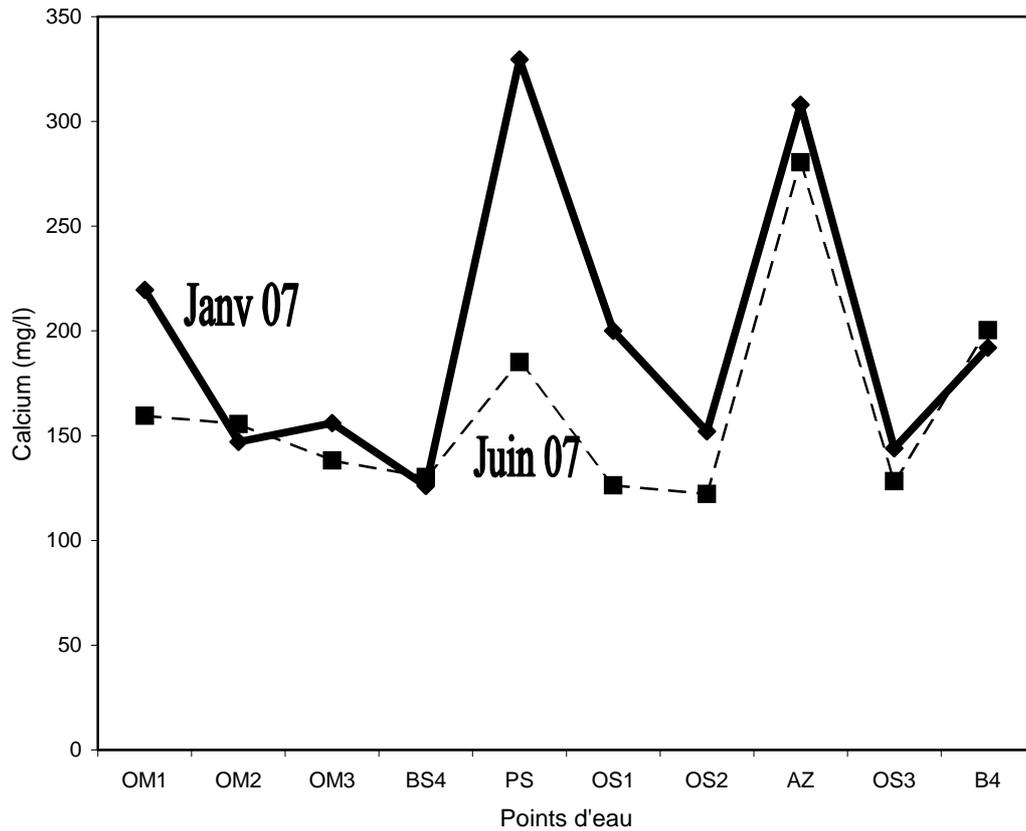
Les ions nitrates constituent la dernière étape de la dégradation bactérienne de l'azote N. Les plantes absorbent le nitrate du sol pour croître. Elles le convertissent en protéines, à leur tour nécessaires à l'alimentation et à la croissance des animaux et des hommes. Comme les déjections des animaux sont converties par les bactéries présentes dans le sol, en nitrate, le cycle est bouclé. Mais les nitrates peuvent également être présents dans l'eau de distribution suite à une pollution des réserves en eau. Le nitrate excédentaire subsistant dans le sol est rapidement lessivé pour aboutir dans l'eau du profil qui poursuit progressivement son chemin vers les nappes phréatiques plus profondes d'où elle est pompée par les sociétés de distribution d'eau potable.

L'excédent en nitrates des eaux de surface susceptibles est principalement dû à l'utilisation d'engrais azotés (déjections animales et engrais de synthèse), mais est également imputable aux rejets d'eaux usées par les ménages.

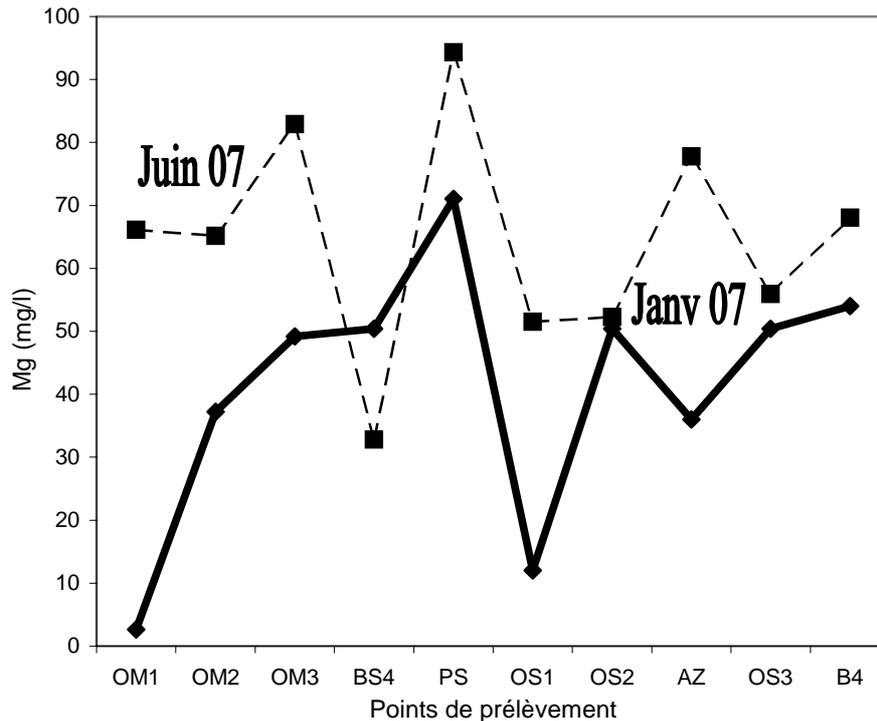
#### 4.2.7.2 Effets sur la santé

La présence de nitrates à des concentrations excessives dans les eaux peut induire, pour le consommateur, des risques de nature différentes, mais dont l'origine est toujours liée à la faculté de l'organisme humain de transformer les nitrates en nitrites. C'est pourquoi les nourrissons ainsi que les jeunes animaux, dont la faible acidité stomacale favorise cette transformation, constituent une population particulièrement sensible. Les nitrites ainsi formés, par combinaison avec l'hémoglobine du sang, réduisent les capacités de transport de l'oxygène, la méthémoglobinémie (maladie bleue des nourrissons) peut provoquer des troubles plus ou moins graves : cyanose, asphyxie musculaire....

Chez l'adulte, les concentrations de nitrates et de nitrites habituellement observées dans l'eau ne semblent pas présenter de toxicité aiguë. Along terme, en revanche, les composés N nitroso (nitrosamines et nitrosamides) issus de la combinaison des nitrates avec des amines et amides, sont suspectés de provoquer des cancers. Cette cancérogénicité a pu expérimentalement être mise en évidence chez de nombreuses espèces animales. Chez l'homme, malgré de fortes présomptions, les données toxicologiques, encore insuffisantes, ne permettent pas de tirer de conclusion définitive. L'exposition à ces composés et à leurs précurseurs doit par conséquent être maintenue aussi faible que possible.



**Figure 4.4 :** Variation du calcium dans les eaux de la région de Bouchegouf (2007).



**Figure 4.5 :** Variation du magnésium dans les eaux de Bouchegouf (2007).

#### 4.2.7.3 Nitrates dans l'eau de boisson

En général, environ 60% de l'eau de boisson provient d'eaux souterraines (nappe phréatique) et d'eau de source et pour environ 40% d'eau superficielles. Dans notre région les eaux superficielles ne pose généralement pas de problème au niveau des nitrates car tous les points de prélèvement (dans l'Oued Seybouse et dans l'Oued Mellah ont données des valeurs inférieurs à 50 mg/l (valeur indicative par l'OMS) (Figure 4.6). La nappe de Bouchegouf quant à elle peut contenir des teneurs élevées en nitrates (> 50 mg/l) du fait de l'agriculture intensive.

#### 4.2.8 Ammonium

L'ammonium des eaux peut avoir pour origine: la matières végétale des cours d'eau, la matière organique animale ou humaine les rejets industriels et les engrais. Il n'est pas directement toxique pour les communautés animales et végétales des milieux aquatiques, mais par des réactions chimiques dans l'eau.

Les résultats obtenu (Figure 4.7) dans la période de janvier 2007 sont de concentration supérieur aux normes admises par l'OMS (0.5 mg/l) par contre dans la période de juin 2007 sont inférieur aux normes a cause de la dilution, sauf au niveau de l'Oued Seybouse a cause des rejets urbaines de la ville de Bouchegouf.

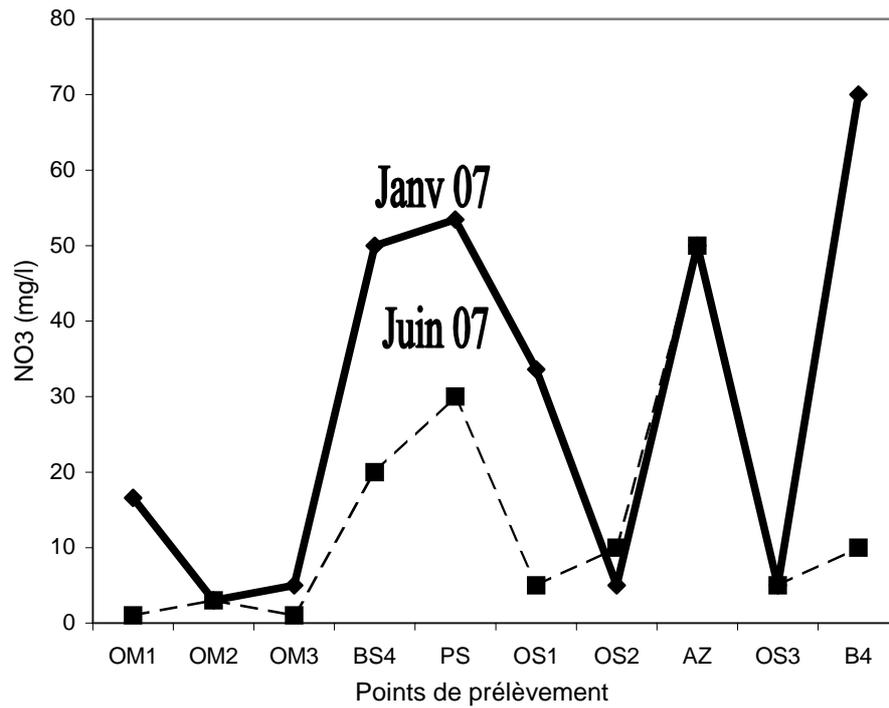


Figure 4.6 : Variation du nitrate dans les eaux de Bouchegouf (2007).

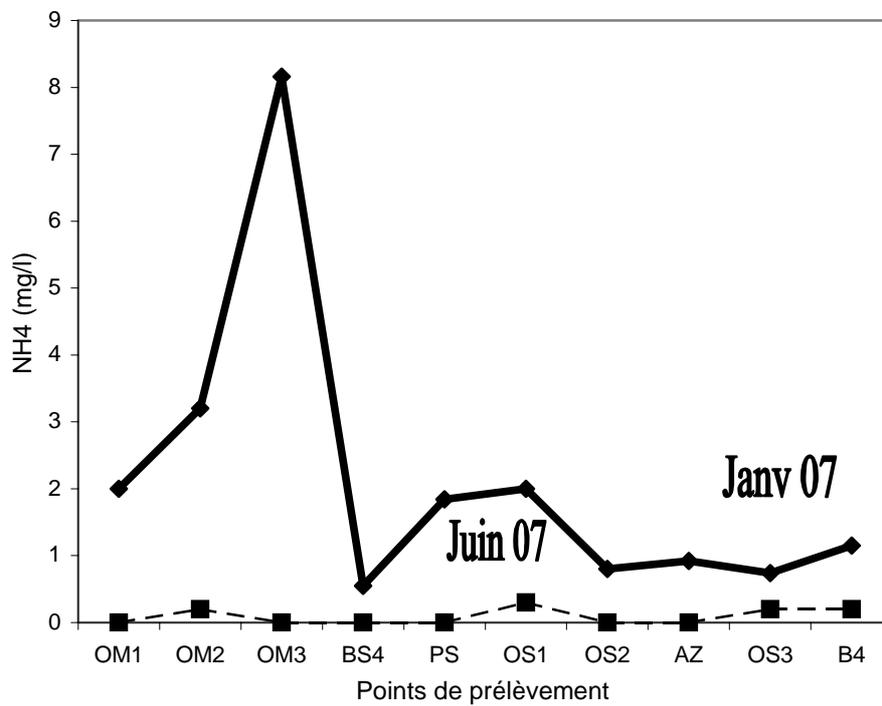


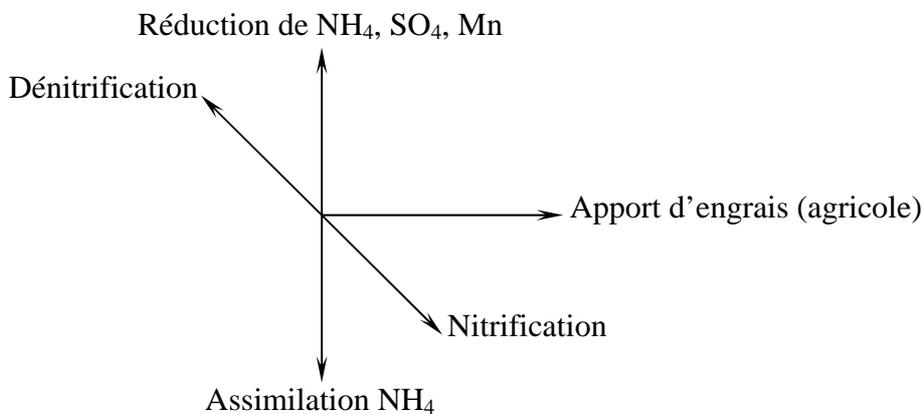
Figure 4.7 : Variation d'ammonium dans les eaux de Bouchegouf (2007).

### 4.2.9 Diagramme Ammonium Nitrates

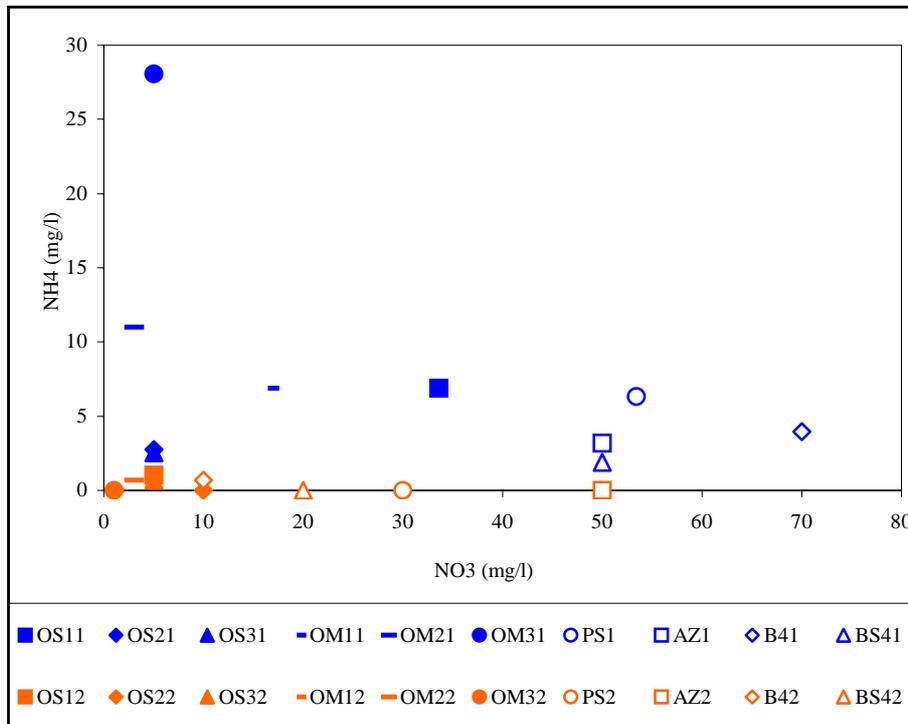
Dans chaque bassin s'accumulent des pollutions organiques issues des restes de nourriture, des excréments des poissons, des déchets des végétaux. Une grande partie de ces matières nocives est constituée de protéines qui seront détruites par des bactéries utiles. Le processus de dégradation est relativement lent et complexe. Les filtres biologiques sous l'action des bactéries aérobies (qui travaille en présence d'O<sub>2</sub>) produisent un nettoyage par oxydation. Le cycle de l'azote est le suivant :

Protéines → peptides → acides aminés → ammoniums → nitrites → nitrates.

L'établissement du diagramme Ammonium Nitrates permis de savoir la cause qui a fait d'augmenter ou abaisser la concentration d'ammonium ou du nitrate dans l'eau.



**Figure 4.8 :** Schémas des différentes formes de pollution suivant l'orientation de l'axe dans le diagramme Ammonium Nitrates.



**Figure 4.9 :** Diagramme Ammonium Nitrates des points prélevés a Bouchegouf (2007).

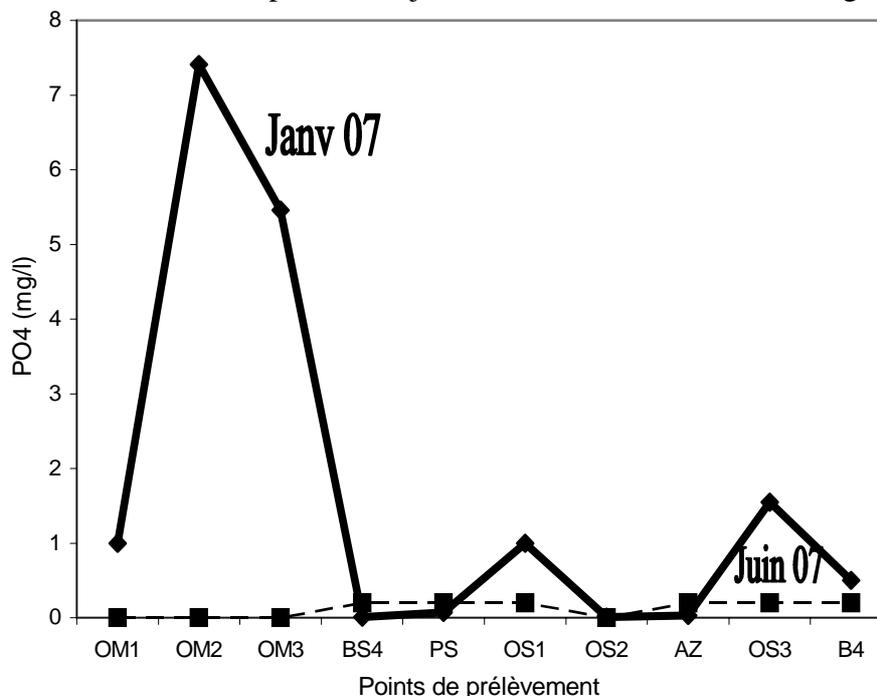
Le déplacement des points d'observation dans la figure 4.9 se fait en général dans le sens de la disparition d'Ammonium. Ce dernier est capté par les plantes et peut donner l'azote gazeux rejoignant l'atmosphère.

#### 4.2.10 Phosphates

On peut trouver le phosphore dans l'environnement en général sous forme de phosphate. Ce dernier est indispensable aux animaux comme aux plantes. Il est un des éléments nécessaires à la formation du squelette. Les poissons couvrent leurs besoins en phosphore par la nourriture, les plantes se contentent de celui qui est présent dans l'eau. Des quantités minimales suffisent car les végétaux sont capables d'enrichir jusqu'à 1000 fois le phosphore à l'intérieur de leurs cellules.

Les phosphates sont des substances importantes aussi pour le corps humain car ils sont un composant de l'ADN et ils participent à la distribution de l'énergie. Donc les phosphates ont beaucoup d'effets sur les organismes, car l'homme a modifié radicalement les réserves naturelles de phosphates par l'addition d'engrais dans le sol et en utilisant des détergents contenant des phosphates. On ajoute aussi des phosphates à certains aliments tels que le fromage, les saucisses et le jambon et aussi par l'exploitation minière. Lors du traitement de l'eau, les phosphates ne sont en général pas éliminés convenablement alors le problème grave si ces eaux ne sont pas traitées.

Trop de phosphates peut provoquer des problèmes de santé, tel que de l'ostéoporose ou des problèmes aux reins. On peut aussi avoir des carences en phosphates qui sont dues à une utilisation intensive de médicaments. Dans notre région les eaux souterraines ont des concentrations inférieures à 0.5 mg/l (norme OMS) (Figure 4.10) pour les deux mois janvier et juin 2007. Par contre les eaux de surfaces ont des concentrations élevées dans la période de janvier 2007 et se réduisent dans la période de juin 2007 du à l'utilisation des engrais.



**Figure 4.10 :** Variation du phosphate dans les eaux de Bouchegouf (2007).

### 4.2.11 DCO

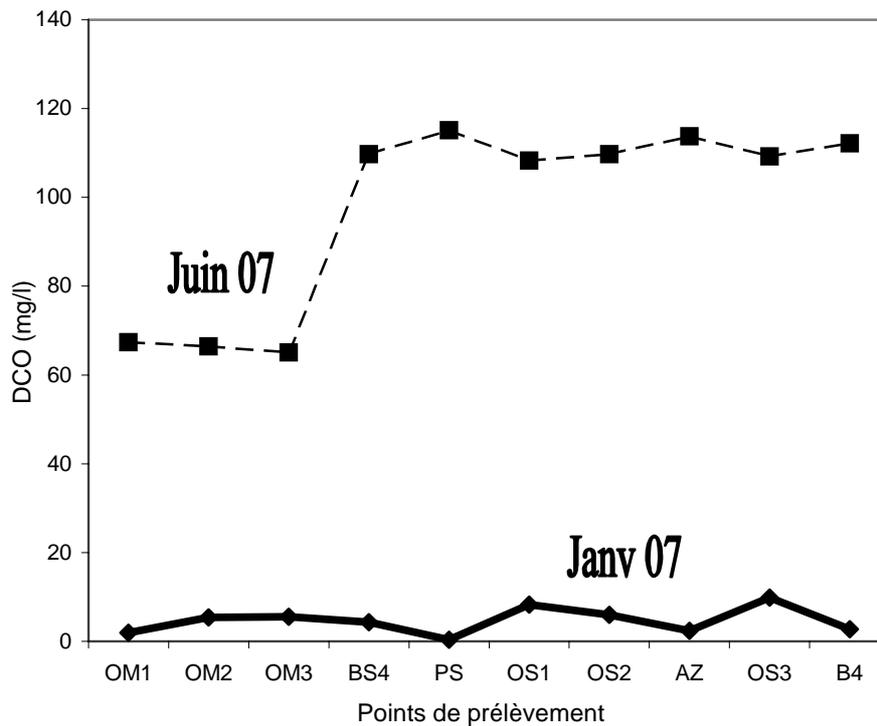
La demande chimique en oxygène ou DCO constitue l'une des principales méthodes de détermination de la pollution organique globale d'une eau résiduaire ou naturelle. Donc c'est la quantité d'oxygène totale consommée par les matières oxydables. On ce qui concerne notre région le DCO figuré (Figure 4.11) été faible dans la période de janvier 2007 pour les eaux de surface et les eaux souterraines mais dans la période de juin 2007 est augmenté a cause de l'enrichissement du milieu par la matière organique.

### 4.2.12 DBO<sub>5</sub>

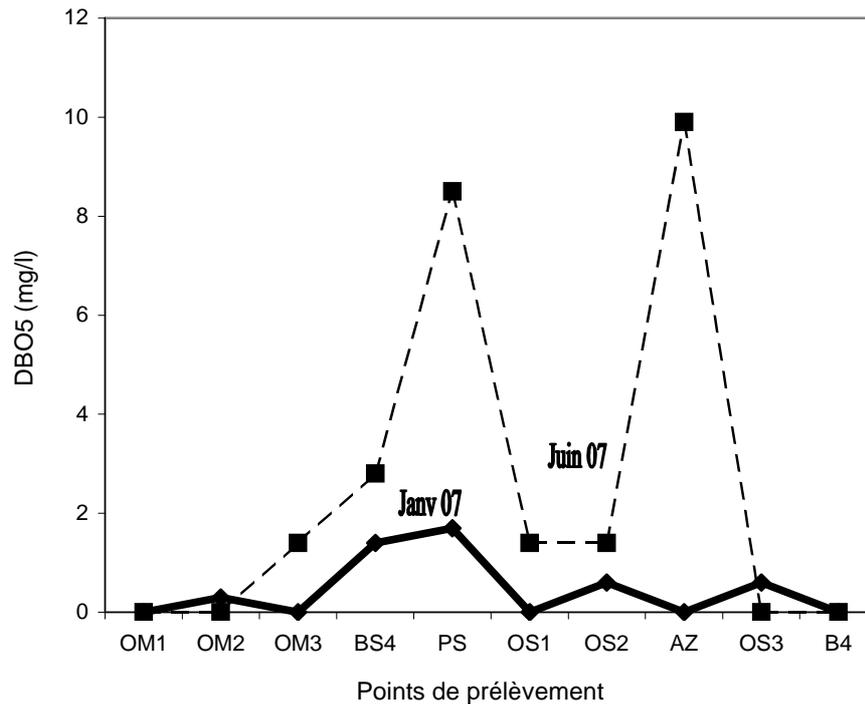
La demande biochimique en oxygène exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro organisme. Pour une eau naturelle pure et vive comme les eaux souterraines le DBO<sub>5</sub> doit être inférieur à 5 mg/l d'O<sub>2</sub> dans la plaine de Bouchegouf ce n'est pas le cas car les concentrations sont supérieurs à 5 dans quelque points.

Les eaux des rivières légèrement polluées ont un DBO<sub>5</sub> entre 1 et 3 mg/l d'O<sub>2</sub> qui est le cas pour les eaux de l'Oued Seybouse et Oued Mellah.

Mais on observe que dans le mois de janvier 2007 le DBO<sub>5</sub> est moins faible que dans le mois de juin 2007 eaux (Figure 4.12).



**Figure 4.11** : Variation du DCO dans les eaux de Bouchegouf (2007).



**Figure 4.12 :** Variation du DBO<sub>5</sub> dans les eaux de Bouchegouf (2007).

Les résultats des eaux des deux Oueds comparativement aux normes de potabilité (Figure 4.1 à 4.12) montrent que ces eaux sont imbuables pour l'organisation humaine ne sont pour les autres espèces. Par contre les eaux de la plaine de Bouchegouf sont buvables avec un traitement avant l'utilisation à cause des concentrations élevées en chlorure, nitrates, ammonium et la salinité.

## 4.2.13 Eutrophisation

### 4.2.13.1 Introduction

L'eutrophisation d'un milieu aquatique tel que cours d'eau ou mares, désigne simplement son caractère eutrophe (du grec eu : « bien, vrai » et trophien : « nourrir ») c'est à dire la richesse en éléments nutritifs, sans caractère négatif. Un milieu aquatique pauvre en éléments nutritifs est dit oligotrophe, dans le cas intermédiaire, on qualifie le milieu de mésotrophe.

L'eutrophisation est aussi une des étapes du processus naturel d'atterrissement qui transforme lentement les lacs peu profonds en marais, puis en prairie ou en mégaphorbiaies par la présence de nutriments artificiels, par la proximité d'arbres (feuilles mortes), mais aussi par l'absence de faune se nourrissant dans l'eau tout en exportant les nutriments.

### 4.2.13.2 Les causes

L'eutrophisation désigne usuellement le déséquilibre qui résulte d'un apport excessif de nutriments : azote (des nitrates par exemple), carbone (carbonates, matières organiques....) et phosphore notamment. Le phosphore étant généralement le facteur limitant dans les

milieux aquatiques naturels, ce sont ses composés, en particulier les phosphates (orthophosphates, polyphosphates) qui permettent l'emballement du processus. Ce milieu déséquilibré, dystrophe, devient alors hypertrophe. Ce processus peut résulter des épandages agricoles (engrais riche en azote et phosphore) ainsi que l'utilisation de produits lessiviels riches en polyphosphates, sur le bassin versant du lacs ou de la rivière.

L'accroissement des rejets industriels ou urbains ou agricole excessivement riches en engrais( nitrates, ammonium), la présence de polyphosphates dans les lessives font de l'eutrophisation un processus fréquent, atteignant même les zone océaniques( zone morte), où sont régulièrement constaté de développements d'algues toxiques, telles Dynophysis.

Dans l'acception courante, l'eutrophisation est donc souvent synonyme de pollution, bien que celle-ci puisse revêtir bien d'autre aspects : contamination biologique (bactéries, parasites...) chimique (pesticides, métaux, solvants..) ou physique (chaleur, radionucléides...). La pêche est un cause d'eutrophisation lorsque les rempoissonnement sont excessifs et que des boules d'amorce sont jetées dans des étangs fermés, canaux ou cours d'eau à courant lent.

#### **4.2.13.3 Les milieux touchés**

L'eutrophisation peut atteindre les eaux douces, soumaîtres et salées, les milieux marin comme les milieux continentaux, les eaux profondes comme les eaux superficielles, et en particulier :

Les eaux dormantes (mares riches en feuilles mortes ou collectant usées, des eaux polluées par des engrais, étangs, lacs, lagunes.)

Les cours d'eau ayant un débit faible ou qui accueillent des effluents trop riches ou en trop grandes quantités issus par exemple, d'exploitations agricoles, humaines ou industrielles. Les estuaires, golfes, baies et autres étendues semi fermées.

#### **4.2.13.4 Les processus**

L'eutrophisation peut se composer en quelques étapes :

- Des nutriments, notamment les phosphates et les nitrates issus de l'agriculture, sont déversés en grande quantité dans le milieu aquatique.
- Les eaux ainsi enrichies permettent la multiplication rapide des végétaux aquatiques, en particulier la prolifération d'algues.
- Le stock d'oxygène étant très limité dans l'eau (environ 30 fois moins que dans le même volume d'air), celui-ci est rapidement épuisé lors des périodes pendant lesquelles la respiration des organismes et la décomposition des matières produites excède la production par photosynthèse et échanges possibles avec l'oxygène atmosphérique.
- Le développement éventuel de plantes flottantes, telles les lentilles d'eau (*Lemna* sp), empêche le passage de la lumière donc la photosynthèse dans les couches d'eau inférieures, et gêne également les échanges avec l'atmosphère le milieu devient alors facilement hypoxique puis anoxique, favorable à l'apparition de composés réducteurs et de gaz délétères (mercaptans, méthane). Il peut en résulter la mort d'organismes aquatiques aérobies : insectes,

crustacées, poissons, mais aussi végétaux, dont la décomposition, consommatrice d'oxygène, amplifie le déséquilibre.

#### 4.2.13.5 Les effets

Les inconvénients principaux de l'eutrophisation sont la diminution de la biodiversité et de la qualité de l'eau en tant que source. Elle a des effets négatifs sur le tourisme (avec souvent comme conséquences visibles la perte de transparence, développement d'odeurs et envasement), qui sont des indices de problèmes :

- Augmentation de la biomasse algale
- Augmentation de la biomasse du zooplancton gélatineux.
- Dégradation des qualités organoleptique de l'eau (aspect, couleur, odeur, saveur..).
- Envasement plus rapide, et apparition de vase putride, sombre et malodorante.
- Développement de phytoplancton toxique.
- Développement de pathogènes par diminution de la pénétration des UV qui ont pouvoir désinfectant.
- Diminution de l'indice biotique.
- Diminution de la biodiversité (animale et végétale).
- Diminution du rendement de la pêche.

Et si un stade dystrophie est atteint, mort des organismes supérieurs (macrophytes, insectes, cnidaires, crustacés, mollusques, poisson, etc.). Parfois les algues peuvent boucher les prises d'eau, les filtres, entraver le fonctionnement d'écluses voire du moteur de petits bateaux pour les algues filamenteuses.

#### 4.2.13.6 Résultats

D'après les résultats obtenu de la campagne de janvier 2007 et les graphes illustrant ces résultats, deux familles sont dissociées :

- Eaux souterraines (A)
- Eaux de surfaces (B)

Pour la figure 4.13 (A) indique des eaux riches en nitrates impliquant une contamination par la pollution de surface (engrais), malgré que Eh est négative. Alternativement (B) indique une eutrophisation des deux Oueds avec une concentration des nitrates faibles et un Eh aussi négatif.

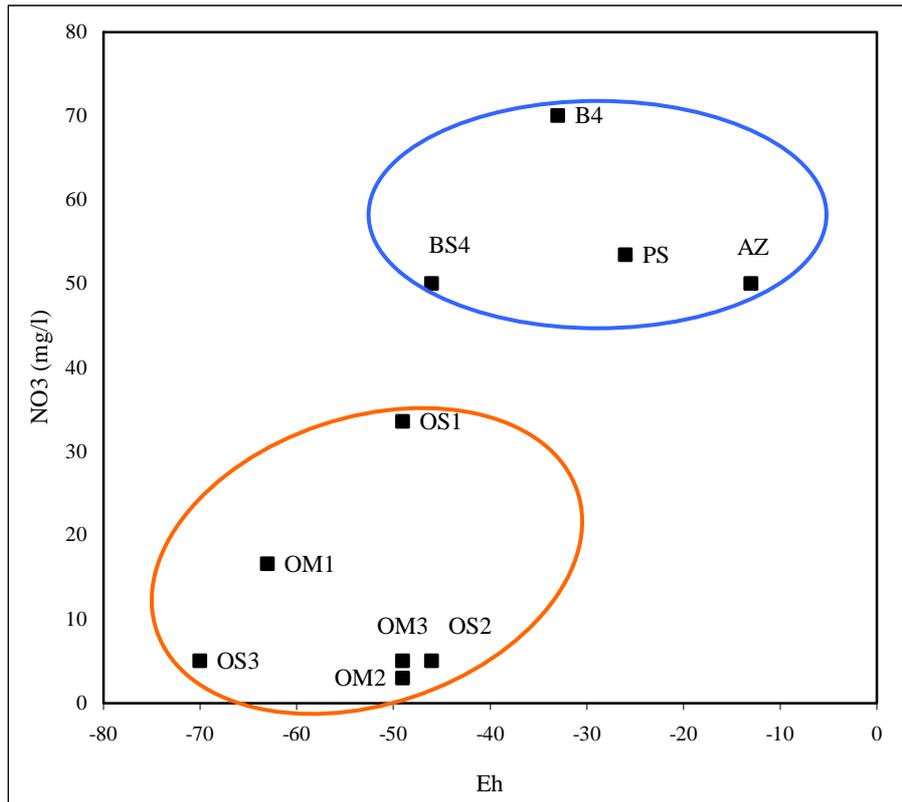


Figure 4.13 : Variation du Eh en fonction de NO<sub>3</sub> (Janvier 2007).

Le DCO et le DBO<sub>5</sub> illustrés dans les figures 4.14 et 4.15 sont faibles pour les deux familles (A) et (B) implique une eutrophisation de la famille (B) avec un Eh négatif.

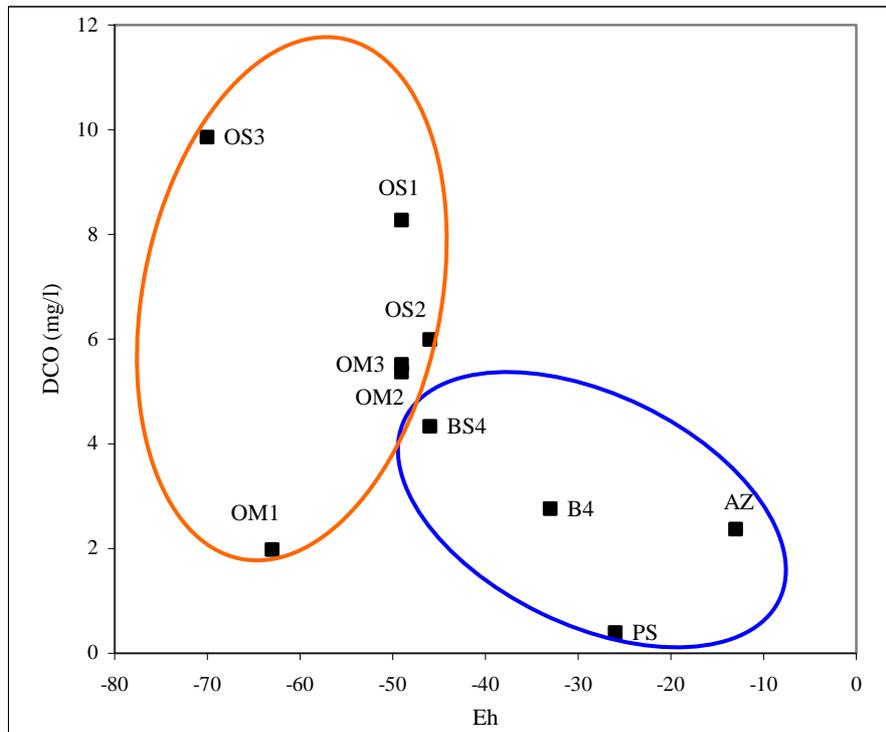
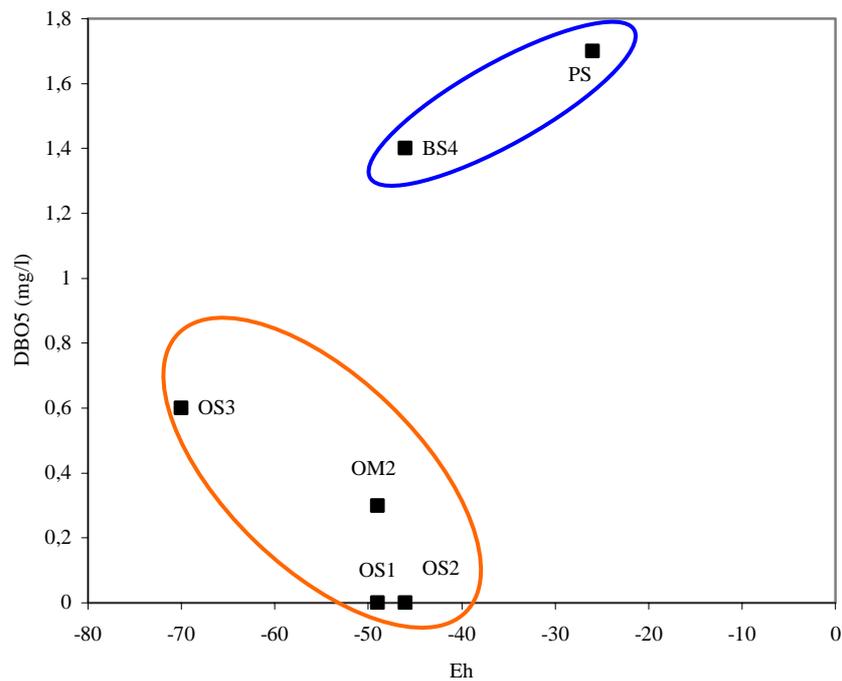
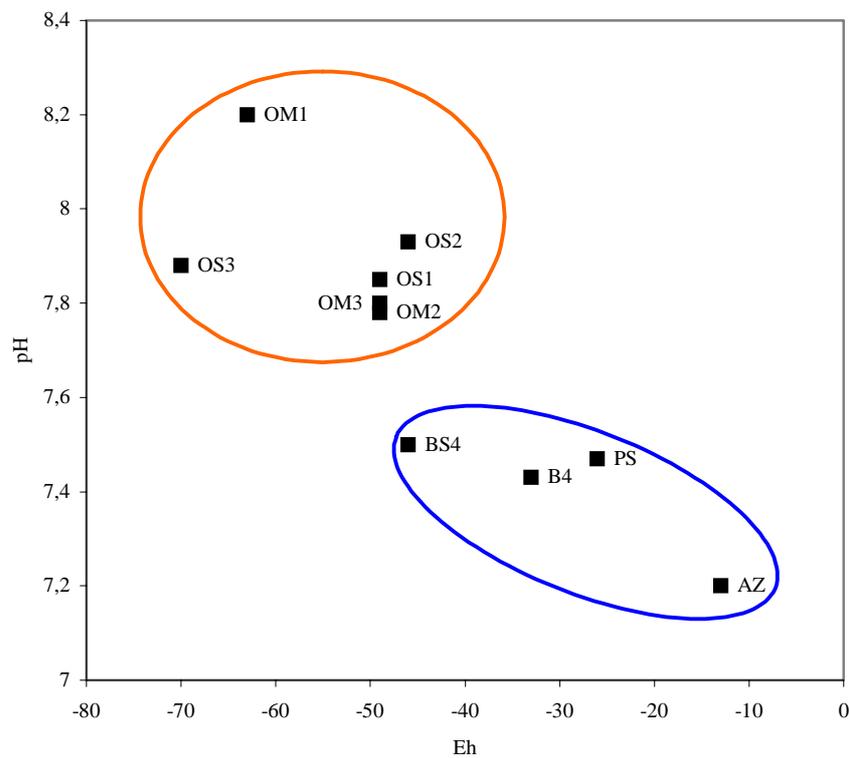


Figure 4.14 : Variation du Eh en fonction de DCO (Janvier 2007).



**Figure 4.15 :** Variation du Eh en fonction de DBO<sub>5</sub> (Janvier 2007).



**Figure 4.16 :** Variation du Eh en fonction de pH (Janvier 2007).

Les deux familles semblent réductrices et basiques avec un  $Eh < 0$  et un  $pH > 7$ , mais les eaux de surfaces (B) sont plus réductrices que les eaux souterraines (A) (Figure 4.16)

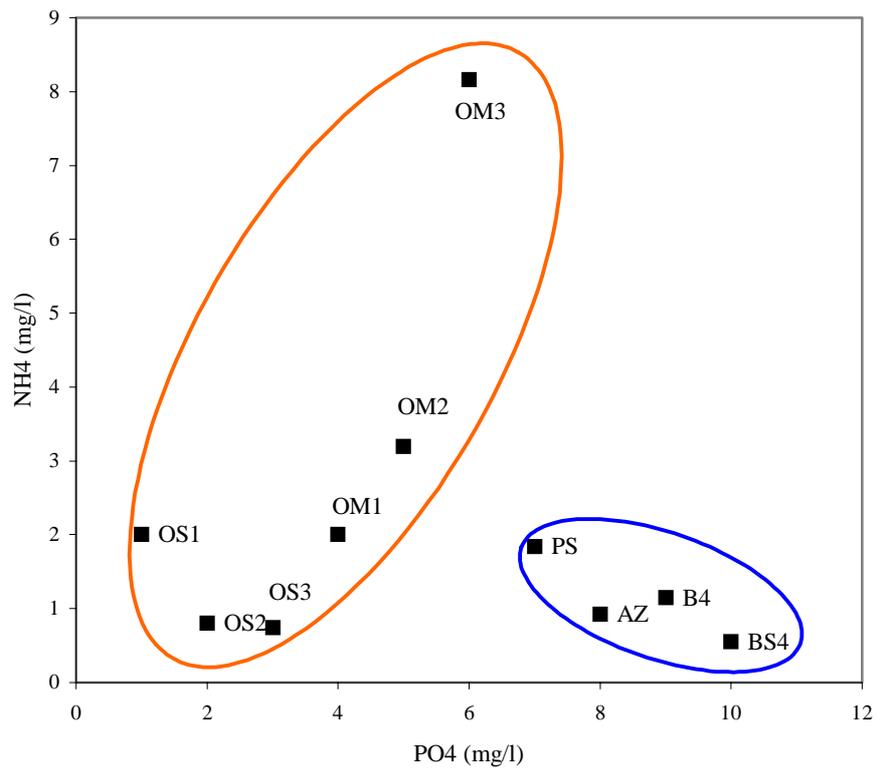


Figure 4.17 : Variation du NH<sub>4</sub> en fonction de PO<sub>4</sub> (Janvier 2007).

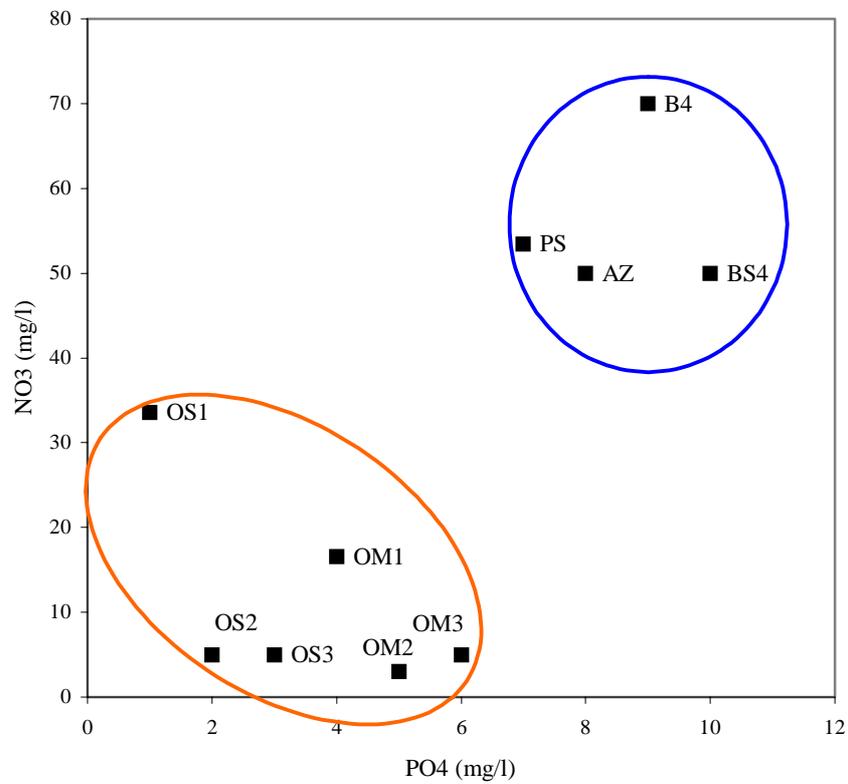


Figure 4.18 : Variation du NO<sub>3</sub> en fonction de PO<sub>4</sub> (Janvier 2007).

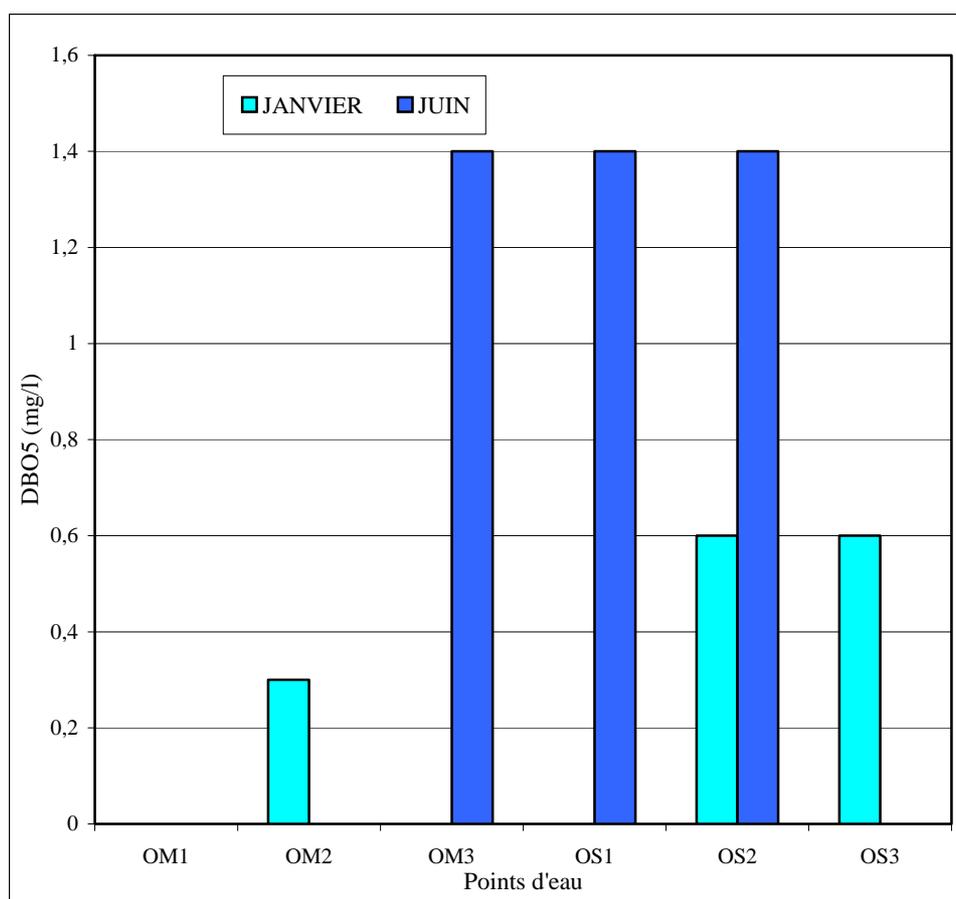
D'après la figure 4.17 et 4.18 deux familles se distinguent :

- La première (A) est polluée par l'enrichissement des eaux avec les  $\text{NO}_3$  et  $\text{PO}_4$  due aux apports d'engrais.
- La seconde (B) est polluée par l'appauvrissement en  $\text{NO}_3$  et  $\text{PO}_4$  et l'enrichissement en  $\text{NH}_4$  impliquant une eutrophisation du milieu.

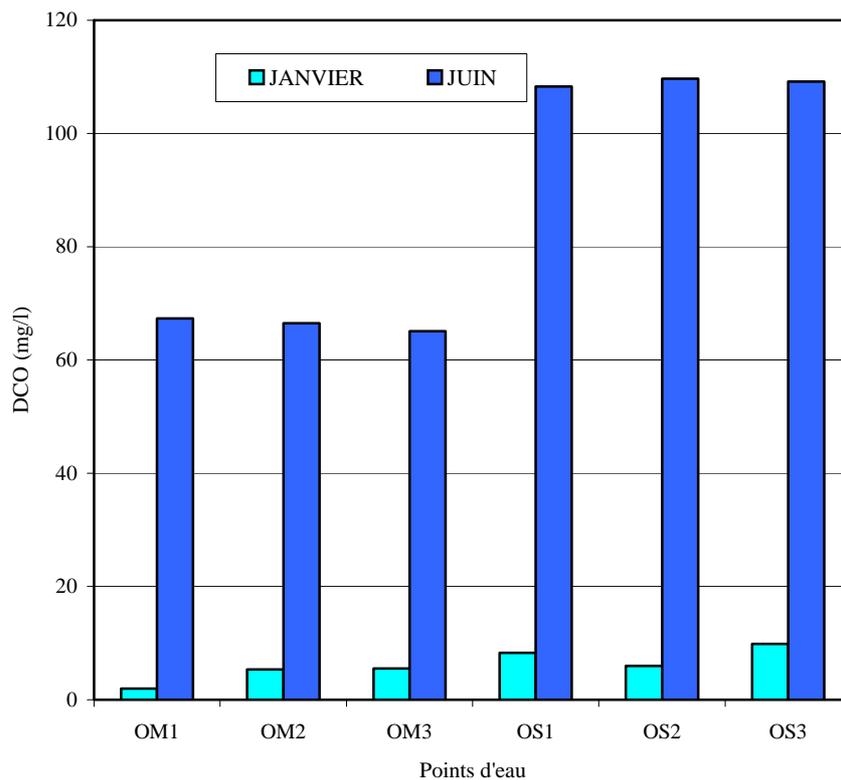
**Note** : les cercles en bleu concernent les points d'eau prélevés au niveau de la nappe (A) et les cercles en orange concernent les points d'eau prélevés des deux Oueds (B).

#### - Variation des concentrations des polluants dans l'espace et dans le temps

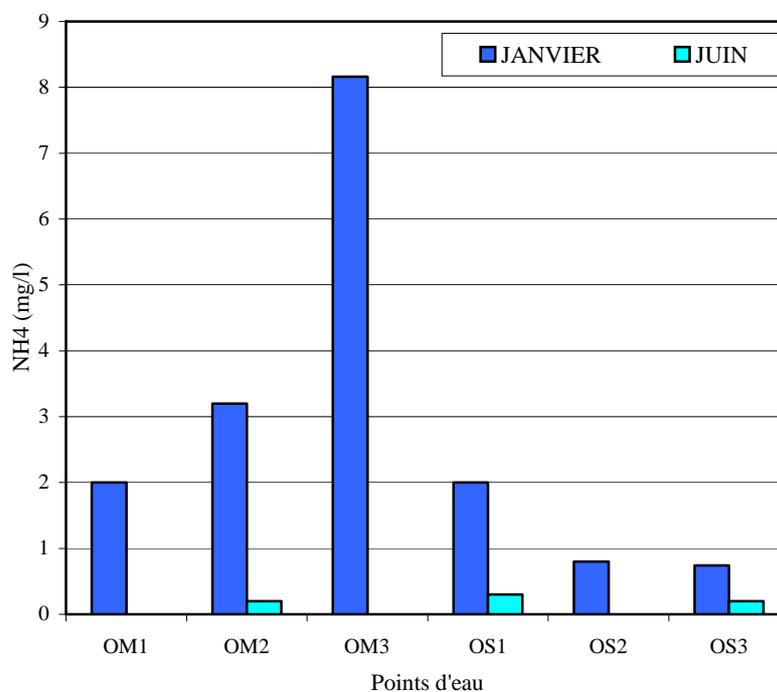
Comme le sens d'écoulement dans les Oueds prend un trajet sinueux de l'amont (Oued Mellah) vers l'aval (Oued Seybouse). Les figures de 4.19 à 4.23 indiquent la variation des concentrations des polluants dans l'espace et les effets négatifs des rejets sur la qualité des Oueds avec l'autoépuration de ces derniers.



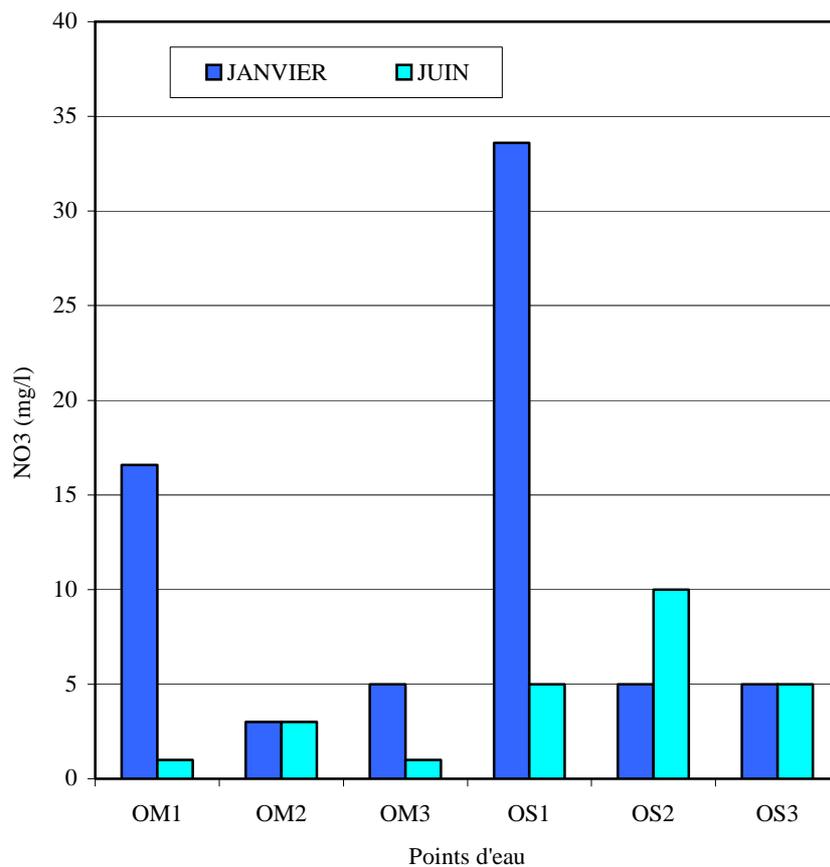
**Figure 4.19** : Variation de la  $\text{DBO}_5$  dans les deux Oueds Seybouse et Mellah de l'amont vers l'aval (2007).



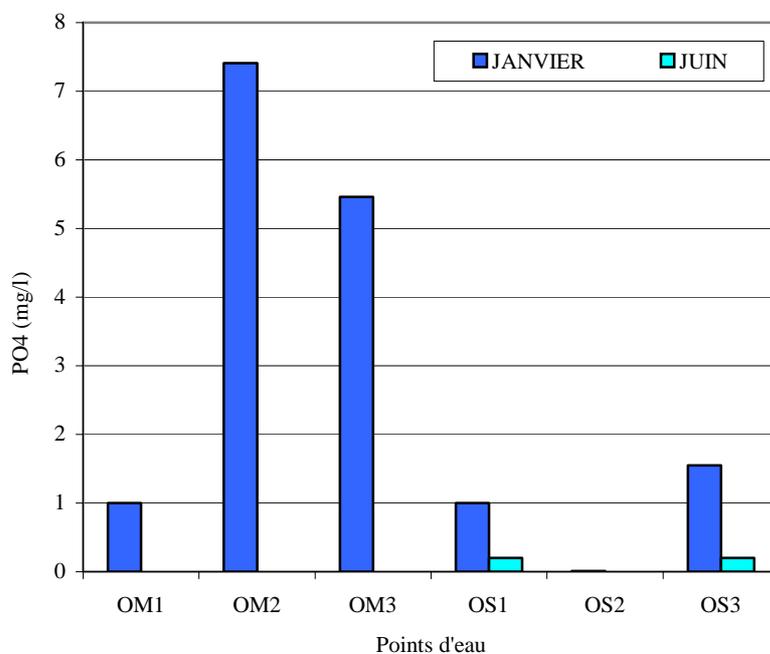
**Figure 4.20 :** Variation de la DCO dans les deux Oueds Seybouse et Mellah de l’amont vers l’aval (2007).



**Figure 4.21 :** Variation du NH<sub>4</sub> dans les deux Oueds Seybouse et Mellah de l’amont vers l’aval (2007).



**Figure 4.22 :** Variation du NO<sub>3</sub> dans les deux Oueds Seybouse et Mellah de l'amont vers l'aval (2007).



**Figure 4.23 :** Variation du PO<sub>4</sub> dans les deux Oueds Seybouse et Mellah de l'amont vers l'aval (2007)

D'après les figures de 4.19 à 4.23 les deux Oueds n'ont pas une autoépuration à cause des concentrations qui ne stabilisent pas ne cessent pas d'augmentées.

Pour la DBO<sub>5</sub> (Figure 4.19) et la DCO (Figure 4.20) les concentrations augmentent dans le temps et dans l'espace probablement due à une décharge domestique en se qui concerne l'Oued Seybouse ajouter à une autre industrielle (la levurerie) dans les eaux de Oued Mellah.

Les concentrations élevées du PO<sub>4</sub> (Figure 4.23) et NH<sub>4</sub> (Figure 4.21) et faible pour NO<sub>3</sub> (Figure 4.22) indiquent une eutrophisation de l'Oued Mellah.

D'après les résultats obtenu pour le mois janvier 2007 on peu classé les eaux des deux Oueds comme un milieu mésotrophe car les concentration sont inter midière est supérieur aux norme. Pour le mois de juin 2007 où on aura une dilution on peu classé les Oueds comme un milieu oligotrophe.

#### **4.2.13.7 Les remèdes**

L'eutrophisation est un révélateur témoignant de la limite des capacités d'auto épuration des milieux aquatiques. Des moyens de lutte sont nécessaires et existent :

- Diminuer l'utilisation des polluants eutrophisants dès l'amont du bassin versant (ce qui peut être encouragé par des écotaxes sur ces produits).
- Diminuer l'utilisation de pesticides et leur arrivée dans les cours d'eau, ou en tuant de nombreux organismes, ils peuvent contribuer à l'eutrophisation.
- Utiliser rationnellement les engrais en agriculture (analyser la valeur agronomique des sols privilégier les engrais naturels).
- Aménager des bassins versants reconstituant des réseaux de blocage, talus, haies, et bandes enherbées, suffisants en taille et cohérents avec le relief et la pédologie.
- Remplacer les phosphates des lessives par des agents anti-calcaires sans impact sur l'environnement, tels les zéolites.
- Mieux éliminer l'azote et le phosphore dans la station d'épuration (floculation, décantation, filtration, dénitrification, déphosphatation et lagunage naturel).

### **4.3 APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION**

#### **4.3.1 Introduction**

Il est important de connaître la qualité des eaux d'irrigation et de chercher le degré de chaque type de pollution et de diagnostiquer les origines et les sources responsables de ces apports anthropiques. Dans ce qui suit nous allons examiner l'utilisation à des fins agricoles des eaux de la région d'étude et seront développés par les méthodes de Richards et Wilcox. Il y a quatre critères majeurs à considérer lors de l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation :

- La concentration en sels dissous (risque de salinité)
- La quantité de Sodium dans l'eau comparée d'autres cations (risque de sodicité).
- La concentration des éléments toxiques qui inhibe la croissance des plantes où devient un danger environnemental.

- Le bénéfice nutritionnel résultant de nutriments (nitrates, phosphates et sulfates).

### 4.3.2 Le risque de salinité

La salinité a eu des effets sur l'agriculture de puis très longtemps. Les sels ont été reconnus comme un problème de puis des milliers d'années, particulièrement dans les régions arides et semi arides où il n'y a pas suffisamment de pluie pour lessiver les sels au delà de la zone racinaire. Les sels minéraux contenus dans l'eau ont des effets sur le sol et les plantes.

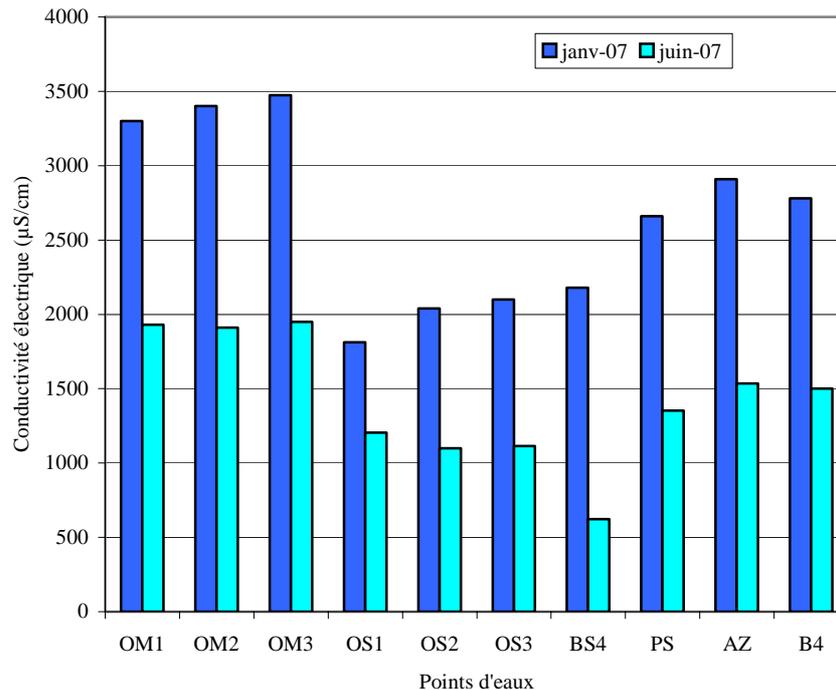
La salinité peut entraîner de effets nocifs conséquents en raison de la fixation du Sodium des sels de chlorure de sodium par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. Sous cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes

#### 4.3.2.1 Evolution temporelle et spatiale de la salinité

Richards en 1969 a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité évaluée par leur conductivité électrique (Tableau 4.1) (Faby et al, 2000 in Mouassa S, 2006).

	<b>Conductivité de l'eau (mmhos/cm)</b>	<b>Sels correspondants estimés en NaCl (mg/l)</b>
<b>Excellente</b>	<0.25	<160
<b>Faible salinité</b>	0.25-0.75	160-500
<b>Forte salinité</b>	0.75-2.25	500-1500
<b>Très forte salinité</b>	2.25-5	1500-3600

**Tableau 4.1** : Classes de salinité selon Richards (Faby et al 2000 in Mouassa S 2006).



**Figure 4.24 :** Evolution spatio temporelle de la conductivité des eaux (2007).

Au mois de Janvier les eaux de surface et souterraine montrent globalement la même classe de qualité, par contre au mois de Juin elle est moins faible mais toujours une forte salinité (Figure 4.24). D'après le tableau 3.1, les eaux présentent une forte salinité, les sels solubles estimés en NaCl correspondant sont compris entre 1500 et 3600 mg/l.

### 4.3.3 Le risque de sodicité

L'accumulation du sodium sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols. Leur capacité de drainage donc leur perméabilité, conditionne la productivité des terres irriguées. Un excès de sodium par rapport aux alcalino-terreux (Ca, Mg...) dans le complexe adsorbant provoque la défloculation des argiles, une destruction du sol qui se traduit par une réduction de la perméabilité et de la porosité des couches superficielles du sol. L'eau d'irrigation stagne alors à la surface du sol et ne parvient plus jusqu'aux racines. D'autre part, à proportion égale de sodium et alcalino-terreux dans la solution, la tendance à la sodisation du sol est d'autant plus forte que la concentration en cations totaux dans la solution est plus élevée. Ainsi, le risque de sodisation relatif à une eau d'irrigation est caractérisé par deux paramètres : le SAR (Sodium Adsorption Ratio) qui rend compte du rapport la concentration en sodium et en alcalino-terreux, et la conductivité de l'eau appliquée (Khérici H 2002).

#### 4.3.3.1 Influence de la sodicité et la salinité sur la perméabilité du sol

En milieu salé, la conduite de l'irrigation est fortement influencée par la perméabilité du sol souvent très faible pour les solutions percolant. En effet, dans un sol salé imprégné en NaCl, la perméabilité reste bonne tant que la solution saline percolant présente une charge élevée en électrolytes, charges qui maintiennent les argiles flocculées.

Si l'eau d'irrigation est chargée en sodium, le nombre d'ions  $\text{Na}^+$  combinés avec le sol augmente. On assiste à une dégradation de structure, avec un gonflement des argiles à l'origine de l'imperméabilité du milieu. Le processus de dessalement et de drainage risque alors d'être complètement stoppé.

#### 4.3.3.2 Diagramme de Richards

Le SAR défini comme égal à

$$SAR = Na / (Ca + Mg)^{1/2} \times 1/2 \quad (4.1)$$

où  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  étant exprimés en méq/l, peut être ajusté pour mieux tenir compte du calcium susceptible de demeurer sur le sol après une irrigation. L'US Salinity Laboratory a proposé un diagramme qui, à partir des valeurs du SAR et de la conductivité, classe les eaux d'irrigation en fonction des risques de sodisation et de salinité.

D'après le diagramme de Richards (Figure 4.25) on constate que les eaux de l'Oued Mellah ont une qualité médiocre donc sont des eaux fortement minéralisée, utilisée pour des plantes très résistantes aux sels dont le sol présente une bonne perméabilité. Les eaux de l'Oued Seybouse sont de qualité admissible où la salinité doit être contrôlée.

Par contre les eaux de la plaine de Bouchegouf elles sont influencé par la qualité des deux Oueds, pour cela on trouve deux groupe de qualité la première médiocre influencé par la salinité de l'Oued Mellah est l'autre admissible influencé par l'Oued Seybouse.

Degrés	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1	Excellente	$C_1 - S_1$	Utilisation sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols.
2	Bonne	$C_2 - S_1$	Convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels, cependant son utilisation peut générer des problèmes pour les argiles.
3	Admissible	$C_3 - S_1, S_2, S_3$	La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérables aux sels sur des sols bien drainées.
4	Mediocre	$C_4 - S_1, S_2$	Eau fortement minéralisée, utilisée uniquement pour des plantes très résistantes aux sels dont le sol présente une bonne perméabilité.
5	Inapte	$C_5 - S_1, S_2, S_3, S_4$	Inutilisable

**Tableau 4.2 :** Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR.

#### 4.3.4 Etude agronomique

Le choix des cultures à mettre en évidence est dicté dans une première mesure par les caractéristiques du sol et du climat et plus particulièrement l'aptitude des eaux à l'irrigation et dans une dernière mesure par l'introduction des cultures riches justifiant la rentabilité du système d'irrigation sans oublier que les cultures irriguées du domaines sont basées sur l'élevage avec une très large place réservée aux cultures fourragères.

#### 4.3.4.1 Importance socio- économique des cultures

##### - cultures industrielles

Les cultures industrielles ont l'avantage de fournir un revenu élevé à l'hectare et procurer un haut niveau d'emploi et semblent être pratiquées depuis plusieurs années dans la région. La culture industrielle la plus rencontrée est la tomate industrielle, son importance est liée à : l'augmentation de la demande en tomate concentrée, une culture pour laquelle il existe des débouchés ou unités de transformation et limiter les importations de la tomate.

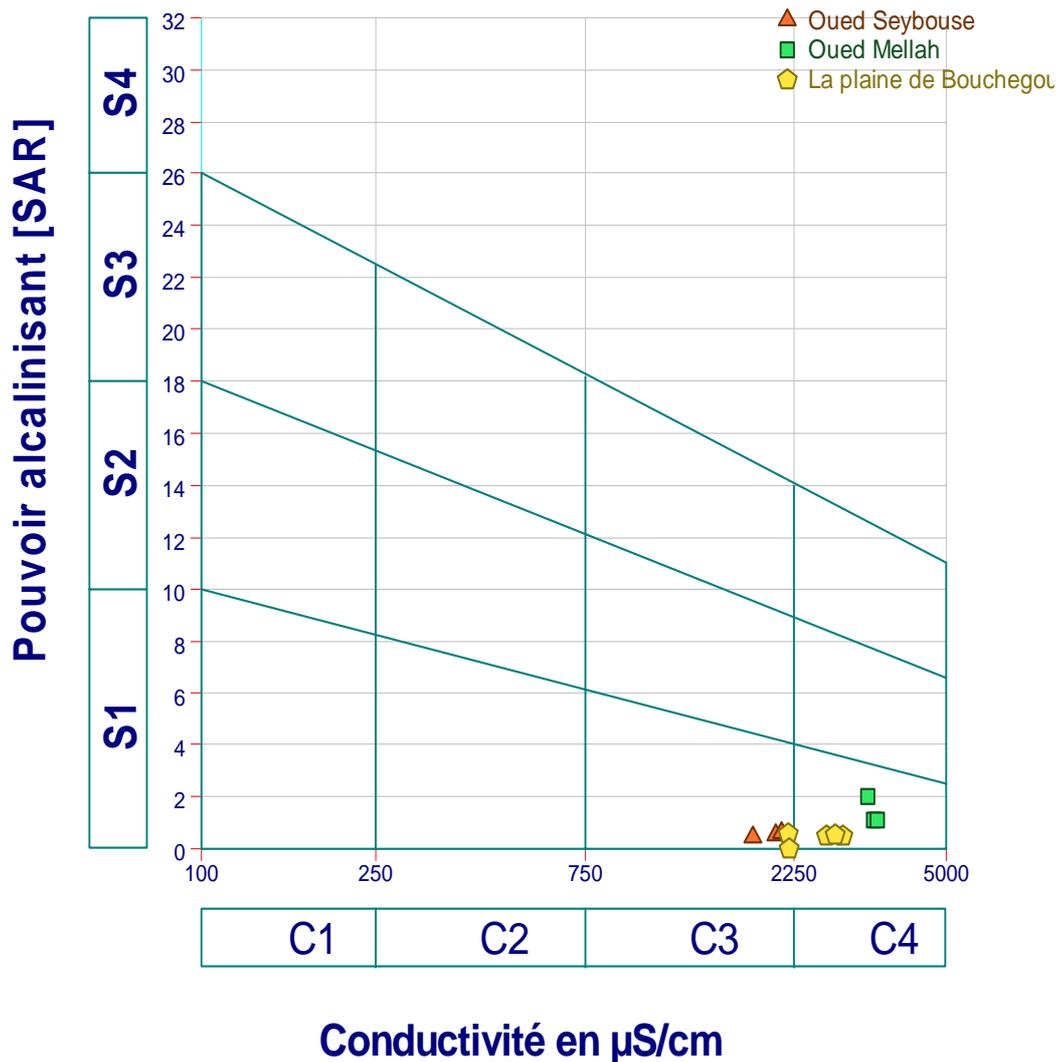


Figure 4.25 : Diagramme de Richards (Janvier 2007)

##### - Cultures maraîchères

Les cultures maraîchères ont connu une nette augmentation, liée non seulement aux potentialités agronomique du périmètre mais surtout à la forte demande qui se fait sentir sur le marché local en particulier par sa diversification car les consommateurs des régions à caractère industriel réclament une gamme de produits alimentaires plus large que dans le passé cette évolution du niveau de vie et le changement dans les habitudes alimentaires qui donnent suivant préférence à des productions irriguées (légumes et fruits).

Les cultures maraîchères qui semblent les plus réparties sont : Pomme de terre, piment vert, aubergine, salade, haricot vert, pois pastèque....etc.

#### **- Cultures céréalières**

Ce type de culture a été retenu en faible par sachant que les céréales présentent l'avantage d'être : produits de première nécessité facile à conserver, largement connu dans le périmètre, ne demande peu de travail dont les techniques culturales sont maîtrisées et un produits qui peu constituer l'alimentation de base du bétail.

#### **- Cultures fourragères**

La production du lait en effet un facile écoulement vers Annaba tan disque le fumier produit contribuera à réduire le déficit en fumure organique des cultures maraîchères de même en vue de la production des protéines dont les besoins intérieurs vont en croissant et dont la carence et de plus en plus manifesté en irriguée les fourrages d'été : Sorgho et Ray gras.

L'introduction du fourrage en sec et en irriguée permet :

- Une amélioration des rendements de l'exploitation.
- Une augmentation de nombre de têtes laitier.
- Par une diminution des surfaces labourées conduisant à une réduction de la main d'œuvre.
- Alimentation régulière sans période creuse.

#### **- Cultures pérennes**

L'importance des culture pérennes est liée aussi à :

La demande celle-ci au niveau du marché, ne demande que peu de main d'œuvre et la possibilité de la vendre sur pied.

### **Interprétation**

D'après les résultats illustrés dans la figure 4.25 on ponce que les eaux souterraines et superficielles ne se prêtent pas à l'irrigation (conductivité élevée) sans contrôle et suivi. Fortement minéralisées, ces eaux conviennent à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels comme la betterave, les choux.

## **4.4 UTILISATION DE L'EAU EN INDUSTRIE**

### **4.4.1 Introduction**

L'eau parait simple a utilisé en industrie, par contre lors de son transport (ou sa circulation) ou de ses utilisation, peut causer aux différents matériaux avec lesquels elle est en contact des altérations de diverses natures, dont la plus fréquente est la corrosion des matériaux.

D'autres altérations sont possibles par dissolution ou précipitation des matériaux calcaires, ou dégradation de béton. Il est nécessaire de connaître les processus élémentaires d'altération et leurs paramètres communs afin de guider le choix entre les mesures à prendre :

modification des caractéristiques physico- chimiques des eaux, application d'un revêtement, protection électrique, recours à un matériaux plus inerte. Pour bien éclairer les problèmes de l'eau avec l'industrie on a résumé ces derniers en deux phénomènes qui sont : la corrosion et l'entartrage.

## 4.4.2 La corrosion

### 4.4.2.1 Définition

La corrosion est l'ensemble des processus distinctifs que subi un corps solide sous l'effet du milieu. Dans un but de simplification, on peut considérer que trois variables principales déterminent d'une façon générale la corrosion par l'eau :

- La nature de l'eau
- La température
- La vitesse de circulation de l'eau

#### a. La nature de l'eau

C'est la variable la plus complexe où interviennent les gaz dissous (oxygène et gaz carbonique), l'alcalinité (carbonates et bicarbonates), la dureté et la présence de sels (chlorures et sulfates).

#### 1. Les gaz (gaz carbonique, oxygène dissous, hydrogène sulfaté....)

Les gaz proviennent de l'atmosphère ou d'action biochimique particulières.

##### - Oxygène dissous

L'augmentation de la teneur en oxygène dissous accélère la vitesse d'attaque initiale du métal, mais augmente également la probabilité de freinage ultérieur du phénomène. La turbulence de l'eau, par le maintien d'une concentration élevée en oxygène au contact du métal et par son action sur l'entraînement des produits de corrosion, joue un rôle important.

##### - Gaz carbonique

Au contact de l'eau le  $\text{CO}_2$  s'hydrolyse totalement en acide carbonique  $\text{H}_2\text{CO}_3$  selon la réaction :



Ce biacide faible se dissout suivant le processus réversible ci-après provoque ainsi les chutes de pH et la corrosion correspondante :



##### - Hydrogène sulfuré

Le  $\text{H}_2\text{S}$  est également un biacide dont la force est légèrement plus faible que celle de

l'acide carbonique. Il est principalement présent par des fuites de fabrication ou par action des bactéries sulfatoréductrices et au développement des corrosions biologiques.



## 2. La minéralisation globale

La dissolution des sels à des doses très faibles engendre le phénomène de la corrosion. La minéralisation globale d'une eau augmente sa conductivité donc la vitesse de corrosion croît.

### b. La température

Une augmentation de la température provoque une meilleure diffusion et une diminution de la viscosité et du potentiel de l'hydrogène. Une meilleure diffusion permet un meilleur contact avec l'oxygène. Dans les circuits fermés où l'oxygène ne peut s'échapper la corrosion connaît une hausse linéaire par rapport aux températures.

Dans les circuits ouverts à des températures de 70°C à 80°C, la corrosion arrive à un maximum, ceci est dû à deux effets combinés le premier est la meilleure diffusion de l'oxygène mais diminution de sa solubilité et l'autre est la différence de température sur le métal même provoquera une anode à l'endroit chaud alors que la cathode se situera à l'endroit plus froid.

### c. Vitesse de circulation de l'eau

Cette variable est extrêmement importante mais complexe, car il faut interférer des phénomènes physiques, mécaniques et électrochimiques. On n'a pas de réponse exacte sur la question de savoir quel sera l'effet de l'augmentation de la vitesse sur la corrosion par l'eau. Mais le seul point général est que chaque cas de corrosion correspond à une vitesse critique de circulation liée à la nature du métal et à la composition de l'eau.

#### 4.4.2.2 Formes de corrosion

##### - Corrosion générale

Cette corrosion attaque les métaux d'une manière uniforme sur toute leur surface. Si le milieu n'est pas suffisamment oxydant, la couche protectrice existant à la surface du métal peut finir par disparaître.

##### - Corrosion inter granulaire

Ce phénomène est dû à un appauvrissement local de la teneur en chrome consécutif à la formation à haute température (400°C à 800°C). La corrosion inter granulaire peut être évitée de deux façons : en abaissant la teneur en carbone de l'acier à une valeur suffisamment basse (< 0.03%) de façon à limiter la formation de carbure de chrome et en utilisant un acier stabilisé au niobium ou au titane formant avec le carbone des carbures stables.

### - Corrosion par piqûres

Ce type de corrosion, assez répandu et très dangereux, se traduit par la formation de piqûres perforantes qui peuvent n'être très peu visibles en surface.

### - Corrosion caverneuse

Il s'agit d'un phénomène général qui se manifeste dans les zones de la surface du métal qui correspondent soit à une hétérogénéité de construction, soit à un dépôt. La corrosion caverneuse est caractérisée par un temps d'incubation qui peut atteindre plusieurs mois, mais, une fois le processus engagé, sa progression peut être particulièrement brutale.

### - Corrosion sous tension

Ce phénomène paraît sur des aciers austénitiques soumis à des contraintes mécaniques qui peuvent être résiduelles d'un traitement antérieur tel que emboutissage, soudage, ou créées dans les conditions de service. Il peut se produire en milieu non corrosif, mais est activé par la présence en solution chaude de chlorures alcalins ou alcalino-terreux.

#### 3.3.4.2.3 Contrôle de la corrosion par l'eau

Les méthodes de contrôle de la corrosion par de l'eau que l'on peut proposer sont nombreuses, mais aucune n'est générale. Bien qu'on ne puisse les traiter ici en détail, il est utile de montrer par un classement l'ampleur de la question et les différents domaines à considérer :

- La métallurgie pour le choix du matériau
- La chimie des eaux pour modifier le milieu agressif
- La physico- chimie pour le choix d'un inhibiteur
- L'électricité dans le cas d'une protection cathodique
- La chimie organique avec les peintures et les revêtements
- L'association de plusieurs méthodes de contrôle donne souvent le meilleur résultat.

#### 4.4.2.4 Inhibition de la corrosion

L'inhibition est l'une des méthodes de lutte contre la corrosion, elle est basée sur les principaux produits chimiques susceptibles d'être ajoutés à une eau pour supprimer son effet corrosif vis-à-vis des métaux. Les inhibiteurs de corrosion n'agissent pas sur les composants chimiques de l'eau mais forment sur les métaux, une mince pellicule protectrice qui en supprime le contact métal- eau, évite la corrosion qui résulte de ce contact.

### - Inhibiteurs simples

Il existe deux types d'inhibiteurs simples

#### a- Inhibiteurs à action physique

Ce sont des composés qui présentent une forte affinité pour les surfaces solides sur lesquelles ils sont adsorbés. Véhiculés dans l'eau sous forme de suspension ou de solution très diluée, ils forment sur les parois un film assimilable à une peinture. Les amines filmantes sont les inhibiteurs à action physique les plus connus.

**b- Inhibiteurs à action chimique**

Les inhibiteurs à action chimique utilisent les piles qui se forment dans le métal pour construire la couche protectrice et inhiber aussitôt les piles. Parmi les inhibiteurs à action chimique on cite : les poly phosphates, les silicates, les chromates et les nitrates.

**- Inhibiteurs composites**

L'emploi conjugué de deux inhibiteurs apporte une protection contre la corrosion très supérieure à la somme de leurs actions individuelles. Parmi les inhibiteurs composites on a : inhibiteurs pour circuits fermés, les inhibiteurs à base de chromates tamponnés et les inhibiteurs à base de nitrates tamponnés, inhibiteurs pour circuits semi- fermés on citera :

Les chromates- phosphates

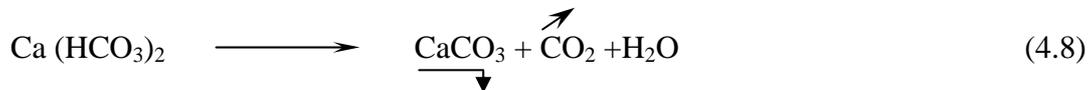
Les phosphates- zinc

Les chromate- zinc

Les organiques- zinc

**4.4.3 Entartrage****4.4.3.1 Définition**

Les phénomènes d'entartrage sont souvent responsables de précipité de carbonates dans les eaux souterraines généralement. Ils sont produits sous forme et mélange de carbonates de sulfates, d'hydrogène, essentiellement de fer ou de magnésium, accessoirement le calcium. La formation de précipité de carbonate de calcium répond à l'équation :



Dans les chaudières l'entartrage est la forme d'une couche de substances insolubles sur les parois des chaudières, en particulier les parois les plus chaud, comme les tubes écrans, qui au fur et à mesure provoque une diminution de la section du passage jusqu'au bouchage complet de la conduite ce qui caractérise un tartre et son adhérence, sa dureté, sa porosité et sa conductivité électrique.

**4.4.3.2 Origine des tartres**

L'entartrage a pour origine le comportement de certains sels dans l'eau en fonction des conditions aux quelles ils sont soumis :

**Cas du calcium et du magnésium**

Les principaux générateurs du tartre en traitement des eaux sont le calcium et le magnésium ou la dureté.

**Cas de bicarbonates de calcium**

Lors d'une élévation de la température les bicarbonates qui sont insolubles se décomposent en donnant des carbonates précipités avec libération d'acide carbonique suivant la réaction :



Le  $\text{H}_2\text{CO}_3$  se décompose en  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . Ces précipités forment dans la chaudière des incrustations poreuses plus au moins dures.

#### **Cas des sulfates**

La solubilité des Sulfates ( $\text{SO}_4^{--}$ ) est maximale à  $40^\circ\text{C}$ , ils peuvent précipiter à froid sous forme de gypse  $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$  ou à chaud sous forme d'anhydrite en soumission. Une fois formé les sulfates de calcium ne se redissolvent que très lentement dans l'eau en circulation.

#### **Cas de la silice**

La silice se trouve dans les eaux sous plusieurs formes :  $\text{SiO}_2$  ionisé,  $\text{SiO}_2$  colloïdale. La solubilité de la silice dépend du pH et de la température, les tartres silicates sont durs fortement adhérents et isolants.

#### **Cas des chlorures**

Les chlorures en général sont solubles et se concentrent en chaudière, toute fois concentration élevées sont à éviter du fait que l'ion  $\text{Cl}^-$  agit comme catalyseur de corrosion.

### **4.4.3.3 Inhibiteurs de la précipitation**

Par suite de modification du milieu (pH, température, concentration...) un certain nombre d'éléments dissous dans l'eau sont susceptibles de devenir en partie insoluble et de former des incrustations dures et adhérentes. Pour éviter ces précipitations, des procédés de traitements ont été proposés :

- L'adoucissement
- La décarbonatation sur résine
- La décarbonatation à la chaux
- La vaccination, par solubilisation de sels carbonatés à l'aide d'un acide fort.

On trouve aussi certaines composées chimiques qui possèdent une double propriété vis-à-vis des ions métalliques, calcium et magnésium en particulier. Les polyphosphates sont les plus répandus. Ces composés chimiques sont en général introduits dans l'eau sous forme de solutions relativement diluées de l'ordre de quelque % pour faciliter une répartition homogène.

### **4.4.3.4 Effets négatifs de la corrosion et l'entartrage**

Ces deux phénomènes sont dangereux pour tous types d'installation, il y a pour conséquence :

- Une baisse de rendement
- Une perte d'énergie
- Une déformation des tubes
- Eclatement dû à la surchauffe

- Bouchage des tuyauteries

#### 4.4.3.5 Détermination de la nature de l'eau souterraine et de surface de la plaine de Bouchegouf

Certaines auteurs ont tenté d'établir des corrélations empiriques entre les risques de corrosion métallique et les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, en particulier son agressivité au sens de l'équilibre calcocarbonique, c'est-à-dire vis-à-vis des matériaux carbonatés. Dans ce but, il a été proposé différents indices d'agressivité.

##### - Définition (Mémento Technique de l'eau édition 1989)

Les indices de Langelier et Ryznar permettent de connaître la tendance entartrant ou corrosive d'une eau à une température et une minéralisation données.

##### - Indice de Langelier

Langelier a établi un indice  $I_s$  dite indice de saturation, égal à la différence entre le pH mesuré d'une eau considérée et son  $pH_s$  d'équilibre ou de saturation. Ce dernier est déterminé à partir du diagramme de Langelier Hoover (Figure 4.26) en utilisant quatre paramètres qui sont :

- La teneur en calcium
- Concentration totale en alcalinité
- La salinité totale
- La température
- Ces paramètres sont remplacés dans l'équation qui suit pour donner  $pH_s$  :

$$pH_s = pCa + pTAC + pC \quad (4.10)$$

$$IS = IL = pH - pH_s \quad (4.11)$$

L'indice de Langelier indique une eau incrustante (entartrant) s'il est positif, par contre s'il est négatif l'eau est agressive (corrosive).

##### - Indice de Ryznar

L'indice de saturation de Langelier apporte un aspect qualitatif sur la possibilité de formation d'un film protecteur mais pas un aspect quantitatif ce qui paraît insuffisant à Ryznar (Hamdaoui 1997) qui propose l'indice de stabilité, ce dernier est déduit de résultats expérimentaux est déterminé par la relation :

$$I_R = 2pH_s - pH \quad (4.12)$$

L'indice de Ryznar indique une eau incrustante quand il est inférieur à 6.65, par contre quand il est supérieur à 6.65 l'eau est agressive.

#### 4.4.4 Calculs et résultats

##### 1- Calculs de $I_R$ et $I_L$ des différents analyses faites au niveau de la commune de Bouchagouf

	pCa	pTAC	pC	pH	PH <sub>S</sub>	I <sub>R</sub>	I <sub>L</sub>	Nature de l'eau
OM <sub>1</sub>	2.68	2.33	2.46	8.20	7.47	6.74	0.73	Incrustant
OM <sub>2</sub>	2.90	2.25	2.43	7.78	7.58	7.38	0.2	Agressive
OM <sub>3</sub>	2.81	2.22	2.43	7.80	7.46	7.12	0.34	Agressive
OS <sub>1</sub>	2.70	2.20	2.45	7.85	7.35	6.85	0.5	Incrustant
OS <sub>2</sub>	2.83	2.23	2.46	7.93	7.52	7.11	0.41	Agressive
OS <sub>3</sub>	2.90	2.25	2.46	7.88	7.61	7.34	0.27	Agressive
PS	2.45	2.10	2.48	7.47	7.03	6.59	0.44	Incrustant
AZ	2.5	2.22	2.47	7.20	7.19	7.18	0.01	Agressive
B <sub>4</sub>	2.69	2.25	2.47	7.43	7.41	7.39	0.02	Agressive
BS <sub>4</sub>	2.92	2.25	2.46	7.50	7.63	7.76	-0.13	Agressive

**Tableau 4.3 :** Indice de corrosion et entartrage pour Janvier 2007.

	pCa	pTAC	pC	pH	PH <sub>S</sub>	I <sub>R</sub>	I <sub>L</sub>	Nature de l'eau
OM <sub>1</sub>	2.82	2.40	2.31	7.80	7.53	7.26	0.27	Agressive
OM <sub>2</sub>	2.83	2.43	2.31	8.03	7.57	7.11	0.46	Agressive
OM <sub>3</sub>	2.89	2.43	2.31	8.12	7.63	7.14	0.49	Agressive
OS <sub>1</sub>	2.92	2.33	2.30	8.30	7.55	6.80	0.75	Incrustant
OS <sub>2</sub>	2.93	2.33	2.30	8.18	7.56	6.94	0.62	Incrustant
OS <sub>3</sub>	2.92	2.33	2.31	8.22	7.56	6.9	0.66	Incrustant
PS	2.70	2.15	2.35	7.11	7.20	7.29	-0.09	Agressive
AZ	2.50	2.18	2.34	7.45	7.02	6.59	0.43	Incrustant
B <sub>4</sub>	2.68	2.20	2.34	7.90	7.22	6.54	0.68	Incrustant
BS <sub>4</sub>	2.91	2.23	2.31	7.84	7.45	7.06	0.39	Agressive

**Tableau 4.4 :** Indice de corrosion et entartrage pour Juin 2007.

#### Interprétation

Les tableaux 4.3 et 4.4 indiquent les calculs des indices de Ryznar et de Langelier pendant les deux périodes Janvier et Juin 2007. Selon les valeurs des éléments physico-chimiques pris en ligne de compte les eaux de Janvier 2007 sont agressives pour tous les points de prélèvement, par ailleurs pour la période de Juin 2007 on remarque généralement une différenciation qui nous donne une idée sur la relation Oued-nappe car on trouve que la nature de l'eau de chaque Oued correspond à la nature des points d'échantillonnage la plus proche de l'Oued par exemple l'eau est agressive pour les eaux de l'Oued Mellah comme pour les eaux du forage BS<sub>4</sub>, et il est incrustant pour le forage B<sub>4</sub> qui se trouve à l'approximation de l'Oued Seybouse.

L'explication de ces variations d'indice, réside dans la variation de la température par conséquent de la minéralisation. Si on compare les résultats obtenus dans les deux tableaux 4.3 et 4.4, on conclut que la qualité de l'eau de la commune de Bouchagouf se dégrade dans le temps et dans l'espace, donc pour l'utiliser en industrie il faut bien étudier ces caractéristiques

physico- chimiques et la nature du matériaux à utilisé pour transporter cette eau, en plus faire une étude sur les types d'inhibiteurs qui seront efficace pour ne pas se trouvé retarder ou arrêter par l'un des phénomènes de corrosion ou d'entartrage.

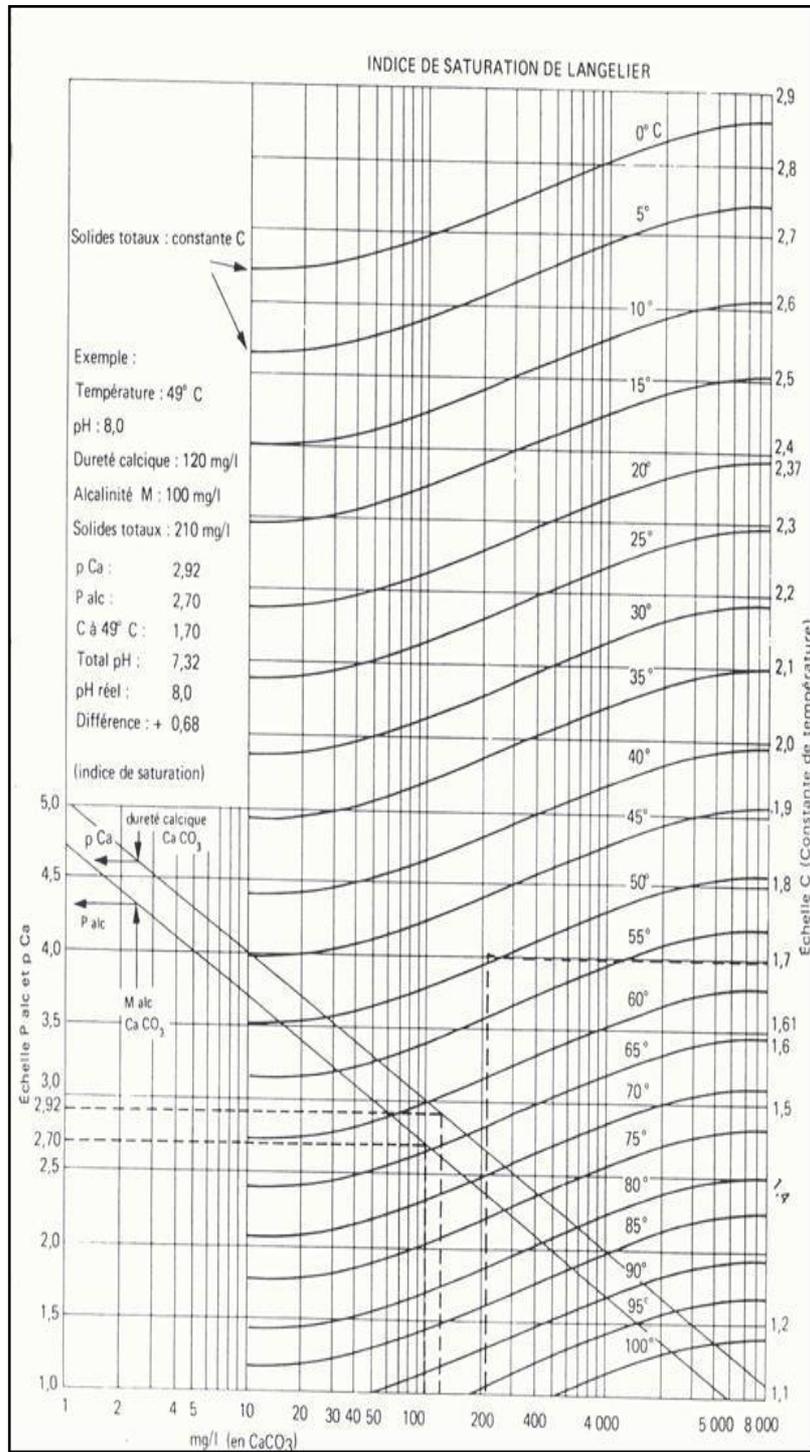


Figure 4.26 : Diagramme de Langelier Hoover.

## Conclusion

L'étude qualitative des eaux de surfaces et souterraine de la plaine de Bouchegouf plaide pour une hypothèse de la non-conformité des eaux pour être directement utilisées dans tous les domaines. Comparativement aux normes de potabilité et du point de vue eutrophisation, les résultats montrent que les eaux des deux Oueds sont impropres à la consommation humaine. Par contre celles de la plaine peuvent devenir potables moyennant des traitements pour prendre en charge les concentrations élevées de chlorure, nitrates, ammonium et sodium. .

Pour l'aspect irrigation, la nature médiocre des eaux souterraines et superficielles ne peut se prêter directement à cette fin car la conductivité étant élevée. Un contrôle et un suivis permanents sont nécessaires pour d'éventuels ajustements de la qualité. Au fait, la forte minéralisation des eaux conviendrait bien à l'irrigation de certaines espèces végétales tolérantes aux sels comme la betterave et les choux.

**CONCLUSIONS  
ET  
PERSPECTIVES**

## Conclusions

Cette étude traite l'impact des pollutions chimiques et organiques des Oueds Seybouse et Mellah sur la qualité des eaux de la nappe alluviale de Bouchegouf (Guelma). Bien que la région soit à vocation agricole, elle reste utilisatrice de grandes quantités d'eau pour la demande en eau potable et à l'utilisation industrielle.

La géologie de la région est représentée par trois formations principales de lithologie différentes avec :

- Formations perméables (dépôts alluvionnaires du Quaternaire) sièges des nappes aquifères drainées par l'Oued Seybouse et l'Oued Mellah.
- Formations imperméables des grès numidiens (Aquitane) sièges d'alimentation des nappes par les flancs.
- Formations imperméables (argiles numidiennes) formant le substratum des aquifères.

L'étude climatologique a montré que la région est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes : l'une humide et l'autre sèche. La température moyenne est de 18,62 °C alors que la moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 623,9 mm dont 74% d'elle est consommée par l'évapotranspiration. Le reste des précipitations est partagé presque à part égale entre le ruissellement (81 mm) qui va rejoindre principalement les deux Oueds et l'infiltration (83 mm) qui va recharger les nappes souterraines.

Pour le chimisme des eaux de la région, l'allure générale du diagramme de Piper montre un faciès chimique chloruré sodique dans le cas de l'Oued Seybouse. Les teneurs en chlorure et sodium ont atteint 383 mg/l et 278 mg/l respectivement. La forte teneur en chlorure est probablement due à la forte évaporation des eaux. Aussi, la nature argileuse du sol représente une contamination probablement induite par l'Oued Mellah qui est le principal affluent de l'Oued Seybouse.

Alternativement, pour l'Oued Mellah, l'analyse a conduit à un faciès chloruré sodique avec une teneur en chlorure de l'ordre de 667 mg/l, alors que celle du sodium aura atteint 800 mg/l. Il est observé que les chlorures sont dominants par leur origine géologique, attribuée précisément au Trias gypsifère de Nador et à la forte évaporation des eaux. Dans ce cas, les résultats indiquent un faciès sulfaté sodique au niveau des points OS3 et OM1. Les sulfates auraient pour origines deux sources. La première serait naturelle due à la formation géologique confirmée par la présence des évaporites gypseuses, tandis que la seconde serait plutôt anthropique soutenue par le versement des rejets industriels.

Concernant les eaux de la nappe alluviale de Bouchegouf, les résultats mettent en évidence deux familles d'eaux bien distinctes dont les faciès chimiques sont : (1) chloruré sodique et (2) chloruré calcique avec des teneurs en chlorure pouvant atteindre 976 mg/l. Les teneurs en sodium et en calcium sont 299 mg/l et 329 mg/l respectivement. Le faciès chloruré calcique est dû probablement aux formations géologiques de la région où sont observés les évaporites des sels de sodium et de potassium. Il est possible d'attribuer également ces changements des faciès chimiques au niveau de la nappe aux échanges de base entre les eaux de la nappe et la formation géologique.

L'étude qualitative réalisée a permis de caractériser le mécanisme de la pollution hydrique qui présente une influence directe sur l'environnement et la santé. Les causes essentielles sont imputées aux divers rejets dans les Oueds Seybouse et Mellah en plus de l'utilisation excessive d'engrais dans les exploitations agricoles de la région. La nature gypsifère de la partie sud de la zone d'étude joue un rôle favorable pour l'augmentation de la salinité. La cartographie du niveau de pollution donne une idée sur la qualité déduite des eaux de la région. Ainsi, durant le mois de janvier 2007, les indices calculés indiquent que les eaux souterraines sont de qualité moyenne à bonne. Par contre, les eaux superficielles sont de moyenne qualité. Alternativement, en juin 2007, il est noté de manière générale, que les eaux souterraines sont aussi de qualité moyenne à bonne, alors que les eaux de surfaces sont de moyenne qualité.

Dans l'ensemble, les valeurs des éléments étudiés durant les années 2001 et 2007 ne sont pas acceptables car elles dépassent les limites normatives généralement admises. De plus la situation était plus alarmante en 2001 qu'en 2007 car les concentrations enregistrées maintenant sont largement moins élevées. Les fortes teneurs précédentes peuvent être la conséquence de plusieurs facteurs parmi lesquels, il y a :

- Les rejets polluants de la levurerie qui sont constitués essentiellement par les eaux de lavage, les eaux sanitaires ainsi que la levure rebutée et rejetée avec des eaux fortement chargées.
- Certains éléments tels que les chlorures, le calcium, le magnésium, les bicarbonates et les sulfates peuvent être d'origine géologique, c'est-à-dire provenant d'une dissolution de la roche (gypse, grès, argile), ou encore ils peuvent dériver d'un lessivage des sols.
- Enfin, les éléments nutritifs existent avec des teneurs importantes dans ces eaux et ils peuvent provenir soit des eaux de rejets de la levurerie riche en matières organiques et/ou des apports d'engrais chimiques.

L'étude qualitative des eaux de surfaces et souterraine de la plaine de Bouchegouf plaide pour une hypothèse de la non-conformité des eaux pour être directement utilisées dans tous les domaines. Comparativement aux normes de potabilité et du point de vue eutrophisation, les résultats montrent que les eaux des deux Oueds sont impropres à la consommation humaine. Par contre celles de la plaine peuvent devenir potables moyennant des traitements pour prendre en charge les concentrations élevées de chlorure, nitrates, ammonium et sodium. .

Pour l'aspect irrigation, la nature médiocre des eaux souterraines et superficielles ne peut se prêter directement à cette fin car la conductivité étant élevée. Un contrôle et un suivis permanents sont nécessaires pour d'éventuels ajustements de la qualité. Au fait, la forte minéralisation des eaux conviendrait bien à l'irrigation de certaines espèces végétales tolérantes aux sels comme la betterave et les choux.

## Perspectives

Cette étude ouvre la voie sur d'autres aspects de l'impact des polluants organiques et chimiques des eaux des Oueds Seybouse et Mellah sur la qualité des eaux de la région de Bouchegouf.

Les études qui peuvent être initiées peuvent toucher les domaines suivants :

1. Le phénomène d'eutrophisation des Oueds Seybouse et Mellah : Mesures des DBO<sub>5</sub>, DCO, O<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>BP-</sup>, ... Coliformes et autres organismes.
2. Etude pédologique pour déterminer exactement les constituants des sols et leur interaction avec les eaux de la région
3. La remise en état de fonctionner des stations de traitement des eaux potables et surtout le traitement des eaux industrielles à rejeter dans les cours d'eaux.
4. Prévoir une étude similaire dans au moins sur une période de 5 années pour établir de nouveau l'état des lieux et apprécier les niveaux de pollution au vu de l'arrêt de production de certains forage et l'apport d'eau potable du barrage de Bouhamdène de Guelma.
5. Impact de la nature des engrais et surtout les pesticides ainsi que leurs effets sur la santé, la nature des produits agricoles et les indices de pollutions durant la période 2000-2007.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

1. **Bechka.H, Chaffai Melloki.M.** 2002, Modélisation hydrodynamique de la nappe alluviale de Bouchegouf. Mémoire d'ingénieur. Université d'Annaba, 57 p.
2. **Beghami.A.** 1983, projet d'irrigation par aspersion dans la commune de Dréan cas du domaine Traidia abed. Mémoire de fin d'étude. Institut de technologie agricole Mostaganem,
3. **Benharoun.S, Chaabane.K.** 2004, Contribution à l'étude de la situation de l'alimentation en eau potable de la ville de Bouchegouf. Mémoire d'ingénieur. Université d'Annaba, 103 p.
4. **Ben rabah.S.**2006, Etat actuel des ressources en eau dans la wilaya de Skikda (Essai de Synthèse) Bilan- Gestion- Perspective. Mémoire de Magister. Université d'Annaba, 150 p.
5. **Bounab.S.** 2006, Etat actuel des ressources en eau dans les wilaya d'Annaba- El Tarf (Essai de Synthèse) Bilan- Qualité- Perspective. Mémoire de Magister. Université d'Annaba, 179 p.
6. **Bousnoubra.H.** 2002, Ressources en eaux des régions de Skikda- Annaba- Tarf- Guelma- Souk Ahras (Nord Est Algérien). Evaluation, Gestion et perspective. Vulnérabilité et protection. Thèse de Doctorat d'état, Université d'Annaba, 159 p.
7. **Bousnoubra.H, Derradji.F, Kherici.N, Romeo.M et Caruba.R.** 2007, Impact de La pollution organique sur la qualité des eaux superficielles dans le Nord est algérien. Sécheresse, Université d'Annaba, 5 p.
8. **Chadlia.M, Boumdiri.L.** 2001, Impact des rejets de la levurerie de Bouchegouf sur l'alteration de la qualité de l'eau (eaux de surfaces et eaux souterraines). Mémoire d'ingénieur. Université d'Annaba, 45 p.
9. **Chaoui.w.** 2005, impact de l'entartrage et de la corrosion des rejets de la laiterie de l'Edough d'Annaba sur les conduites et l'environnement. Mémoire d'ingénieur. Université d'Annaba, 74 p.
10. **Chouabbi.A.** 1987, Etude géologique de la région de Hammam N'Bails (SE de Guelma, Constantine, Algérie), Thèse de doctorat de troisième cycle, Université de Paul Sabatier de Toulouse, 123p..
11. **Djabri.L.** 1996, Mécanisme de pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse : Origine géologique, industrielles, agricoles et urbaines, Thèse de doctorat, Université d'Annaba, 259 p.

12. **Franquin.J.** 1972, Agressivité et corrosivité pétrolière. Collection colloques et Séminaires N°24. Institut Français du pétrole, 31 à 59 p.
13. **Hamdaoui.O.** 1997, Etude, Traitement et conditionnement des eaux industrielles destinées au circuit de refroidissement des cheminées de l'aciérie a oxygène N°1 (SIDER ANNABA). Mémoire de magister. Université d'Annaba, 202 p.
14. **Kherici.N.** 1993, Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba- La Mafragh) Nord-Est algérien, Thèse de doctorat, Université d'Annaba, 170 p.
15. **Labani.A, Benabdeli.K, Hachemaoui.C.** 2005, Contribution a l'évaluation et a la cartographie de la vulnérabilité du bassin versant de la nappe des eaux minérales de Saida. Synthèse N°14. Université de Djillali Lyabes de Sidibel Abbes, 26 à 37 p.
16. **Mallem.A.** 2006, impact des lâchers du barrage de bouhamdane sur la qualité des eaux de la vallée de la seyhouse, Mémoire d'ingénieur. Université d'Annaba, 75 p.
17. **Mehdi.M, Djabri.L, Hani. A, Belabed.BE.** 2007, Impact de la décharge de la ville de Triaret sur la qualité des eaux souterraines, Revue Synthèse N°16, d'Annaba, 64 à73 p.
18. Mémento Technique de l'eau 1978, 8<sup>ème</sup> édition Dégrémont, Paris, 1200 p.
19. **Mouassa.S.** 2006, Impact du périmètre d'irrigation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale de Guelma et sur les sols, Mémoire de magister. Université d'Annaba, 158 p.
20. **Rodier.J.** 1978, L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 6<sup>ième</sup> édition, Dunod, 1135 p.
21. **Wuithier.P.** 1972, Le pétrole raffinage et génie chimie, 2<sup>ième</sup> édition, 1710 p.

**22. Sites internet :**

- Le S.E.Q : système d'évaluation de la qualité des cours eau.
- Qualité des eaux : une nouvelle méthode d'évaluation.
- Indice de pollution organique (IPO, Leclercq et Maquet 1987).
- Gabrielle Bouleau, 2002, introduction a la qualité globale des cours d'eau.
- LENNTCH : Comparaison de normes sur l'eau potable UE/OMS.

**23. Agences :**

- DHW : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Guelma
- DH : Direction de l'Hydraulique de la Daira de Bouchegouf

- Station météorologique de la Daira de Bouchegouf
- ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques d'Annaba

**24. Cartes :**

- Carte topographique de la région de Bouchegouf (feuille numéro 55 Echelle 1/50000)
- Carte géologique de la région de Bouchegouf (feuille numéro 55 Echelle 1/50000) par M.J.Flandrin 19930.

# ANNEXES

**Annexe 1 : Tableau des précipitations moyennes mensuelles à la station de Bouchegouf (1997/2006)**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Pmoy (mm)	37	41.9	77.1	100.4	96.2	62	48.9	65.7	59.6	15.5	3.7	15.9
Pmin (mm)	05	10	17	26	19	16	18	21	03	00	00	01
Pmax (mm)	91	106	154	201	231	151	134	142	230	94	18	49

**Annexe 2 : Tableau des précipitations moyennes annuelles à la station de Bouchegouf (1997/2006)**

Mois	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06
Pmoy (mm)	33.41	69.83	57.75	46.75	44.25	28.25	78.08	67.66	58.25	38.16
Pmin (mm)	00	00	02	00	01	06	00	00	10	01
Pmax (mm)	70	152	154	230	118	55	142	201	151	145

**Annexe 3 : Tableau des températures moyennes annuelles à la station de Bouchegouf (1997/2006)**

Année	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06
Tmoy	18.46	18.22	18.13	18.85	18.71	18.92	19.71	16.40	23.25	18.8
Tmin	11.8	10.6	9.3	8.6	10.3	9.8	10.4	10.3	8.6	9.5
Tmax	27.1	26.7	30	28.1	28.1	27.1	31	27.9	27.6	28.5

**Annexe 4 : Tableau des températures moyennes mensuelles à la station de Bouchegouf (1997/2006)**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Tmoy	24.07	20.89	15.1	11.67	10.23	10.95	13.29	16.09	20.55	25.29	27.54	27.84
Tmin	21.9	17.7	13.1	10.1	8.6	8.7	9.2	14.8	18.1	22.8	26.2	26.3
Tmax	26.1	24.6	16.4	13.4	12.5	13.2	16.3	18	22.2	28.2	30.6	31

**Annexe 5 : Tableau de type de climat selon DEMARTONE**

Indice de Demartone	Type du climat
A<5	le climat est hyper aride
05<A<10	le climat est très sec
10<A<20	le climat est sec
20<A<30	le climat est tempéré
A>30	le climat est humide

**Annexe 6 : Tableau d'Indice annuel d'aridité**

Station	P (mm)	T °C	A
Bouchagouf	623.9	18.62	21.80

**Annexe 7 : Tableau des Moyennes mensuelles des débits en m<sup>3</sup>/s dans la station hydrométrique de Bouchegouf (1985-2006)**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Débits moy (m <sup>3</sup> /s)	0.183	0.397	0.490	8.870	12.550	1.820	5.610	1.720	1.220	4.010	0.390	0.23

**Annexe 8 : Tableau des Variations annuelles des débits dans la station hydrométrique de Bouchegouf (1985-2006)**

Années	Q moy (m <sup>3</sup> /s)	Années	Q moy (m <sup>3</sup> /s)
84/85	3.17	95/96	0.63
85/86	2.45	96/97	0.51
86/87	0.90	97/98	0.69
87/88	0.77	98/99	0.57
88/89	0.52	99/00	21.26
89/90	1.56	00/01	0.40
90/91	21.26	01/02	0.46
91/92	5.84	02/03	0.48
92/93	15.62	03/04	3.26
93/94	0.83	04/05	0.89
94/95	0.81	05/06	0.65