

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane MIRA de BEJAIA

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

Laboratoire de recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement

## Mémoire

PRÉSENTÉ POUR OBTENIR LE DIPLÔME DE MAGISTÈRE EN HYDRAULIQUE

OPTION : HYDRAULIQUE GENERALE

## THEME

### **Etude Hydrochimique des eaux de l'Oued Djemâa Wilaya de BEJAÏA**

Présenté par :

**M<sup>elle</sup> KHERZI Sabrina**

Devant le jury composé de :

Pr. MAKHLOUFI Laid	<b>Président</b>	Pr. Université Abderrahmane MIRA de BEJAIA
Dr. MAZA Mustapha	<b>Promoteur</b>	MCA. Université Abderrahmane MIRA de BEJAIA
Dr. LADJEL Mahmoud	<b>Examineur</b>	MCA. Université Ferhat Abbas de SETIF
Dr. BOUKEROUI Hamid	<b>Examineur</b>	MCA. Université Abderrahmane MIRA de BEJAIA
Mr. SAOU Abdelhamid	<b>Invité</b>	MAA. Université Abderrahmane MIRA de BEJAIA

**Promotion 2011**



## *Remerciements*

*Je remercie Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné durant toutes ces années d'étude.*

*Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier tous ceux qui ont contribué à sa réalisation et en particulier :*

- ❖ Mr. MAZA Mustapha, qui a accepté de diriger ce travail, je lui exprime ici toute ma gratitude.*
- ❖ Mr. MAKHLOUFI Laid, qui a en la bienveillance d'accepter de juger ce travail et de présider le jury de soutenance.*
- ❖ Mr. BOUKEROUI Hamid, pour sa participation au jury.*
- ❖ Mr. LADJEL Mahmoud, d'avoir accepté de juger ce travail.*

*Je suis très reconnaissante à Mr. SADI Amar le présent Directeur des ressources en eau et également l'ex Directeur Mr. KECEBA Mohamed de m'autorisé à poursuivre mes études et de m'avoir facilité cette tâche.*

*C'est avec un grand plaisir que je remercie Mr. SAOU A/Hamid qui a accompagné mes premiers pas dans le domaine de l'hydrochimie et qui a porté un vif intérêt à ce travail. Je le remercie pour le soutien qu'il m'a prodigué, de son aide permanente et qualités humaines m'ont toujours été avantageux.*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers Mr. HAMCHAOUJ Samir pour ses conseils, suggestions et sa disponibilité permanente.*

*Mes remerciements vont également aux :*

*Enseignants du département d'hydraulique : Mr. BERREKSI Ali, Mr. BELHOCINE Mohamed, Mr. MERRAH Ferhat, BRAKENI A/Rezak, Mr. BENZERRA Abbas, Melle GRABA Myriam. et Mr. BEDJOU A/Hamid, pour leurs soutien moral et leur aide durant ce travail.*

*J'adresse ma profonde reconnaissance au chef de service mobilisation de la direction des ressources en eau Mr. MESSAHLI Saïd, Mr.ZEROUROU Mohand pour leurs disponibilité, sans oublié Mr. HEDDADI Hamanou pour son aide efficace dans toutes les campagnes de terrain.*

*A l'ensemble du personnel des ressources en eau de la Wilaya de BEJAIA, pour votre encouragement.*

*Je remercie également diverses personnes dont l'aide me fut précieuse : Mr. BOUCHENEWA Farouk du laboratoire Biophysique, Mr BOUDRAHEM Farouk et Mr. MOUNI Lotfi du département génie des procédés, Mme. REMDANI Telidja et Melle OULBSIR Fatiha du département Biologie, ainsi les techniciens du département d'hydraulique AMGHAR Saïd et ZOUBIRI Diamei*

*Je suis très reconnaissante à Mr. BOUHALI Sofiane d'avoir toujours été présent et de l'être encore.*

*Enfin et surtout un grand merci à mes parents de m'avoir donné ces chances de réussite, à ma famille et proches qui ont su m'entourer et m'encourager.*

**Remerciements**

**Table des matières**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des annexes**

**Sigles et abréviations**

**I. Introduction générale** 24

1. Introduction 24

2. Motivation et cadre du projet 24

3. Objectifs 25

4. Structure du mémoire 25

**Historique des travaux antérieurs** 28

**Chapitre I : Présentation de la région d'étude**

I.1. Situation géographique 30

I.1.1. Situation et limites 30

I.1.2. Caractéristiques du bassin versant 32

I.1.2.1. Caractéristiques physique 32

A. Surface et périmètre 32

B. Largeur moyenne du bassin versant 34

I.1.2.2. Paramètre de forme 34

Coefficient d'allongement 34

B. Indice de compacité de GRAVELLIUS 34

C. Rectangle équivalent 35

I.1.2.3. Paramètres de relief 35

A. Courbe hypsométrique 35

B. Les altitudes caractéristiques 36

B.1. Les altitudes minimale et maximale 36

B.2. L'altitude moyenne 37

B.3. Altitude médiane 37

B.4. Les altitudes à 5% et 95% 37

C. Indice de pente 37

C.1. Indice de pente globale	37
C.2. Pente moyenne	38
D. Dénivelée spécifique	38
I.1.2.4. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant	39
A. Le réseau hydrographique	39
A.1. Structure du réseau et ordre des cours d'eau	39
A.2. La longueur caractéristique	44
A.3. Profil en long	44
B. Densité de drainage	44
C. Densité hydrographique	45
D. Rapport de confluence et rapport des longueurs	45
E. Coefficient de torrentialité	46
I.1.2.5. Temps de concentration du bassin versant	47
I.1.2.5.1. Estimation du temps de concentration	47
I.1.2.5.2. Vitesse de concentration	48
I.2. Occupation du sol du bassin versant et activité humaine	50
I.2.1. Occupation du sol	50
I.2.2. Population	50
I.2.3. Transport et infrastructures	51
I.2.4. Unités industrielles du secteur public	51
I.2.5. Agriculture	51
<b>Chapitre II : Cadre géologique et climatologique</b>	
<b>II.1. Cadre géologique</b>	<b>53</b>
II.1.1. Introduction	53
II.1.2. But du travail	53
II.1.3. Etude géologique du champ captant de l'Oued DJEMAA	53
a) La zone de la plaine et de la vallée	53
b) La zone intermédiaire	53
c) La zone des montagnes	53
II.1.4. La lithostratigraphie	54
a) Le Trias	54
b) Le Jurassique	54

c) Le Crétacé	56
d) Le Numidien	56
e) Le Miocène	57
f) Le Quaternaire	57
<b>II.2. Cadre climatologique</b>	<b>58</b>
II.2.1. Introduction	58
II.2.2. Climatologie	58
II.2.2.1. Stations et données disponibles	58
II.2.2.2. Les précipitations	59
II.2.2.3. Les températures	59
II.2.2.4. Humidité	60
II.2.2.5. Le vent	61
II.2.2.6. Tension de vapeur	61
II.2.2.7. Ensoleillement	62
II.2.2.8. Evaporation	62
II.2.3. Synthèse des données climatique	62
II.2.3.1. Diagramme Ombrothermique de la zone d'étude	62
II.2.3.2. Le Climagramme d'EMBERGER	63
<b>Chapitre III : Propriétés des eaux</b>	
III.1. Introduction	67
III.2. Les paramètres organoleptiques des eaux	67
III.2.1. Évaluation de l'odeur	67
III.2.2. Évaluation du goût et saveur	67
III.2.3. La couleur	68
III.2.4. La turbidité	68
III.2.5. Les matières en suspension	69
III.3. Les propriétés physico-chimiques des eaux	69
III.3.1. La température	69
III.3.2. Le pH	69
III.3.3. La conductivité électrique	69
III.3.4. La salinité	70
III.3.5. L'alcalinité	70

III.3.6. La dureté d'une eau ou son titre hydrotimétrique	70
III.4. Principaux éléments présents dans l'eau	71
III.4.1. Ions majeurs	71
III.4.1.1. Calcium et magnésium	71
III.4.1.2. Sodium et potassium	71
III.4.1.3. Bicarbonates	72
III.4.1.4. Sulfate	72
III.4.1.5. Chlorures	72
III.4.1.6. Nitrates et composés azotés	73
III.4.2. Autres éléments dissous	74
III.4.2.1. Fer et manganèse	74
III.4.2.2. Fluor	74
III.4.2.3. Aluminium	74
III.4.2.4. Phosphates	75
III.4.2.5. Silicates	75
III.4.2.6. Les métaux toxiques	75
III.4.2.7. Les composés inorganiques non métalliques	75
III.4.2.8. Les pesticides totaux	75
III.4.3. Oxygène, DBO, DCO et oxydabilité	76
III.4.3.1. Oxygène dissous	76
III.4.3.2. DBO, DCO et oxydabilité	76
III.5. Normes de qualité	77

## **Chapitre IV : Matériels et méthode**

IV.1 Principes théoriques	79
IV.1.1 Principe de la spectrophotométrie UV-Visible	79
IV.1.2 Principe du photomètre d'émission de flamme	80
IV.1.3 Principe de la titrimétrie	80
IV.2. Positionnement des points d'eau, échantillonnage et filtration	81
IV.3 Matériels et méthodes d'analyse	82
IV.3.1 La turbidité (Méthode d'atténuation de radiation (Lecture directe))	82
IV.3.1.1. Principe de la méthode	82
IV.3.1.2. Mode opératoire	82

IV.3.2	Température	83
IV.3.3	Le potentiel hydrique et la conductivité électrique	83
IV.3.4	L'oxygène dissous (Méthode électrochimique)	83
IV.3.4.1.	Principe de la méthode	84
IV.3.4.2.	Mode opératoire	84
IV.3.5	Matières en suspension (Méthode photométrique)	84
IV.3.5.1.	Principe de la méthode	84
IV.3.5.2.	Mode opératoire	84
IV.3.6	Dosage des Chlorures (Méthode de MOHR)	85
IV.3.6.1.	Principe	85
IV.3.6.2.	Mode Opératoire	85
IV.3.6.3.	Expression des résultats	85
IV.3.7	Dosage des Carbonates et Bicarbonate (Méthode pHmétrique)	85
IV.3.7.1.	Principe du dosage du TA et du TAC (Norme en ISO 9963-1)	85
IV.3.7.2.	Mode Opératoire	86
IV.3.7.3.	Expression des résultats	86
IV.3.8	Dosage du calcium	87
IV.3.8.1.	Principe	87
IV.3.8.2.	Mode opératoire	87
IV.3.8.3.	Expression des résultats	87
IV.3.9	Dosage du magnésium	88
IV.3.9.1.	Principe	88
IV.3.9.2.	Mode opératoire	88
IV.3.9.3.	Expression des résultats	88
IV.3.10	Dosage du Sodium et Potassium	89
IV.3.10.1.	Principe	89
IV.3.10.2.	Mode opératoire	89
IV.3.10.3.	Établissement des courbes d'étalonnage	90
IV.3.11	Dosage des nitrates (Méthode au salicylate de sodium)	90
IV.3.11.1.	Principe	91
IV.3.11.2.	Mode opératoire	91
IV.3.11.3.	Etablissement de la courbe d'étalonnage	91
IV.3.11.4.	Expression des résultats	91



IV.3.12 Dosage des Sulfates	92
IV.3.12.1. Principe	92
IV.3.12.2. Mode opératoire	92
IV.3.12.3. Etablissement de la courbe d'étalonnage	92
IV.3.12.4. Expression des résultats	92
IV.3.13 Dosage des phosphates (Méthode au molybdate d'ammonium)	92
IV.3.13.1. Principe	92
IV.3.13.2. Mode opératoire	93
IV.3.13.3. Etablissement de la courbe d'étalonnage	93
IV.3.13.3. Expression des résultats	93
IV.3.14 Dosage du fer total (Méthode FerroVer (Technique avec réactifs en sachets))	93
IV.3.14.1. Mode opératoire	93
IV.3.15 Dosage du Brome (Méthode DPD (Technique avec réactifs en gélules))	94
IV.3.15.1. Mode opératoire	94
IV.3.16 Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> )	94
IV.3.16.1. Principe de la méthode	94
IV.3.16.2. Mode opératoire	95
<b>Chapitre V : Etude hydrochimique</b>	
V.1 Introduction	97
V.2. Caractéristiques des stations de prélèvement	98
V.3. Mesures in situ	100
V.4. Analyses aux laboratoires	100
V.5. Description sommaire des paramètres physico-chimiques et organoleptiques	102
V.5.1.Eaux souterraines	102
V.5.1.1. Paramètres physiques et organoleptiques	102
V.5.1.1.1. Température	102
V.5.1.1.2. Potentiel d'Hydrogène	102
V.5.1.1.3. Conductivité électrique	102
V.5.1.1.4. Matières en suspension et turbidité	103
V.5.1.1.5. Salinité	104
V.5.1.2. Les éléments majeurs	104
V.5.1.2.1. Le calcium (Ca <sup>2+</sup> )	104

V.5.1.2.2. Le magnésium ( $Mg^{2+}$ )	105
V.5.1.2.3. Le sodium ( $Na^+$ )	106
V.5.1.2.4. Le potassium ( $K^+$ )	106
V.5.1.2.5. Les chlorures ( $Cl^-$ )	107
V.5.1.2.6. Les sulfates ( $SO_4^{2-}$ )	108
V.5.1.2.7. Les bicarbonates ( $HCO_3^-$ )	109
V.5.1.2.8. Les nitrates ( $NO_3^-$ )	110
V.5.1.3. Autres éléments dissous	110
V.5.1.3.1. Les phosphates ( $PO_4^{3-}$ )	110
V.5.1.3.2. Fer et bromures	111
V.5.1.3.3. Oxygène dissous	112
V.5.2. Eaux superficielles	112
V.5.2.1. Paramètres physiques et organoleptiques	114
V.5.2.1.1. Température	114
V.5.2.1.2. Potentiel d'Hydrogène et conductivité électrique	114
V.5.2.1.3. Salinité	114
V.5.2.1.4. Matières en suspension, turbidité et $DBO_5$	115
V.5.2.1.5. Oxygène dissous	117
V.5.2.2. Evolution des concentrations en éléments majeurs des eaux superficielles	117
V.5.2.3. Evolution de la concentration en phosphates des eaux superficielles	119
V.5.2.4. Evolution de la concentration en fer et bromures des eaux superficielles	119
V.6. Détermination des principaux faciès hydrochimique	120
V.6.1. Représentation graphique des faciès hydrochimiques	120
V.6.1.1. Diagramme de PIPER	120
a) Période de Décembre 2010	121
b) Période d'Avril 2011	122
V.6.1.2. Diagramme de SCHOELLER – BERKALOFF	123
a) Eaux souterraines	123
b) Eaux de surface	125
V.6.2. Faciès caractéristiques	128
V.6. Evolution et distribution des faciès chimiques	129
V.6.1. Origine des éléments chimiques	131
V.6.1.1. Origine du calcium (Les éléments $Ca^{2+}$ - $HCO_3^-$ - $SO_4^{2-}$ )	131

V.6.1.2. Origine du sodium (Les éléments $\text{Na}^+$ - $\text{Cl}^-$ )	132
V.6.2. Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique (Les éléments $\text{HCO}_3^-$ , $\text{Cl}^-$ et $\text{SO}_4^{2-}$ )	134
V.6.3. Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité électrique (Les éléments $\text{Cl}^-$ - $\text{SO}_4^{2-}$ )	135
V.6.4. Evolution des nitrates (Les éléments $\text{NO}_3^-$ - $\text{Cl}^-$ )	136
V.7. Etat de saturation	136
V.7.1. Calcul des indices de saturation	137
V.7.2. Influence du type d'aquifère sur le chimisme des eaux souterraines	139
V.8. Analyse statistique	140
V.8.1. Introduction	140
V.8.2. Principe	140
V.8.3. Résultats et interprétations	140
V.8.4. Application de l'A.C.P aux données chimiques (éléments majeurs) des eaux de l'Oued DJEMAA	141
V.8.4.1. Analyse statistique	141
V.8.4.2. Matrice de corrélation	141
V.8.4.3. Etude des variables et des individus	142
V.8.4.4. Analyse de l'espace des variables	142
Conclusion	144
<b>Conclusion générale</b>	146
<b>Références bibliographiques</b>	
<b>Annexes</b>	

<b>Chapitre I</b>	<b>Présentation de la région d'étude</b>	
Tableau (I.1) :	Caractéristiques du réseau hydrographique de l'Oued Djemaa	42
Tableau (I.2) :	Rapport de confluence et rapport des longueurs de l'Oued Djemaa	46
Tableau (I.3) :	Estimation du temps de concentration du bassin versant de l'Oued Djemaa	48
Tableau (I.4) :	Récapitulation des caractéristiques morphométriques de l'Oued Djemaa	49
<b>Chapitre II</b>	<b>Cadre géologique et climatologique</b>	
Tableau (II.1) :	caractéristiques des stations pluviométriques proches du bassin étudié	59
Tableau (II.2) :	Ensoleillement mensuel moyen	63
Tableau (II.3) :	Evaporation mensuelle et annuelle	63
<b>Chapitre III</b>	<b>Propriétés de l'eau</b>	
Tableau (III.1):	Echelle de la turbidité	68
Tableau (III.2):	Echelle du pH	69
Tableau (III.3):	Echelle de conductivité	70
Tableau (III.4):	Echelle de concentration du $\text{Ca}^{2+}$ et $\text{Mg}^{2+}$	71
Tableau (III.5):	Echelle de concentration de $\text{Na}^+$ et $\text{K}^+$	72
Tableau (III.6):	Concentrations en fer dans les eaux souterraines selon l'ACF	74
Tableau (III.7):	Echelle de valeurs de $\text{DBO}_5$	77
<b>Chapitre IV</b>	<b>Matériels et méthodes</b>	
Tableau (IV.1) :	Etablissement de la courbe d'étalonnage de sodium	90
Tableau (IV.2) :	Etablissement de la courbe d'étalonnage de potassium	90
Tableau (IV.3) :	Etablissement de la courbe d'étalonnage des nitrates	91
Tableau (IV.4) :	Etablissement de la courbe d'étalonnage des sulfates	92
Tableau (IV.5) :	Etablissement de la courbe d'étalonnage des phosphates	93

<b>Chapitre V</b>	<b>Etude hydrochimique</b>	
Tableau (V.1) :	Caractéristiques des stations de prélèvement	98
Tableau (V.2) :	Variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines	101
Tableau (V.3) :	Variation des paramètres physico-chimiques des eaux de surface	113
Tableau (V.4) :	Classification des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF« Eau souterraine »	125
Tableau (V.5) :	Classification des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF «Eau de surface»	128
Tableau (V.6) :	Faciès chimiques des eaux de l'aquifère de l'Oued Djemaa	128
Tableau (V.7) :	Evolution des indices de saturation des minéraux	139
Tableau (V.8) :	Paramètres statistiques des éléments chimiques	141
Tableau (V.9) :	Matrice de corrélation des éléments chimiques	142
Tableau (V.10) :	Pourcentage de la variance exprimée	142

<b>Chapitre I</b>	<b>Présentation de la région d'étude</b>	
Figure (I.1) :	Délimitation de la zone d'étude	31
Figure (I.2) :	Délimitation du bassin versant d'étude	33
Figure (I.3) :	Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Djemaa	36
Figure (I.4) :	Courbe des fréquences altimétriques du bassin versant de l'Oued Djemaa	40
Figure (I.5) :	Principaux affluent de l'Oued Djemaa	40
Figure (I.6) :	Hiérarchisation du réseau hydrographique de l'Oued Djemaa	41
Figure (I.7) :	Ordre du cours d'eau de l'Oued Djemaa	43
Figure (I.8) :	Profil en long de l'oued Djemaa	44
<b>Chapitre II</b>	<b>Cadre géologique et climatologique</b>	
Figure (II.1) :	Carte géologique du bassin versant de l'Oued Djemaa d'après les cartes géologiques d'AMIZOUR et ZIAMA	55
Figure (II.1) :	Variation des précipitations moyennes mensuelles	60
Figure (II.2) :	Températures moyenne mensuelles de la zone d'étude	61
Figure (II.3) :	Humidité moyenne mensuelle de la région de Bejaia (2005-2009)	61
Figure (II.4) :	Vitesses du vent mensuelles moyennes à la station de BEJAIA	62
Figure (II.5) :	Tension de vapeur à la station de BEJAIA	62
Figure (II.6) :	Diagramme Ombrothermique de la zone d'étude	64
Figure (II.7) :	Températures moyenne maximales et minimales mensuelles (1970-2009, station météorologique de Bejaia)	65
Figure (II.8) :	Situation bioclimatique de Bejaia sur le climagramme d'EMBERGER	66
<b>Chapitre III</b>	<b>Propriétés de l'eau</b>	
Figure (III.1) :	Le cycle de l'azote	73
<b>Chapitre IV</b>	<b>Matériels et méthodes</b>	
Figure (IV.1) :	Schéma de principe d'un spectrophotomètre	79
Figure (IV.2):	Schéma de principe d'un photomètre de flamme	80

Figure (IV.3) :	Le GPS GARMIN ETREX H	81
Figure (IV.4) :	Le colorimètre (HACH HD/890)	82
Figure (IV.5) :	Le multi paramètre (inoLAB* pH/ION/Cond 750)	83
Figure (IV.6) :	Le colorimètre (HACH HD/890)	84
Figure (IV.7) :	Le photomètre à flamme JENWAY	89
Figure (IV.8) :	Le spectrophotomètre OPTIZEN 3220 UV	90
Figure (IV.9) :	Appareil de mesure de la DBO <sub>5</sub> OXI <sup>Top</sup> ® IS 6	94
<b>Chapitre V</b>	<b>Etude hydrochimique</b>	
Figure (V.1) :	Carte du réseau échantillonné	99
Figure (V.2) :	Evolution de la conductivité électrique le long du cours d'eau d'Oued Djemaa	103
Figure (V.3) :	Matières en suspension et turbidité des eaux d'Oued Djemaa	103
Figure (V.4) :	Evolution de la salinité le long du cours d'eau d'Oued Djemaa	104
Figure (V.5) :	Evolution du calcium le long du cours d'eau d'Oued Djemaa	105
Figure (V.6) :	Evolution du magnésium le long du cours d'eau d'Oued Djemaa	105
Figure (V.7) :	Evolution du sodium le long du cours d'eau d'Oued Djemaa	106
Figure (V.8) :	Evolution du potassium le long du cours d'eau d'Oued Djemaa	107
Figure (V.9) :	Evolution des chlorures le long du cours d'eau d'Oued Djemaa	108
Figure (V.10) :	Evolution des sulfates le long du cours d'eau d'Oued Djemaa	109
Figure (V.11) :	Evolution des bicarbonates le long du cours d'eau d'Oued Djemaa	109
Figure (V.12) :	Evolution des nitrates le long du cours d'eau d'Oued Djemaa	110
Figure (V.13) :	Evolution des phosphates le long du cours d'eau d'Oued Djemaa	111
Figure (V.14) :	Evolution du fer et des bromures le long du cours d'eau d'Oued Djemaa	111
Figure (V.15) :	La concentration en oxygène dissous le long du cours d'eau d'Oued Djemaa	112
Figure (V.16) :	Evolution de la conductivité électrique des eaux de surface d'Oued Djemaa	114
Figure (V.17) :	Evolution de la salinité des eaux de surface d'Oued Djemaa	115
Figure (V.18) :	Les matières en suspension, la turbidité et la DBO <sub>5</sub> du cours	116

	d'eau d'Oued Djemaa	
Figure (V.19) :	La concentration en oxygène dissous le long du cours d'eau d'Oued Djemaa	117
Figure (V.20) :	Evolution des concentrations en cations des eaux de surface d'Oued Djemaa	118
Figure (V.21) :	Evolution des concentrations en anions des eaux superficielles de l'Oued Djemaa	118
Figure (V.22) :	Evolution des concentrations en anions des eaux superficielles de l'Oued Djemaa	119
Figure (V.23) :	Evolution des teneurs en fer et bromures des eaux superficielles de l'Oued Djemaa	120
Figure (V.24) :	Diagramme de PIPER -Campagne de Décembre 2010-	121
Figure (V.25) :	Diagramme de PIPER -Campagne d'Avril 2011-	122
Figure (V.26) :	Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF –Campagne de Décembre 2010-	123
Figure (V.27) :	Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF –Campagne d'Avril 2011-	124
Figure (V.28) :	Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF –Campagne de Décembre 2010-	126
Figure (V.29) :	Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF -Campagne d'Avril 2011-	127
Figure (V.30) :	Evolution et distribution des faciès chimiques -Décembre 2011-	129
Figure (V.31) :	Evolution et distribution des faciès chimiques -Avril 2010-	130
Figure (V.32) :	Détermination de l'origine du calcium -Décembre 2011-	131
Figure (V.33) :	Détermination de l'origine du calcium -Avril 2010-	132
Figure (V.34) :	Détermination de l'origine du sodium -Décembre 2010-	133
Figure (V.35) :	Détermination de l'origine du sodium -Avril 2011-	133
Figure (V.36) :	Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique - Décembre 2010-	134
Figure (V.37) :	Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique -Avril 2011-	134
Figure (V.38) :	Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la	135



	conductivité -Décembre 2010-	
Figure (V.39) :	Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la Conductivité -Avril 2011-	135
Figure (V.40) :	Principaux processus de transformation des formes d'azotes contenus dans les affluents et déchets	136
Figure (V.41) :	Variation des indices de saturation des minéraux des eaux souterraines (Décembre 2010)	137
Figure (V.42) :	Variation des indices de saturation des minéraux des eaux souterraines (Avril 2011)	138
Figure (V.43) :	Variation des indices de saturation des minéraux des eaux de surface (Décembre 2010)	138
Figure (V.44) :	Variation des indices de saturation des minéraux des eaux de surface (Avril 2011)	139
Figure (V.45) :	Histogramme des valeurs propres	143
Figure (V.46) :	Espace des variables de l'ACP globale	143

### **Annexe I**

- Tableau (1) : Répartition des altitudes en fonction de la surface.
- Tableau (2) : Classification d'ORSTOM.
- Tableau (3) : Variation d'altitude du cours d'eau de l'Oued Djemaa.
- Tableau (4) : Répartition générale des terres.
- Tableau (5) : Répartition de la population du bassin versant de l'Oued Djemaa.
- Tableau (6) : Unités industrielles du secteur public.
- Tableau (7) : Principales entreprises du secteur des PME / PMI (Prive).
- Tableau (8) : Producteurs d'agrégats.
- Tableau (9) : Principales huileries dans la région d'étude.
- Tableau (10) : Occupation des sols par commune.

### **Annexe II**

- Tableau (1) : Les normes de qualité de l'eau de source et de puits journal officiel de la république Algérienne N°51 20 Août 2000.
- Tableau(2) : Les normes de qualité de l'eau potable selon (O.M.S).
- Tableau(3) : Les normes françaises de l'eau potable.

### **Annexe III**

- Tableau (1) : Mode d'échantillonnage.
- Tableau (2) : Préparation des solutions.
- Tableau (3) : Courbe d'étalonnage du potassium.
- Tableau (4) : Etablissement de la courbe d'étalonnage du sodium.
- Tableau (5) : Etablissement de la courbe d'étalonnage des nitrates.
- Tableau (6) : Etablissement de la courbe d'étalonnage des sulfates.
- Tableau (7) : Etablissement de la courbe d'étalonnage des phosphates.
- Tableau (8) : Convertisseur des valeurs affichées pour la  $DBO_5$ .
- Figure (1) : Courbe d'étalonnage du potassium.
- Figure (2) : Courbe d'étalonnage du sodium.
- Figure (3) : Courbe d'étalonnage des nitrates.
- Figure (4) : Courbe d'étalonnage des sulfates.
- Figure (5) : Courbe d'étalonnage des phosphates.



ACF : Action contre la faim.

ACP : Analyse en Composantes Principales.

AFNOR : Association Française de Normalisation.

AgNO<sub>3</sub> : Nitrate d'argent.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

Br : Brome.

C<sub>a</sub> : Coefficient d'allongement.

CaCO<sub>3</sub>: Calcite.

CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> : Oxalate de calcium.

CaF: Fluorine.

Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> : Bicarbonate de calcium.

CaMgCO<sub>3</sub> : Dolomie.

CaSO<sub>4</sub> : Gypse.

Ca<sup>2+</sup> : Calcium.

Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> : L'apatite.

CE : Conductivité électrique.

C.G.G : Compagnie Générale de Géophysique.

C<sub>HCl</sub> : Concentration d'acide chlorhydrique.

Cl<sup>-</sup> : Chlorures Acide chlorhydrique.

C<sub>t</sub> : Coefficient de torrentialité.

CO<sub>2</sub>: Oxyde de carbone.

DBO<sub>5</sub> : Demande biologique en oxygène sur 5 jours.

DCO : Demande chimique en oxygène.

D<sub>d</sub>: Densité de drainage.

DHW : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya.

DEMHR : Direction des études de milieu et de la recherche hydrique

D.S.A : Direction des Services Agricoles.

D.P.A.T. : Direction de la Planification et de l'aménagement de territoire.

D<sub>s</sub> : Dénivelée spécifique.

E.D.T.A : Acide éthylène diamine tétra-acétique.

EH : équivalent habitant.

EPA : Environmental Protection Agency.

Evp : Evapotranspiration.

F : Densité hydrographique.

FAU : Formazine attenuation unitide.

Fe : Fer.

Fer T : Fer total.

Hab : Habitant.

H : Heure.

h : Différence entre l'altitude moyenne et celle de l'exutoire.

HCl : Acide chlorhydrique.

$\text{HCO}_3^-$  : Bicarbonates.

$H_i$  : Altitude moyenne de l'aire comprise entre deux courbes de niveau.

$H_{\max}$  : Altitude maximale du talweg le plus long.

$H_{\text{médiane}}$  : Altitude médiane.

$H_{\min}$  : Altitude minimale du talweg le plus long.

$H_{\text{moy}}$  : Altitude moyenne du bassin versant.

$\text{H}_2\text{CO}_3$  : Acide carbonique.

$\text{H}_3\text{O}^+$  : Ion hydronium.

$H_{5\%}$  : Altitude à 5% de la surface du bassin versant.

$H_{50\%}$  : Altitude à 50% de la surface du bassin versant.

$H_{95\%}$  : Altitude à 95% de la surface du bassin versant.

I : Pente moyenne du bassin.

$I_g$  : Indice de pente global.

$I_{\text{moy}}$  : Indice de pente moyenne.

$I_s$  : Indice de saturation.

K : La constante d'équilibre.

$\text{K}^+$  Potassium.

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  : Bichromates de potassium.

$K_G$  : Indice de compacité de GRAVELIUS.

$\text{KH}_2\text{PO}_4$  : Hydrogénophosphate de potassium sec.

Km : Kilomètre.

L : Chemin hydraulique.

$L_{\text{CE}}$  : Longueur du cours d'eau.

$L_{\text{moy}}$  : Largeur moyenne du bassin versant.

$L_n$  : Longueur moyenne des cours d'eau.

$L_r$  : Longueur du rectangle équivalent.

$l_r$  : Largeur du rectangle équivalent.

M : Température maximale du mois le plus chaud.

m: Température minimale du mois le plus froid.

MES : Matières en suspension.

Mg<sup>2+</sup> Magnésium.

Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> : Bicarbonate de Magnésium.

MgCO<sub>3</sub> : Magnésie.

mg/l : Milligramme par litre.

(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>,MO<sub>7</sub> O<sub>24</sub>,4H<sub>2</sub>O : Molybdate d'ammonium.

Na<sup>+</sup> : Sodium.

NaCl : Chlorures de sodium.

N<sub>AgNO<sub>3</sub></sub> : Normalité de la solution de nitrate d'argent.

NaOH : Hydroxyde de sodium.

N<sub>2</sub> : Diazote.

NH<sub>4</sub>Cl : Chlorure d'ammonium.

N<sub>1</sub> : Nombre de talwegs d'ordre 1.

N<sub>Cl<sup>-</sup></sub> : Normalité des chlorures.

N<sub>EDTA</sub> : Normalité de la solution de complexons III (Na<sub>2</sub>EDTA).

N<sub>i</sub> : Nombre de cours d'eau.

N<sub>n</sub> : Nombre de cours d'eau d'ordre n.

N<sub>n+1</sub> : Nombre de cours d'eau d'ordre n+1.

N<sub>Mg<sup>2+</sup></sub> : La concentration en magnésium.

NO<sub>2</sub><sup>-</sup> : Nitrites.

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> : Nitrates.

NTU : Nephelometric Turbidity Unit.

O<sub>2</sub> : Gaz d'oxygène.

O.MS : Organisation Mondiale de la Santé.

O.N.M. Office National de la Météorologie.

ORSTOM : Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre-Mer.

P : Précipitations annuelles.

P<sub>BV</sub> : Périmètre stylisé du bassin versant.

PI : Produit ionique.

pH : Potentiel d'Hydrogène.

PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> Phosphates.

Q : Débit d'écoulement.

$Q_2$  : Le quotient d'EMBERGER.

$R_c$  : Rapport de confluence.

S.A.U. Surface agricole utile.

$S_i$  : Surface élémentaire.

$R_L$  : Rapport des longueurs.

S : Superficie du bassin versant.

Sal : Salinité.

$S_i$  : Surface partielle entre deux courbes de niveau.

$SiO_2$  : Dioxyde de silicium

$Sn Cl_2, 2H_2O$  : Chlorure stanneux

$SO_4^{2-}$  : Sulfates

$S_T$  : Surface totale du bassin versant.

T : Température.

TA : Titre Alcalimétrique.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

$T_c$  : Temps de concentration.

TH : Titre Hydrométrique.

Turb : Turbidité.

UV-Visible : Ultraviolet-Visible.

$V_2$  : Volume d'acide versé.

$V_1$  : Volume d'acide versé.

$V_0$  : Volume d'échantillon.

$V_{\text{échantillon}}$  : Volume d'échantillon.

$V_{\text{EDTA}}$  : Volume de la solution de complexons III ( $Na_2EDTA$ ).

$V_1$  : Volume d'acide versé.

$V_{\text{AgNO}_3}$  : Volume de nitrate d'argent.

$V_c$  : Vitesse de concentration.

$\sum L_i$  : Somme des longueurs totales cumulées de l'ensemble des talwegs.

# INTRODUCTION GENERALE



## **1. Introduction**

L'eau représente à l'échelle de la planète un élément vital pour la subsistance de tout être vivant. C'est aussi un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique depuis l'aube de l'humanité. Les dernières décennies ont été caractérisées par une industrialisation galopante et par une sécheresse intense qui touche l'Algérie d'une manière générale. Cette situation rend le domaine de l'eau de plus en plus vital et les nappes aquifères de plus en plus vulnérables à la pollution [21].

Toutes les eaux de consommation n'ont pas la même composition chimique, c'est à dire qu'elles ne contiennent pas toutes les mêmes substances minérales. Pour que l'eau s'imprègne de minéraux et se charge parfois en gaz carbonique (dioxyde de carbone), elle doit séjourner de nombreuses années dans le sous-sol. Chaque eau acquiert sa composition minérale spécifique selon la constitution des couches rocheuses traversées. Les substances minérales sont très importantes pour l'organisme humain, malheureusement il ne peut les produire lui-même et doit donc les rechercher dans la nourriture.

La bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude, des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère et des directions d'écoulement des eaux souterraines joue un rôle majeur dans la compréhension de l'évolution des éléments chimiques, la protection et la compréhension des phénomènes de pollution au niveau de la nappe

La région d'étude se situe sur le littoral méditerranéen, à l'Est, dans le golfe de BEJAÏA. Cette étude a pour objet la connaissance des caractères géologiques, hydrologiques, et hydrochimiques de ce bassin versant avec une mise en relief des différentes sources de pollution et leur impact sur les eaux souterraines de l'aquifère superficiel et les eaux de surface.

## **2. Motivation et cadre du projet**

Le bassin versant de l'Oued Djemaa a été choisi par le labo de recherche du département d'hydraulique de l'université ABDERAHMAN MIRA de BEJAIA, en raison de sa représentativité dans la région d'un côté, et d'autre par manque de données sur ce dernier. En effet, aucune étude n'existe encore sur ce sujet bien que de nombreuses rivières fassent annuellement l'objet de suivi et d'étude sur la qualité des eaux.

Dans ce qui suit, nous nous intéresserons à l'intégralité du bassin versant pour l'étude qualitative. Néanmoins, pour ce qui concerne la partie hydrochimie on a essayé de toucher plusieurs endroits où il y a possibilité d'accéder.

Afin de concrétiser ce projet, un suivi de la qualité physico-chimique des eaux souterraines et de surface a été réalisé. Deux campagnes (Avril 2010) et (Décembre 2011) ont été effectuées. Plusieurs outils (Chimique, statistique et informatique) ont été utilisés pour mieux interpréter les données acquises.

### **3. Objectifs**

Dans cette étude, nous allons essayer de mieux comprendre l'impact des paramètres climatiques et lithologiques sur la qualité de cette ressource. Le programme d'action pour la réalisation de ce travail doit répondre aux préoccupations suivantes :

- Quel est l'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines de la nappe?
- Quels sont les mécanismes physico-chimiques régissant l'évolution des éléments chimiques dans le temps et dans l'espace (Influence de la lithologie et des facteurs climatiques sur le chimisme de la nappe)?
- Quels sont les différents polluants chimiques existant dans l'eau ainsi que leurs origines ?

### **4. Structure du mémoire**

Afin de répondre à ces préoccupations, nous avons structuré notre travail en six chapitres à savoir :

- En premier lieu on a commencé par une synthèse des travaux effectués dans la région d'étude.
- Le premier chapitre est consacré à une étude du milieu physique. L'environnement général, les caractéristiques géographiques et hydrologiques ainsi que les enjeux socio-économiques et leur répartition spatiale pour définir le niveau de vulnérabilité sont abordés.
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude géologique, consiste à définir la lithologie des formations constituant le bassin versant ainsi une description des différents paramètres climatiques, tels que le type de climat, l'évolution des précipitations, l'évolution des températures, l'estimation de l'évaporation et le calcul du bilan hydrologique.
- Le troisième chapitre présente les caractéristiques des eaux naturelles.
- Le quatrième chapitre comportera les différentes méthodes et matériels utilisés pour élaborer les analyses des eaux.
- Le cinquième et dernier chapitre concerne l'hydrochimie. Ce chapitre portera sur les résultats des différentes analyses physico-chimiques des interprétation des données des analyses physico-chimiques des différents échantillons (35 échantillons), pour deux campagnes d'échantillonnages effectuées à deux périodes différentes, (18 échantillons concernent le mois de Décembre 2010), (17 échantillons concernent le mois d'Avril 2011) qui nous permis de :

- Déterminer la répartition quantitative des éléments chimiques.
- Déterminer les principaux faciès chimiques des eaux et leur relation avec l'environnement géologique.
- Avoir une idée générale sur la qualité chimique des eaux.
- Déterminer l'origine des différents paramètres et leur influence sur l'évolution chimique des eaux.

Nous terminons par une synthèse des différents résultats obtenus sous forme de conclusion générale et de recommandations utiles pour les travaux futurs.

TRAVAUX  
ANTERIEURS

Le bassin versant de l'Oued Djemaa n'a pas fait l'objet d'un énorme de travaux et d'études multidisciplinaires : Géologiques, minières, géophysiques, hydrogéologiques, hydrochimie et synthèses. Le peu d'études menées par la Direction des Etudes de Milieu et de la Recherche Hydrique et la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de BEJAIA ça remonte aux années Soixante-dix.

En **1973**, des travaux d'inventaires des puits et forages de la plaine côtière de BEJAIA ; ont été effectués par **BIRH** à la demande de **DEMRH**. Des analyses d'eau ont été faites lors de l'inventaire des puits en été 1973. Elles ont permis l'élaboration d'une carte de résidus secs.

Les travaux réalisés par **BOUZNAD** sur l'hydrogéologique de nappes phréatiques de la plaine côtière de BEJAIA les années **1974** ont révélé l'exploitation des réserves en eau de la plaine pour différents besoins en eau à savoir : L'alimentation en eau potable (TICHY- SOUK EL TENINE) 280 000 m<sup>3</sup>/an, ville de BEJAIA : 3 hm<sup>3</sup>/an à partir de Oued Djemaa, l'agriculture utilise 540 000 m<sup>3</sup>/an, irrigation de la plaine de Souk El Tenine 12,5 m<sup>3</sup>/an. Globalement, on exploite 16,3 hm<sup>3</sup>/an, soit environ la moitié des ressources en eau théoriquement disponible.

Pour l'année **1975**, la Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique sous-direction des ressources en eau, se propose de décrire la plaine côtière de BEJAIA bordant le golfe de BEJAIA entre l'Oued Soummam et l'Oued Agrioun. Cette dernière a été établie par la **SONADE**.

Durant la même année des essais de pompage dans les puits et forages de la plaine côtière de BEJAIA ont été effectués par **ZWAHLEN** au profit de la **DEMRH**. C'est une étude hydrodynamique qui a permis de constater la transmissivité de la nappe.

En **2004**, la Direction de l'hydraulique de la Wilaya de BEJAIA a confié une étude géophysique de la plaine alluviale de l'Oued Djemaa aux bureaux d'études **EDS – BOUDEFOUA Engineering & DIDACTIC Service**. La campagne d'investigation géophysique consiste à couvrir une superficie d'environ 20 hectares. Les objectifs poursuivis par cette étude sont les suivants : Mise en évidence d'alluvions grossières susceptibles de fournir des débits intéressants, établir des cartes des résistivités apparentes et de dresser une carte du toit du substratum et si possible fournir une estimation des réserves de la nappe. Au cours de cette étude quinze sondages électriques en ligne AB égale à 200m y ont été réalisés suivant des profils Est-Ouest distant de 50 m à 80 m.

En effet, les sondages électriques repartis sur la nappe alluviale de l'oued Djemaa, ont permis d'aboutir aux résultats suivants : Délimitation en place de l'ancien lit d'oued et la détermination des zones où le substratum résistant méritait d'être testé.

# CHAPITRE I

Avant d'aborder la problématique de notre sujet, il est nécessaire de définir un territoire de travail approprié. Le bassin versant constitue pour cela le meilleur cadre. Cette partie est consacrée à une présentation du terrain d'étude, qui contient l'ensemble des éléments suivants : la situation géographique du bassin versant, les caractéristiques du relief et l'occupation du sol.

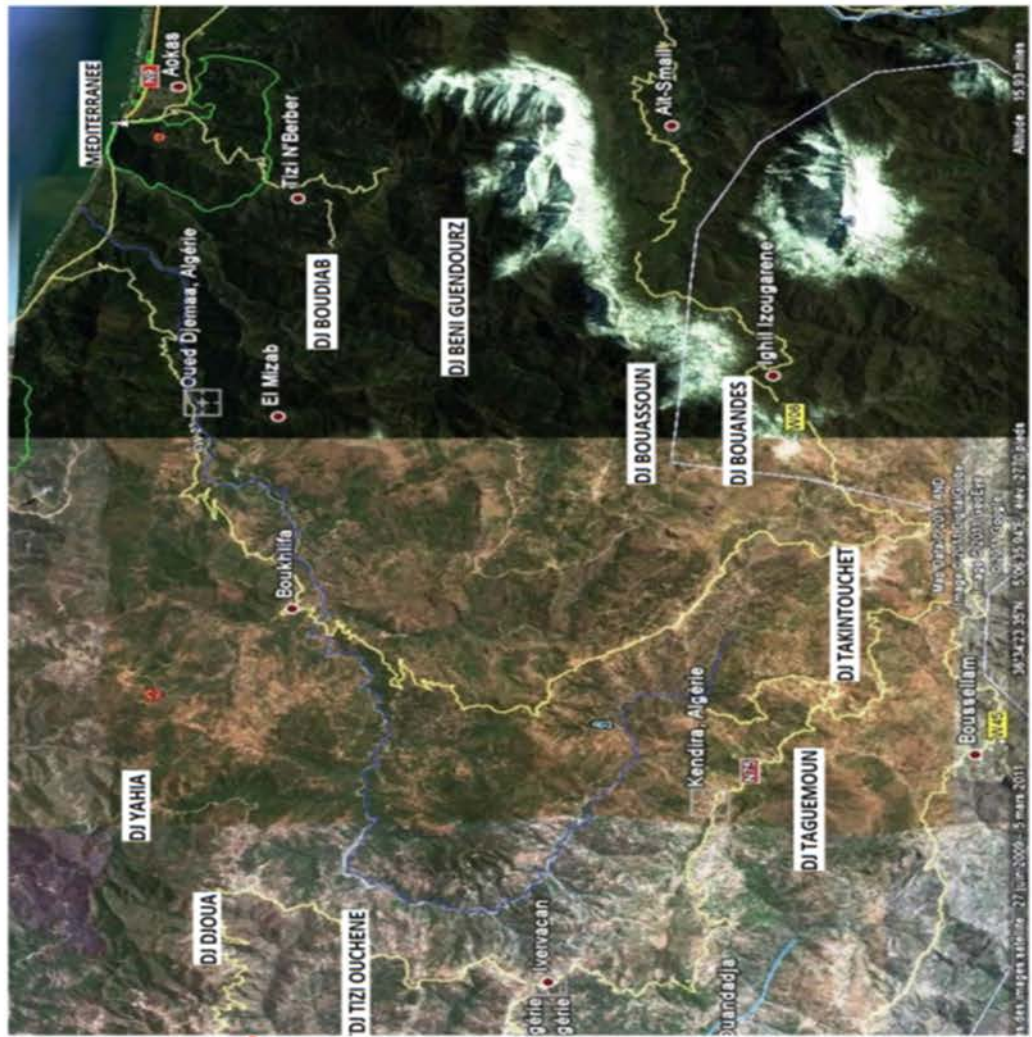
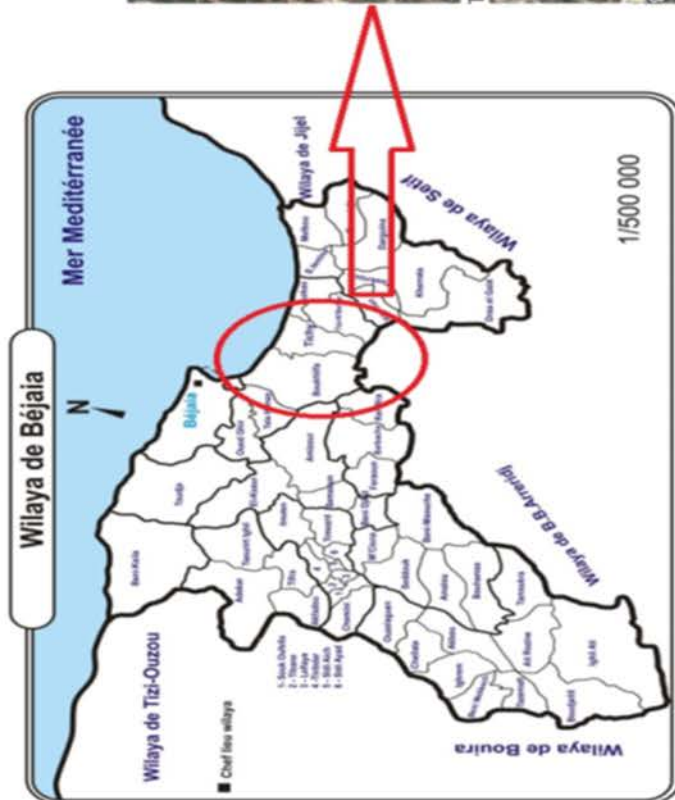
## **I.1. Situation géographique**

### **I.1.1 Situation et limites**

L'Oued Djemaa prend sa source sur le flanc Ouest du massif des BABORD. Il naît en amont de KENDIRA, à 1600 mètres d'altitude, et s'étend sur cinq communes (TICHY, AOKAS, BOUKHELIFA, BARBACHA et KENDIRA). Il emprunte le défilé de KENDIRA, BARBACHA, BOUKHELIFA puis débouche en mer au niveau de la plaine de TICHY à 2 km environ de la ville, aux coordonnées Lambert X = 723,437, Y = 373,885 (Carte topographique N° 47 d'AMIZOUR et N° 48 de ZIAMA à l'échelle 1/50 000).

La limite Nord est occupée par la Méditerranée, à l'Est et l'Ouest par des massifs de bordures et au Sud par des monts relativement très élevés (Djebel TAGUEMOUN, à 1400 m, Djebel TAKINTOUCHET à 1657 m, Djebel BOU ASSOUN à 1698 m et Djebel BOUANDESSE à 1610 m). Administrativement, la région d'étude fait partie de la wilaya de BEJAIA.

La figure suivante représente la situation du bassin versant d'étude.





### **I.1.2 Caractéristiques du bassin versant de l'Oued Djemaa**

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau. Lors de notre visite sur le terrain, nous avons pu constater que le lit est constitué principalement des schistes ardoisés dans sa partie amont et de sables, avec parfois la présence de graviers à l'aval. Les berges semblent instables sur les deux rives et peu inclinées. Les principales caractéristiques physiographiques et géomorphologiques d'un bassin versant étudié ont une importance majeure car elles interviennent, et souvent d'une façon combinée, dans les modalités de l'écoulement superficiel. Les caractéristiques physiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage [41].

Le bassin versant étudié dans le présent mémoire est caractérisé par un contour quelconque, il est déterminé à partir des cartes topographiques à l'échelle 1/50 000<sup>ème</sup> géoréférencées sous un SIG, en suivant la ligne conventionnelle de partage des eaux. La figure (I.2) présente la délimitation du bassin versant en question.

Le comportement hydrologique d'un bassin versant est influencé par les facteurs physiographiques suivants :

#### **I.1.2.1 Caractéristiques physiques**

##### **A. Surface et périmètre**

La surface du bassin d'un cours d'eau donné en un point de celui-ci est l'aire limitée par le contour, à l'intérieur duquel l'eau précipitée se dirige vers ce point. La superficie d'un bassin versant est une dimension importante à connaître, car elle est la base de tous les calculs hydrologiques (Bilan, module, débit spécifique ... etc). La mesure de cette surface suppose d'abord la délimitation du bassin par la ligne de partage des eaux qui est matérialisée par les lignes de crêtes.

Les limites du bassin de l'Oued Djemaa sont très nettes en zones montagneuses où les reliefs sont très apparents, ils ne sont pas de même pour les plaines à topographie plane et aux formations superficielles perméables.

La surface du bassin versant peut être mesurée par superposition d'une grille dessinée sur papier transparent, par l'utilisation d'un planimètre ou, mieux, par des techniques de digitalisation.

Dans notre cas, on a utilisé le logiciel MAP INFO pour l'évaluation de la superficie ainsi que le périmètre du bassin versant.

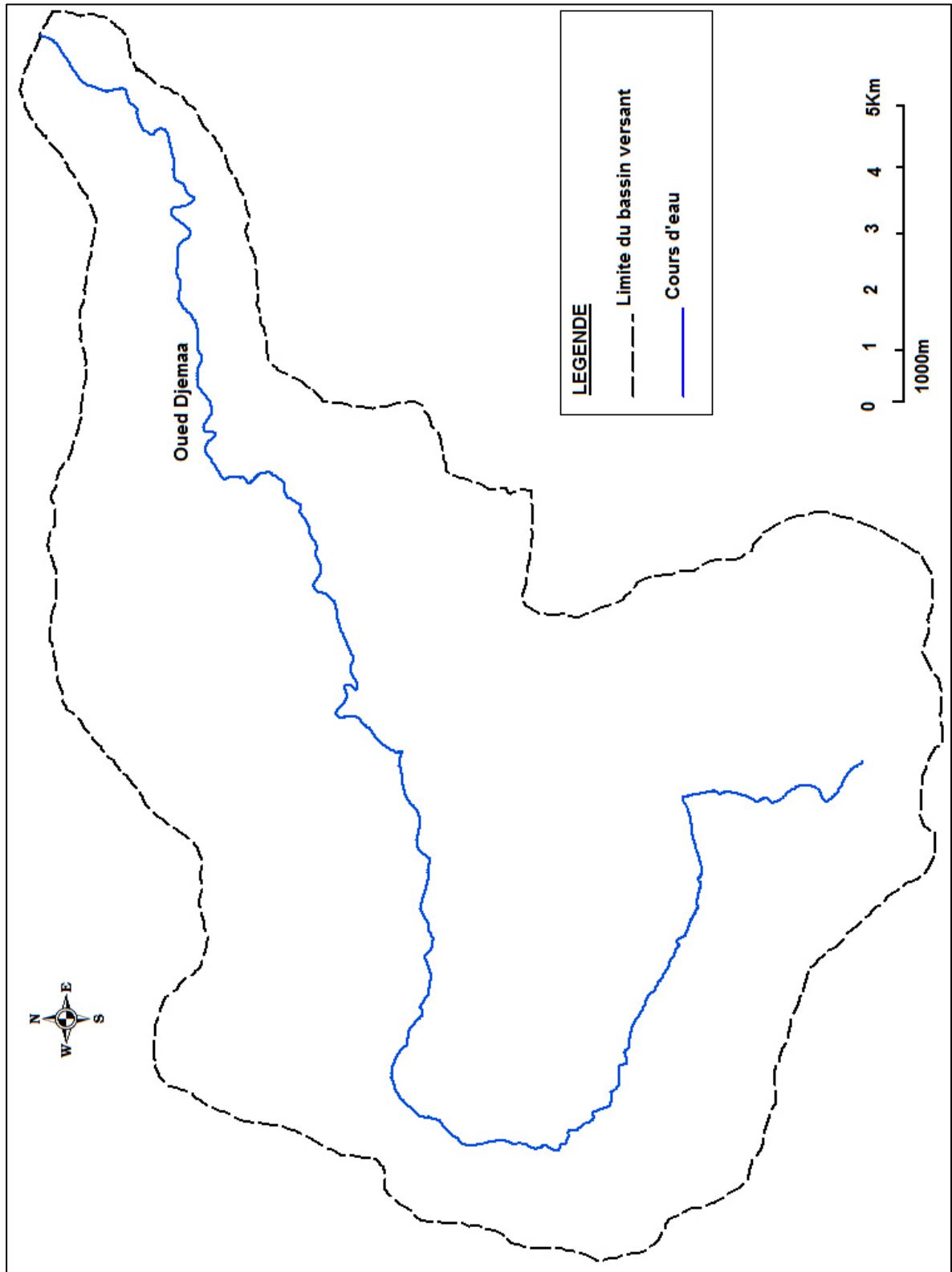


Figure (I.2) : Délimitation du bassin versant d'étude

## B. Largeur moyenne du bassin versant

La largeur moyenne du bassin versant est calculée selon la relation suivante [9] :

$$L_{moy} = \frac{S}{L} \quad (I.1)$$

Où,

- S : Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>).
- L : Longueur du talweg le plus long (Km).

$$L_{moy} = 4,45 \text{ Km}$$

### I.1.2.2. Paramètre de forme

#### A. Coefficient d'allongement

Le coefficient d'allongement est le rapport de la longueur totale du bassin versant au carré par sa surface. Il est obtenu à partir de la relation suivante [58]:

$$C_a = \frac{L_{CE}^2}{S} \quad (I.2)$$

Où,

- L<sub>CE</sub> : Longueur du cours d'eau (Km).
- S : Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

$$C_a = 8,82$$

#### B. Indice de compacité de GRAVELIUS

L'indice de compacité de GRAVELIUS est défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. Il s'exprime par [43] :

$$K_G = 0,28 \times \frac{P_{BV}}{\sqrt{S}} \quad (I.3)$$

Où,

- P<sub>BV</sub> : Périmètre stylisé en du bassin versant (Km).
- S : Superficie du bassin versant en (Km<sup>2</sup>) [11].

$$K_G = 1,46$$

Une telle valeur (K<sub>G</sub>=1,46) correspond à un bassin versant de forme peu allongée 1 < K<sub>G</sub> < 1,5 ce que montre bien le dessin du bassin versant (Figure (I.2)).

Une autre façon de caractériser l'allongement est de calculer le rectangle équivalent selon ROCHE (bassin versant de forme rectangulaire de même superficie et ayant le même indice de compacité).

### C. Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent ou rectangle de GRAVELIUS correspond à une transformation purement géométrique du bassin versant. Il prend alors une forme rectangulaire tout en gardant la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité et par conséquent la même répartition hypsométrique. Dans ce cas, les courbes de niveau deviennent parallèles aux côtés du rectangle équivalent. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau. Plus un rectangle équivalent est allongé moins il sera drainé [35].

Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes [28] :

$$\text{➤ Longueur : } L_r = \frac{K_G \sqrt{S}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - (1,12/K_G)^2} \right] \quad (\text{I.4})$$

$$\text{➤ Largeur : } l_r = \frac{K_G \sqrt{S}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - (1,12/K_G)^2} \right] \quad (\text{I.5})$$

Avec,

- $K_G$  : Indice de compacité de GRAVELIUS.
- $S$  : Superficie du bassin versant en (Km<sup>2</sup>).
- $L_r$  : Longueur du rectangle équivalent en (Km).
- $l_r$  : Largeur du rectangle équivalent en (Km).

$$L_r = 24,33 \text{ Km}$$

$$l_r = 10,14 \text{ Km}$$

#### I.1.2.3 Paramètres de relief

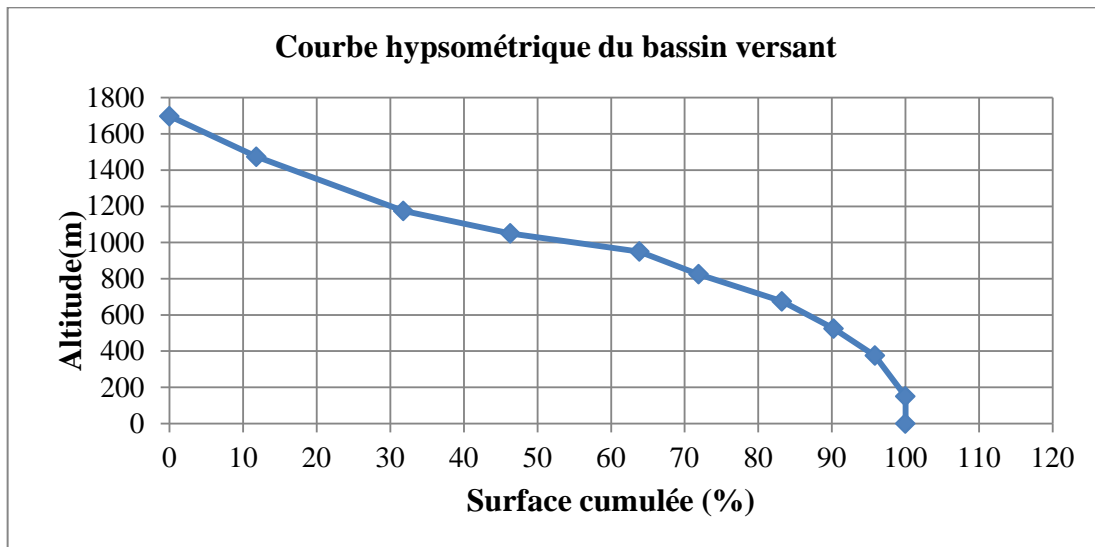
La plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont en fonction de l'altitude car c'est de la pente du relief dont dépend le gradient pluviométrique et thermique, ainsi que la vitesse d'écoulement qui sera en principe plus importante en montagne qu'en plaine.

### A. Courbe hypsométrique

Le relief est également caractérisé par la courbe hypsométrique du bassin versant. Cette dernière qui fournit une vue synthétique de la pente du bassin, représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (Ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (Ou en-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. La courbe hypsométrique du bassin donne ainsi le pourcentage de la superficie du bassin versant situé au-dessus d'une altitude donnée [8].

Les surfaces partielles, comprises entre les courbes de niveau sont calculées sur la base d'informations topographiques des cartes au 1/50 000<sup>ème</sup> (Tableau 1, Annexe (I)).

Les figures ci-dessous présentent la courbe hypsométrique et la courbe des fréquences altimétriques. Ces représentations montrent l'importance et la distribution de chaque tranche d'altitude dans notre bassin.



Figure(I.3) : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Djemaa

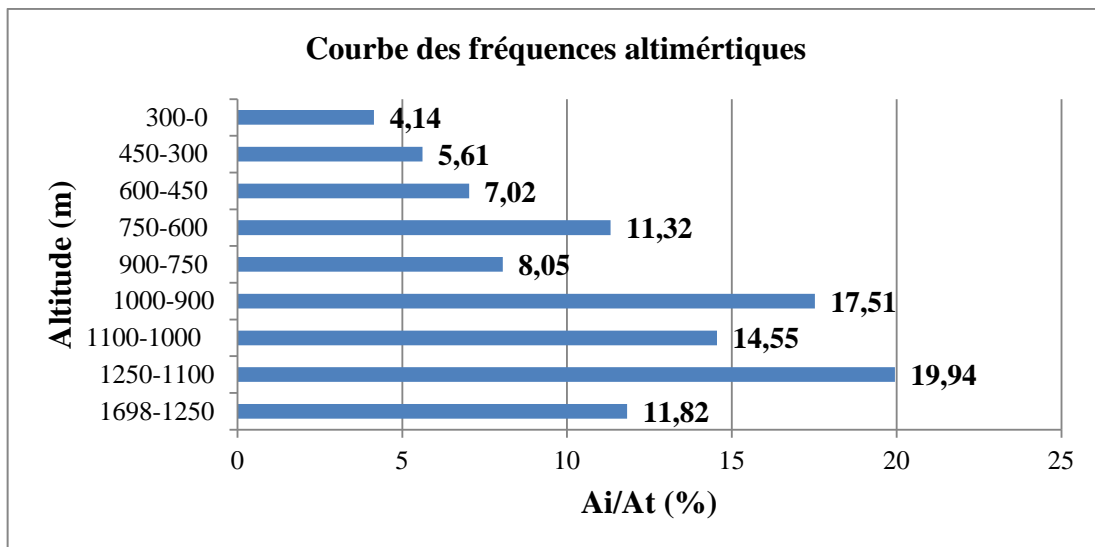


Figure (I.4) : Courbe des fréquences altimétriques du bassin versant de l'Oued Djemaa

## B. Les altitudes caractéristiques

### B.1. Les altitudes minimale et maximale

Elles sont obtenues à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale représente le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

## B.2. L'altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir en divisant le volume montagneux par la surface du bassin versant [10].

$$H_{moy} = \frac{\sum S_i \times H_i}{S_T} \quad (I.6)$$

Où,

- $S_i$  : Surface partielle entre deux courbes de niveau ( $Km^2$ ).
- $H_i$  : Altitude moyenne de l'aire comprise entre deux courbes de niveau (m).
- $S_T$  : Surface totale du bassin versant ( $Km^2$ ).

$$H_{moy} = 934,88 \text{ m}$$

Le bassin de l'Oued Djemaa atteint 1698 m à son point culminant au sommet de Djebel TAGUEMOUN, tandis que le point le plus bas correspond au niveau de la mer. L'altitude moyenne sur l'ensemble du bassin de l'Oued est de 934,88 m.

## B.3. Altitude médiane

L'altitude médiane du bassin versant est obtenue pour 50% de la surface du bassin versant, elle est obtenue de la courbe hypsométrique (Figure (I.3)).

$$H_{médiane} = 1020 \text{ m}$$

## B.4. Les altitudes à 5% et 95%

Bien souvent, on définit la dénivelée comme étant la différence de cote entre  $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$ . Sur la courbe hypsométrique, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface totale. Elles servent à évaluer la pente moyenne du thalweg principal.

## C. Indice de pente

La pente topographique est un élément capital dans le comportement hydrologique du bassin, elle détermine en grande partie l'aptitude des terrains au ruissellement et conditionne la vitesse d'écoulement des eaux de surface par l'effet de la pesanteur.

L'objet de cet indice est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications entre les bassins versants [44].

### C.1 Indice de pente globale

C'est le rapport de la dénivelée définie sur la courbe hypsométrique, à la longueur du rectangle équivalent. Elle se calcul par la formule suivante [33] :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L_{CE}} \quad (I.7)$$

Où,

- $I_g$ : Indice de pente global.
- $H_{5\%}$  : Altitude à 5% de la surface du bassin versant (m).
- $H_{95\%}$  : Altitude à 95% de la surface du bassin versant(m).
- $L_{CE}$  : Longueur du cours d'eau (Km).

$$I_g = 49,32 \text{ m/Km}$$

L'indice de pente global permet de caractériser une pente représentative de la pente moyenne des versants.

### C.2. Indice de pente moyenne

La pente moyenne est également une caractéristique intéressante, voire très importante, car, elle renseigne, graphiquement, sur la topographie du bassin. De plus, elle influence le débit de pointe lors d'une averse. A partir du rectangle équivalent, il est possible de déterminer la pente moyenne du bassin versant [35].

$$I_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_r} \quad (I.8)$$

Où,

- $I_{moy}$ : Indice de pente moyenne (‰).
- $H_{max}$  : Altitude maximale du talweg le plus long (m).
- $H_{min}$  : Altitude minimale du talweg le plus long(m).
- $L_r$  : Longueur du rectangle équivalent (Km) [47].

$$I_{moy} = 34,14 \text{ m/Km}$$

### D. Dénivelée spécifique

Elle est définie comme étant le produit de l'indice de pente global par la racine carrée de la surface du bassin versant. Elle se calcule comme suit [31,71] :

$$D_s = I_g \times \sqrt{S} \quad (I.9)$$

Où,

- $D_s$  : Dénivelée spécifique (m).
- $I_g$  : Indice de pente global (m/Km).
- $S$  : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

$$D_s = 652,25 \text{ m}$$

D'après la deuxième classification de l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre-Mer), la dénivelée spécifique du bassin de l'Oued Djemaa se trouve dans la classe R7 (Tableau 2, Annexe (I)), donc on a un relief très fort.

#### **I.1.2.4. Caractéristiques hydrographiques**

##### **A. Le réseau hydrographique**

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous affluents permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du bassin versant (Exutoire) [16].

L'Oued Djemaa est constitué de plusieurs cours d'eau à savoir : Ighzer N'LATA, Ighzer TASSIFIT, Ighzer EL ARCHA, Ighzer TEMDIT, Ighzer TAMGIT, Ighzer N'ZERGOURA, Oued AKAL, Oued AZROU HAMMAM, Oued DAHMENE, Ighzer MEZADA, Ighzer TALA MAZAGROUN, Ighzer EL MARDJ, Ighzer IREMANE, Ighzer HARICHENE, Ighzer SIDI CHABANE, Ighzer EL HAIOUT, Ighzer N'BEDDOU, Ighzer DOKAI, Ighzer OUNEDJAR, Oued TOLA, Ighzer AMILLA, Ighzer OUMALOU et Ighzer TIMCHERIT (Figure (I.5)).

##### **A.1. Structure du réseau et ordre des cours d'eau**

La topographie et la structure du bassin versant de l'Oued Djemaa a imposé la forme actuelle d'un réseau hydrographique particulièrement dense (Figure (I.6)).



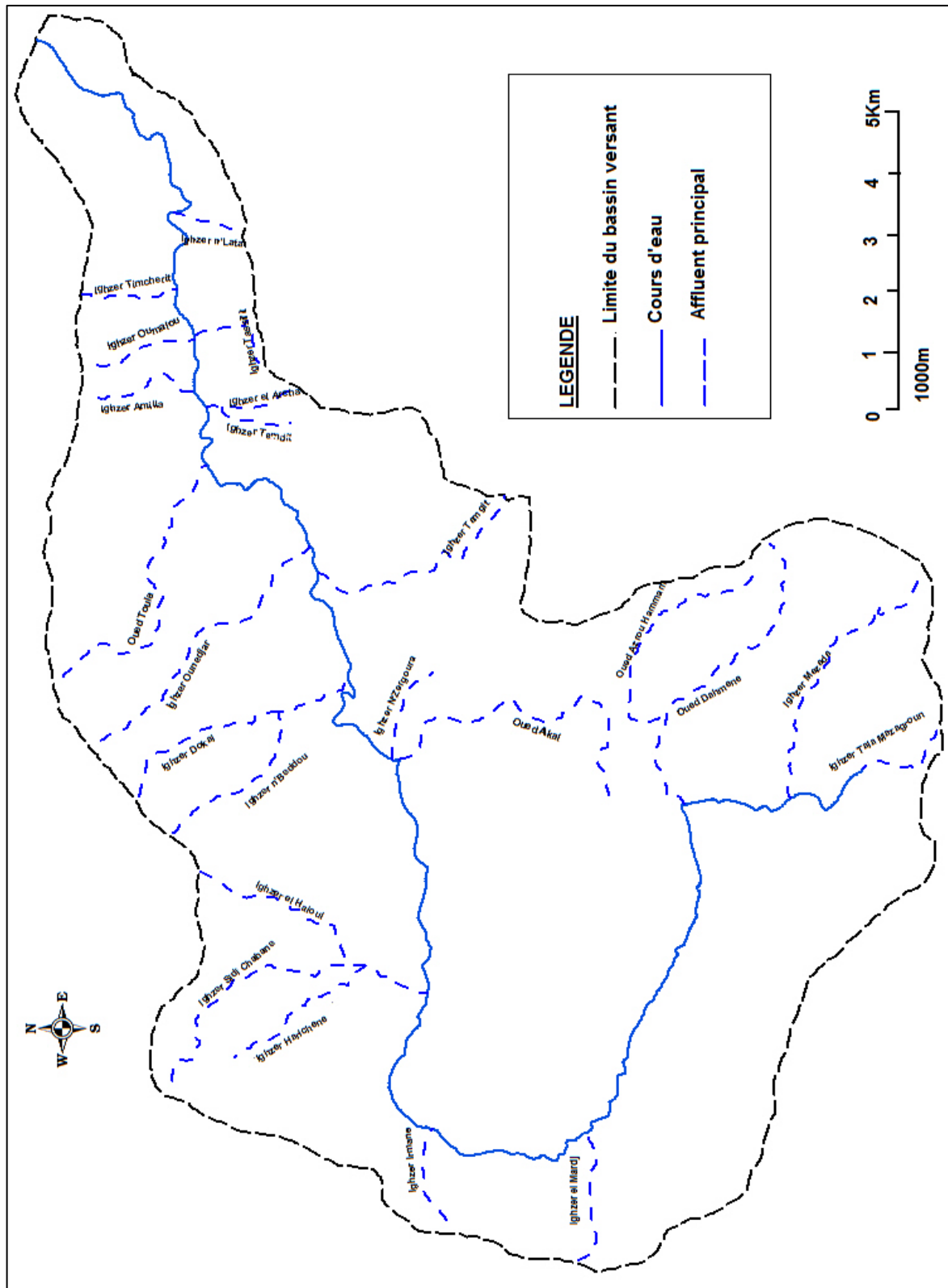


Figure (I.5) : Principaux affluents de l'Oued Djema

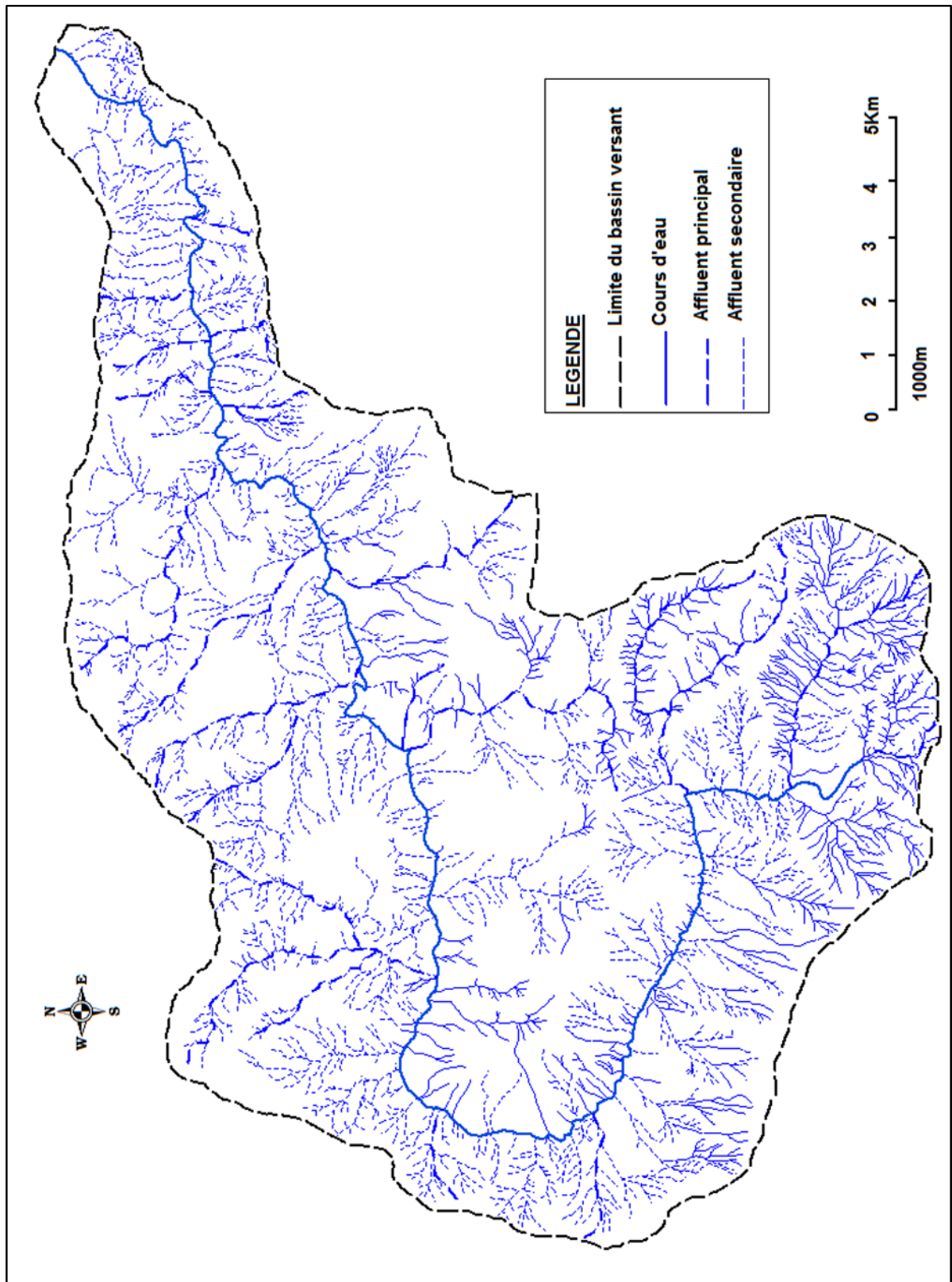


Figure (I.6) : Hiérarchisation du réseau hydrographique de l'Oued Djema

L'ordre est un indice permettant de caractériser le degré d'hierarchisation ou d'organisation du réseau de drainage. Les incisions du relief, le nombre de talwegs et des affluents sont quantifiées par l'ordre. Il existe plusieurs méthodes, dont la principale et la plus utilisée est celle de HORTON, qui énonce que :

- Tout affluent naissant seul est d'ordre 1.
- L'intersection de deux affluents de même ordre, donne naissance à un affluent d'ordre supérieur.
- L'intersection d'un affluent d'ordre X avec un autre d'ordre inférieur garde son ordre X.

Dans notre cas, la longueur des talwegs est mesurée à partir de la carte topographique (1/50 000<sup>ème</sup>) d'AMIZOUR et ZIAMA, géoréférencées sous un SIG, pour chaque ordre séparément, (Figure (I.7)).

Le réseau hydrographique de ce bassin versant est bien développé, il peut être décomposé en talweg de différent ordre.

Le tableau suivant fournit le linéaire cumulé de l'Oued d'un ordre donné ainsi que le total :

*Tableau (I.1) : Caractéristiques du réseau hydrographique de l'Oued Djemaa*

<b>Ordre</b>	<b>Nombre</b>	<b>Longueur (Km)</b>
<b>1</b>	1899	470
<b>2</b>	923	193,27
<b>3</b>	457	83,26
<b>4</b>	111	25,25
<b>5</b>	152	25,38
<b>6</b>	101	12,86
<b>Total</b>	3643	810,02

Nous concluons que, le bassin versant de l'Oued Djemaa est d'ordre 6.

Deux indicateurs peuvent être calculés par rapport à ces longueurs élémentaires.

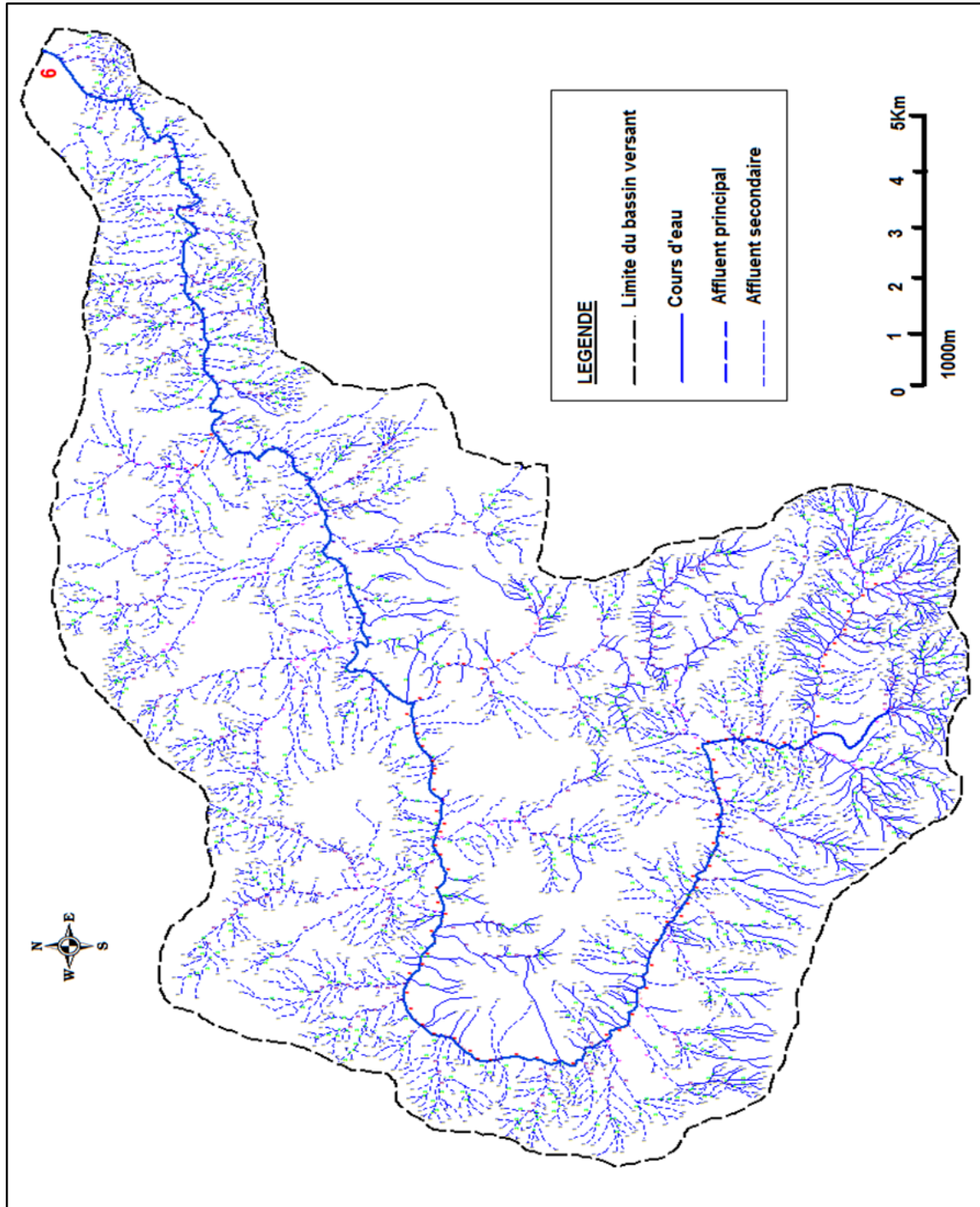


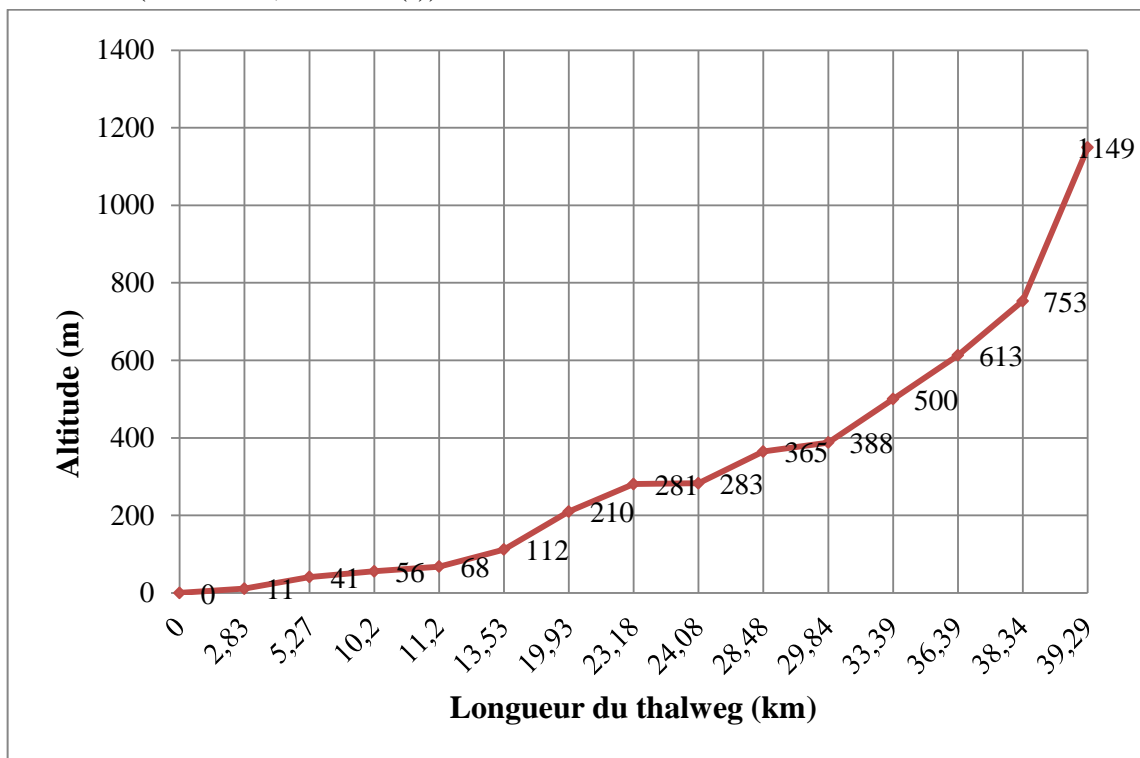
Figure (I.7) : Ordre du cours d'eau de l'Oued Djemaa

### A.2. Longueur caractéristique

Un bassin versant se caractérise principalement par la longueur du cours d'eau principal, qui est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux, en suivant toujours le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant. Si les deux segments à l'embranchement sont de même ordre, on suit celui qui draine la plus grande surface [11]. Elle est estimée à presque 40 Km.

### A.3. Profil en long

Le profil en long représente la variation altimétrique du cours d'eau en fonction de la distance à l'exutoire. (Tableau 3, Annexe (I)).



Figure(I.8) : Profil en long de l'Oued Djemaa

Le talweg principal de l'Oued Djemaa, avec une longueur totale d'environ 40 km, peut être divisé en trois tronçons bien distincts : L'amont de 10 km de longueur, avec une pente relativement élevée dans le sens d'une accentuation de la vitesse de propagation des crues, le tronçon moyen (Environ 17 km) avec une faible pente et l'aval (13 km) avec une pente encore plus faible ; d'où un encaissement du lit et absence du champ d'inondation.

### B. Densité de drainage

La densité de drainage, introduite par HORTON, correspond au quotient de la longueur totale des cours d'eaux par la surface du bassin versant. Elle dépend de la géologie (Structure et lithologie), des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques.

En pratique, les valeurs des densités de drainage varient de 3 à 4 pour des régions où l'écoulement n'a atteint qu'un développement très limité et se trouve centralisé ; elles dépassent 1000 pour certaines zones où l'écoulement est très ramifié avec peu d'infiltration. Selon SCHUMM, la valeur inverse de la densité de drainage,  $C=1/D_d$ , s'appelle « *constante de stabilité du cours d'eau* ». Physiquement, elle représente la surface du bassin nécessaire pour maintenir des conditions hydrologiques stables dans un vecteur hydrographique unitaire [43].

Elle est donnée par la relation [47] :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \quad (\text{I.10})$$

Où,

- $D_d$ : Densité de drainage en ( $\text{Km}/\text{Km}^2$ ).
- $\sum L_i$ : Longueur totale cumulée de l'ensemble des talwegs (Km).
- $S$  : Superficie du bassin versant ( $\text{Km}^2$ ).

$$D_d = 4,63 \text{Km}/\text{Km}^2$$

Plus la densité de drainage est élevée, plus elle traduit l'existence de terrain imperméables favorisant le ruissellement.

### C. Densité hydrographique

La densité hydrographique représente le nombre des cours d'eau par unité de surface. La densité hydrographique permet de donner une indication précieuse sur l'érosion qui a eu lieu dans le passé et de l'aggravation du ruissellement à l'heure actuelle : plus la densité est forte, plus l'érosion antécédente est importante et plus le ruissellement actuel est fort. Celle-ci est définie comme la somme des longueurs des cours d'eau pour une superficie donnée [15].

$$F = \frac{\sum N_i}{S} \quad (\text{I.11})$$

Avec,

- $F$  : Densité hydrographique ( $\text{Km}^{-2}$ ).
- $N_i$  : Nombre de cours d'eau.
- $S$  : Superficie du bassin ( $\text{Km}^2$ ).

$$F = 20,82 \text{Km}^{-2}$$

### D. Rapport de confluence et rapport des longueurs

Le rapport de confluence est un nombre sans dimension exprimant le développement du réseau de drainage. Il varie suivant l'ordre considéré. C'est un élément important à considérer pour établir des corrélations d'une région à une autre. Le coefficient  $R_C$  varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence [6].

Sur la base de la classification des cours d'eau, HORTON et SCHUMM ont établi différentes lois :

$$R_C = \frac{N_n}{N_{(n+1)}} \quad (\text{I.12})$$

Et

$$R_L = \frac{L_{(n+1)}}{L_n} \quad (\text{I.13})$$

Où,

- $R_C$ : Rapport de confluence.
- $R_L$  : Rapport des longueurs.
- $N_n$ : Nombre de cours d'eau d'ordre n.
- $N_{n+1}$ : Nombre de cours d'eau d'ordre n+1.
- $L_n$  : Longueur moyenne des cours d'eau.

Tableau (I.2) : Rapport de confluence et rapport des longueurs de l'Oued Djemaa

Ordre	Nombre	Longueur (Km)	Rapport de confluence	Rapport des longueurs
1	1899	470	2,05	0,41
2	923	193,27	2,02	0,43
3	457	83,26	4,12	0,30
4	111	25,25	0,73	1,001
5	152	25,38	1,50	0,51
6	101	12,86	-	-

C'est le produit de la densité de drainage par la fréquence des talwegs élémentaires. Il est obtenu par la formule suivante [13] :

$$C_t = \frac{N_1}{S} \times D_d \quad (\text{I.14})$$

Où,

- $C_t$  : Coefficient de torrentialité.
- $D_d$  : Densité de drainage (Km/Km<sup>2</sup>).
- $N_1$  : Nombre de talwegs d'ordre 1.
- $S$  : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

$$C_t = 50,27$$

### I.1.2.5. Temps de concentration

Le temps de concentration est un paramètre important caractérisant le ruissellement. C'est le temps mis par une particule d'eau tombée sur le point le plus éloigné du bassin versant pour arriver à l'exutoire. Il s'exprime en heures.

Bien que, ce paramètre intervient pour l'étude des crues, le temps de concentration est largement utilisé comme paramètre hydrologique de grande importance qui sert aussi à la comparaison des bassins différents [16].

#### I.1.2.5.1. Estimation du temps de concentration

De nombreuses approches existent pour caractériser le temps de concentration d'un bassin versant. Ces approches donnent des résultats évidemment différents et ne peuvent donner qu'un ordre de grandeur du temps de concentration. Ce temps de concentration permet une comparaison entre bassins versants et constitue ainsi un paramètre représentatif de ses caractéristiques morphologiques. Nous avons utilisé les formules empiriques suivantes :

➤ La plus utilisée est celle de GIANDOTTI (Sud de l'Italie 1937) [51] :

$$T_C = \frac{4 \times \sqrt{S} + 1,5 \times L_{CE}}{0,8 \times \sqrt{h}} \quad (\text{I.15})$$

Avec,

- $T_C$  : Temps de concentration (h).
- $S$  : La superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>).
- $L_{CE}$  : Longueur du cours d'eau principal (Km).
- $h$  : Différence entre l'altitude moyenne et celle de l'exutoire (m).

➤ Formule de SCS (1975) qui s'écrit comme suit [71] :

$$T_C = 0,059 \times \frac{L_{CE}^{0,8}}{\sqrt{I}} \quad (\text{I.16})$$

Où,

- $T_C$  : Temps de concentration (h).
- $L_{CE}$  : Longueur du cours d'eau (m).
- $I$  : Pente moyenne du bassin (%).

➤ Formule de JOHNSTON et CROSS (1949), elle s'écrit de la manière suivante [51] :

$$T_C = 5,66 \times \left(\frac{L}{I}\right)^{0,5} \quad (\text{I.17})$$

Avec,

- $T_C$  : Temps de concentration (min).
- $L$  : La longueur du cours d'eau (Km).
- $I$  : Pente moyenne du bassin (m/m).



➤ Formule de VENTURA-PASSINI, elle est donnée par [51] :

$$T_C = \beta \times (S \times L)^{\frac{1}{3}} \times I^{-0,5} \quad (\text{I.18})$$

Avec,

- $T_C$  : Temps de concentration (h).
- $\beta$  : Généralement compris entre 0,05 et 0,15.
- $S$  : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).
- $L$  : Chemin hydraulique (Km).
- $I$  : Pente moyenne le long du cours d'eau (m/m).

➤ Formule de KIRPICH, elle s'exprime telle que [40] :

$$T_C = 32,45 \times 10^{-5} \times (1000 \times L_{CE})^{0,77} \times ((H_{max} - H_{min}) / (1000 \times L_{CE}))^{-0,385} \quad (\text{I.19})$$

Où,

- $T_C$  : Temps de concentration (h).
- $L_{CE}$  : Longueur du cours d'eau principal (Km).
- $H_{max}$  : Altitude maximale (m).
- $H_{min}$  : Altitude minimale (m).

Le tableau (I.3) résume les différents temps de concentration calculés

Tableau (I.3): Estimation du temps de concentration du bassin versant de l'Oued Djemaa

N°	Formule	Temps de concentration (Tc) en heure
1	GIANDOTTI	4,57
2	SCS	0,60
4	JOHNSTON et CROSS	3,19
5	VENTURA-PASSINI	0,53
7	KIRPICH	3,75

On prend les valeurs les plus proches obtenues à partir des différentes formules et on calcul leur moyenne.

#### I.1.2.5.2. Vitesse de concentration

C'est la vitesse moyenne de propagation de la crue, elle est fonction de plusieurs facteurs (Pente, étendue du lit et hiérarchisation du chevelu hydrographique), elle constitue un élément fondamental dans l'évolution spatiale des crues. Elle est calculée par la formule suivante [18]:

$$V_c = \frac{L_{CE}}{T_c} \quad (\text{I.20})$$

Où,

- $V_c$  : Vitesse de concentration (Km/h).
- $L_{CE}$ : Longueur du cours d'eau principal (Km).
- $T_c$ : Temps de concentration (h).

$$V_c = 15,54 \text{ Km/h}$$

Nous récapitulons dans le tableau (I.4) ci-dessous les principales caractéristiques du bassin versant d'oued Djemaa objet de notre étude :

Tableau (I.4): Récapitulation des caractéristiques morphométriques de l'Oued Djemaa

Caractéristiques	Unités	Symboles	Valeurs
Surface	Km <sup>2</sup>	S	174,90
Périmètre	Km	P	68,89
Longueur du cours d'eau	Km	$L_{CE}$	39,28
Largeur moyenne	Km	$L_{moy}$	4,45
Coefficient d'allongement	-	$C_a$	8,82
Coefficient de compacité	-	KG	1,46
Longueur du rectangle équivalent	Km	$L_r$	24,33
Largeur du rectangle équivalent km	Km	$l_r$	10,14
Altitude maximale	m	$H_{max}$	1698
Altitude minimale	m	$H_{min}$	0
Altitude moyenne	m	$H_{moy}$	934,88
Altitude médiane	m	$H_{50\%}$	1020
H5%	m	$H_{5\%}$	1580
H95%	m	$H_{95\%}$	380
Indice de pente global	m/Km	$I_g$	49,32
Indice de pente moyenne	m/Km	$I_{moy}$	34,14
Altitude médiane	m	$H_{50\%}$	1020
Dénivelée spécifique	m	$D_s$	652,25
Densité de drainage	Km/Km <sup>2</sup>	$D_d$	4,63
Densité hydrographique	Km <sup>-2</sup>	F	20,82
Coefficient de torrentialité	-	$C_t$	50,27
Temps de concentration	Heurs	$T_c$	2,5
Vitesse de concentration	Km/Heur	$V_c$	15,54

### Conclusion :

Les résultats des caractéristiques morphométriques, montrent que la densité de drainage est assez importante, d'où le réseau est très développé, de plus le coefficient de torrentialité semble assez élevé ceci est dû vraisemblablement au nombre considérable de talwegs de premier ordre ainsi que les sinuosités qu'ils forment. Quant au temps de concentration, il

semble très important, puisque le temps qu'a mis une particule d'eau pour arriver à l'exutoire est de 2h et demi. Ceci, explique la complication des chenaux qui traversent les différentes structures et formations d'une part et la forme du bassin versant qu'est peu allongée de l'autre part, sachant que la longueur du talweg principal est d'environ 40 km. Les altitudes médiane et moyenne du bassin versant ne sont pas proches, ce qui traduit un manque d'équilibre dans l'évolution morphologique du bassin versant.

## **I.2. Occupation du sol du bassin versant et activité humaine**

### **I.2.1. Occupation du sol**

Le bassin versant de l'Oued Djemaa est un bassin très marqué par les espaces naturels. En effet, les forêts représentent la majorité de la surface du bassin versant. Le bassin en question, est donc très rural, d'ailleurs les zones urbanisées représentent à peine 3% de ce bassin. La répartition générale des terres est mentionnée dans le tableau 4, (Annexe(I)) [22].

### **I.2.2. Population**

Le total de la population pour les six communes appartenant à la limite du bassin versant est égal à 117 743 habitants. La répartition de la population du bassin versant par commune est mentionnée dans l'annexe (I), tableau (5) [22].

Au niveau de la zone d'étude, en matière d'assainissement, le taux de raccordement est significatif (56 %). Ainsi, 67 % des logements des zones agglomérées sont raccordés aux réseaux plus ou moins fiables dont la longueur avoisine 1 120 km et 10 % évacuent les rejets vers des fosses septiques, procédés dominant dans les zones éparses. On note, l'inexistence de stations d'épurations, excepté les villes d'AOKAS. La plupart des centres urbains situés dans la région déversent leurs eaux usées directement dans l'Oued et ce, sans aucun traitement, à l'exception de certaines collectivités qui possèdent leurs propre bassin de décantation. Ce qui rend l'Oued carrément saturé par ces derniers. Nous avons recensé plusieurs points de rejets d'eaux usées domestiques pour un volume estimé à 17 000 m<sup>3</sup>/j [50].

Un habitant de la région produit en moyenne plus de 0,8 kg/j de déchets solides [23]. Le total des déchets rejeté est d'environ de 93 600 kg/j. La collecte est relativement bien assurée dans la plupart des centres urbains et s'effectue dans des conditions plus ou moins acceptables. Par contre, leurs éliminations posent un réel problème de protection de l'environnement par suite de manque de moyens comme : le transport, choix de terrains, qui sont souvent interrompus par des oppositions des citoyens et aussi par le manque de financement. Par conséquent, nous retrouvons des décharges non contrôlées le long de l'Oued Djemaa. On peut déduire que la région de l'Oued Djemaa est soumise aux divers problèmes, il s'agit de :

- La propagation des déchets sauvages tout le long de son bassin.
- Le volume croissant d'eaux usées d'origine domestiques déversées sans traitement [50].

**I.2.3. Transport et infrastructures**

L'infrastructure de transport est composée principalement par :

- La route nationale 09 qui mène vers JIJEL.
- La route nationale 75 reliant le chef-lieu de BEJAIA de la wilaya de SETIF.
- Un ensemble de routes secondaires et de pistes plus ou moins aménagées.

**I.2.4. Unités industrielles du secteur public**

Le tissu économique est presque inexistant, à l'exception de deux unités industrielles du secteur public et quelques entreprises du secteur privé. Les unités industrielles sont représentées dans les tableaux 6, 7 et 8 de l'annexe (I) [22].

Les principales huileries dans la région d'étude qui rejette vers l'oued Djemaa sont regroupées dans le tableau 9 de l'annexe (I) [24,25].

**I.2.5. Agriculture**

L'activité agricole dans la zone d'étude n'est pas importante. Elle se limite à une agriculture vivrière composée de jardins familiaux de petites superficies. L'utilisation de la fertilisation par des engrais chimiques et les produits phytosanitaires est très limitée. Nous retrouvons beaucoup plus des formations arbustives et des maquis. Par rapport aux chiffres présentés précédemment, les surfaces emblavées du bassin versant représentent 40% du total des surfaces des communes de la région, elle est estimée à 17 774 hectares. Elle se répartie selon le tableau (10) de l'annexe (I) [22].

# CHAPITRE II

## **II.1. Cadre géologique**

### **II.1.1. Introduction**

La géologie constitue la base fondamentale de toute étude notamment en hydrogéologie, elle détermine les formations susceptibles ou non de constituer des aquifères à partir de leur lithologie; ainsi que la détermination des relations pouvant exister entre eux.

Cette partie d'étude a été effectuée en s'appuyant sur l'interprétation des cartes géologiques et en les complétant par des études et des observations sur terrain.

Dans notre cas, les cartes utilisées sont celles de :

- AMIZOUR (Carte N° 47 réalisée en 1981).
- ZIAMA (Carte N° 48 réalisée en 1922).

### **II.1.2. But du travail**

Ce travail consiste à donner la répartition spatiales et la description lithologique, stratigraphique et structurale des différentes formations géologiques constituant l'Oued Djemaa et le champ captant environnant.

### **II.1.3. Etude géologique du champ captant de l'Oued Djemaa**

Les terrains que contient la plaine alluviale d'oued Djemaa et ceux des zones environnantes correspondent aux formations géologiques d'âge allant du Trias inférieur jusqu'au Quaternaire récent. On peut subdiviser le champ captant en trois zones distinctes qui sont [50] :

#### **a) La zone de la plaine et de la vallée**

Elle est constituée essentiellement des formations d'âge Quaternaire récent qui sont représentées par des éboulis de plaines alluvionnaires actuelles. Ces dernières sont aussi la base des formations qui occupent le lit et les deux rives.

#### **b) La zone intermédiaire**

Elle est composée essentiellement des formations subautochtones, qui s'inscrivent dans l'unité de BARBACHA, et qui sont des marnes brunes et des bancs de calcaires associés à des lentilles de conglomérats.

#### **c) La zone des montagnes**

Cette zone est composée des formations de dolomies litées parfois marneuses et des calcaires massifs contenant des silex à leurs sommets, qui constituent la majeure partie de la rive droite.

On note, sur la rive gauche, la présence des roches intrusives de type microgranite d'âge Tertiaire accompagnées de roches métamorphiques du tertiaire composées essentiellement de schistes. Cette rive est également constituée de grés et d'argile numidien, qui sont des formations allochtones à faciès flysch [50].

#### II.1.4. La lithostratigraphie [50]

##### a) Le Trias

Il est représenté par un faciès tellien de formations gypso-salines et d'argiles versicolores. Il constitue généralement des pointements soulignant des contacts de charriage des unités épitelliennes supérieures et inférieures, ainsi que les klippes des unités resédimentées dans des formations plus récentes.

##### b) Le Jurassique

La carte géologique d'AMIZOUR montre que le Jurassique des unités épitelliennes supérieures présente quatre termes principaux :

- **Lias inférieur** (Rhétien-Hettangien) : Il est formé à la base par des dolomies plus ou moins stratifiées, souvent recristallisées de teintes rouge violacée parfois marneuses, dans l'unité de Barbacha elles sont surmontées par des calcaires massifs parfois dolomitiques.
- **Lias moyen** (Sinémurien-Carixien): Il est formé de calcaires massifs contenant des silex à leur sommet.
- **Lias supérieur** (Domérien-bathonien): Il est formé essentiellement par des calcaires à silex s'alternant avec des argiles ou des marnes.
- **Jurassique moyen-supérieur** (Callovien-Tithonique): Il est composé de pseudo-conglomérats calcaires lie de vin pérites, radiolarite et calcaires fins siliceux.

La figure qui suit représente la carte géologique du bassin versant de l'Oued Djemaa :

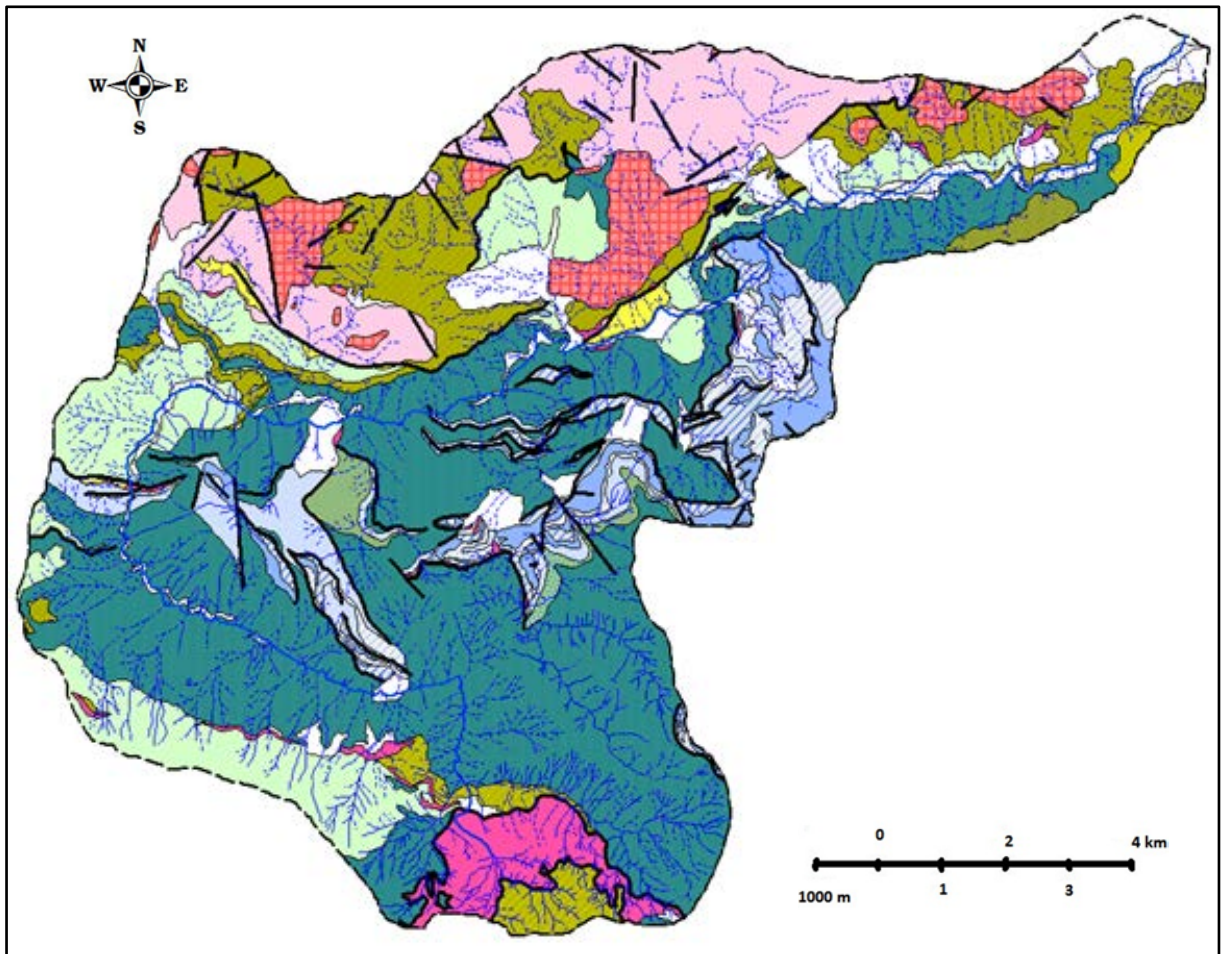


Figure (II.1) : Carte géologique du bassin versant de l'Oued Djemaa d'après les cartes géologiques d'AMIZOUR et ZIAMA



### c) Le Crétacé

Le crétacé de l'Oued Djemaa est caractérisé par une grande diversification de faciès, on peut distinguer deux types de faciès :

- **Le crétacé tellien** : Le crétacé inférieur comprend deux séries lithologiques. La première commence par des conglomérats de base à éléments du Jurassique sur lesquels repose une alternance de marnes et de calcaires ; la série est du Néocomien. La deuxième est constituée d'un conglomérat contenu dans des pélites noires de Barrémo-Albien en position dans le sénonien inférieur du Djebel AFFROUN.
- **Le Crétacé des Flyschs** : Le crétacé à faciès flysch affleure largement sur la rive droite de l'Oued Djemaa. Il comprend :
  - Une série de pélites noires associées à des bancs épais de conglomérats d'âge Aptien.
  - Une série de pélites noires à rares lits de grés fins d'âge Néocomiens-Albien inférieur.
  - Une formation d'âge Albien supérieur formée de flyschs schisto-gréseux de Tizi Gualalen.
- **Albien supérieur-Cénomaniens**: Il repose par l'intermédiaire d'un contact anormal sur les formations du crétacé des flyschs de l'unité BARBACHA. Il comprend une série de marnes brunes et calcaires dont les calcaires de l'Albien supérieur sont gréseux dans la région d'ASLOUM et le cénomaniens est conglomératique.
- **Le Crétacé resédimenté** : Il correspond au keuper resédimenté dans les dépôts cénomaniens, et parfois dans les formations du sénonien inférieur.
- **Le Cénomaniens-Turonien**: Le Cénomaniens est constitué d'une série de marnes brunes et calcaires dont ces derniers sont dolomités dans les régions de BARBACHA et de DJELLEL.
- **Le Crétacé supérieur** : Il est composé de trois ensembles lithostratigraphiques qui sont :
  - Une série de marnes blanches et conglomérats d'âge Cénomaniens-Coniacien qui affleure dans la région d'AZROU KEMBITA.
  - Une série de marnes brunes et bancs de calcaires associés à des lentilles de conglomérats d'âge Coniacien-Maestrichtien qui affleurent dans les régions de Djebel AFFROUN et de TADDERT AMOKRANE.
  - Une série d'âge Campanien-Maestrichtien de marnes brunes à boules de calcaires jaunes et lits en discordance avec les calcaires.

### d) Le Numidien

C'est le plus répandu des trois flyschs, il est représenté par des grés et argiles numidien, qui sont des formations allochtones qui se trouvent sur la rive gauche de l'Oued Djemaa dans la région d'ADRAR HAMOU. Ce flysch est formé de trois termes d'âge Oligocène supérieur à Aquitano-Burdigalien.

**e) Le Miocène**

Le miocène de l'Oued Djemaa comprend deux ensembles lithologiques distincts d'âge postérieur à la mise en place des nappes, ce sont :

- **Les formations sédimentaires :** Celles-ci comprennent une série continentale d'âge Burdigalien-Helvétien : elle est formée essentiellement de conglomérats hétérogènes transgressifs et discordants sur des formations numidiennes et des formations du Sénonien supérieur à faciès argilo-marneux.
- **Les formations magmatiques :** on peut distinguer :
  - **Les roches plutoniques :** représentées par des microgranites, qui se trouvent sur la rive gauche, à texture microgrenue d'âge Tertiaire accompagnées de roches métamorphiques du tertiaire composées de schistes.
  - **Les roches volcaniques :** représentées par des laves et des pyroclastites non distinguées. Soulignons que ces formations magmatiques sont altérées et affectées par trois familles de fractures (N030, N090 et N140). Elles affleurent dans le massif d'AMIZOUR et au Sud de Bougie.

**f) Le Quaternaire :** Les formations quaternaires sont représentées par :

- Des alluvions de l'Oued Djemaa et les cônes de déjection de ces affluents.
- Des formations récentes qui sont constituées d'éboulis de pente et alluvions actuelles.

**Conclusion :**

La région d'étude fait partie du Tell septentrional structuré lors de l'orogène Alpin, elle constitue une zone de transition entre le domaine interne et le domaine externe.

Les terrains méso-cénozoïques sont représentés par des terrains autochtones et allochtones de nature lithologique variée.

Les éruptions volcaniques miocènes soulignent parfaitement la phase de la fracturation qui succède à la mise en place des grandes nappes de glissement.

Le quaternaire constitue l'essentiel du remplissage alluvial, en plus il constitue le recouvrement majeur du lit de l'Oued.

L'analyse des caractéristiques lithologiques des principales unités structurales de la région de l'Oued Djemaa nous a permis d'identifier quatre formations géologiques favorables aux constitutions d'aquifères non négligeables pour la mobilisation des ressources en eaux souterraines supplémentaires, ces formations sont :

- Les formations calcaro-dolomitiques des régions BARBACHA et DJELLEL.
- Les formations des grès numidiens du versant septentrional de l'Oued Djemaa.
- Les conglomérats du miocène continental en bordure et sous les alluvions de la plaine.
- Les formations volcaniques du massif d'AMIZOUR-BEJAIA.

## II.2. Cadre climatologique

### II.2.1. Introduction

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant sur le régime d'un cours d'eau. Ce sont les précipitations surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel intervenant par leur répartition annuelle et mensuelle, leur total journalier et surtout les averses génératrices des crues. Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon un effet combiné des autres paramètres physiques (Altitude et exposition), climatiques (La température l'évaporation, l'évapotranspiration, les vents et l'humidité) et également des facteurs qui influent sur l'écoulement et le régime hydrologique du bassin.

Dans ce chapitre, nous aborderons la composante climatique du bassin versant de l'Oued Djemaa, les précipitations étant la source principale de l'approvisionnement de l'Oued, le régime hydrologique dans le bassin est directement lié à ces précipitations essentiellement constituées des pluies.

### II.2.2. Climatologie

Le climat est un ensemble de conditions naturelles en un lieu donné. Parmi les facteurs climatiques qu'on peut distinguer, on trouve les facteurs énergétiques (Lumière et température), les facteurs hydrologiques (Précipitations et hygrométrie) et les facteurs mécaniques (Vent et enneigement) [3,64].

#### II.2.2.1. Stations et données disponibles

L'équipement climatologique du bassin est cependant loin d'être satisfaisant. Le manque de documentation est flagrant. Les données pluviométriques disponibles dans la région ont été sélectionnées à partir du réseau d'observations, de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A.N.R.H.).

Les caractéristiques des stations pluviométriques proches du bassin versant sont présentées dans le tableau (II.1) suivant [1,60] :

Tableau (II.1) : caractéristiques des stations pluviométriques proches du bassin étudié

Code	Nom de la station	Coordonnées Lambert		Altitude (m)
		X	Y	
-	BOUANDES (SETIF)	-	-	-
30104	Domaine DAHAS (BEJAIA)	712,78	381,17	15

Pour la partie avale du bassin versant, l'information pluviométrique dont nous disposons, provient de la station météorologique la plus proche qui est celle de Bejaia, et qui s'étale sur une période de 39 ans; allant de 1970 jusqu'à 2009. Pour la partie amont nous nous inspirons des données propres à la localité de BOUANDES dans le territoire de la wilaya de SETIF (1978-1992), située à 20 km au Sud du chef-lieu de la commune de KENDIRA qui est exposée aux mêmes conditions atmosphériques.

**II.2.2.2. Les précipitations**

Les précipitations constituent le facteur le plus important de l'écoulement auxquelles elles impriment leurs caractères propres. Cependant, une bonne connaissance des précipitations passe par celle des mécanismes qui les régissent, mécanismes liés à la circulation générale de l'eau sur le bassin versant [44].

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations de la région d'étude sont consignées dans la figure ci-dessous.

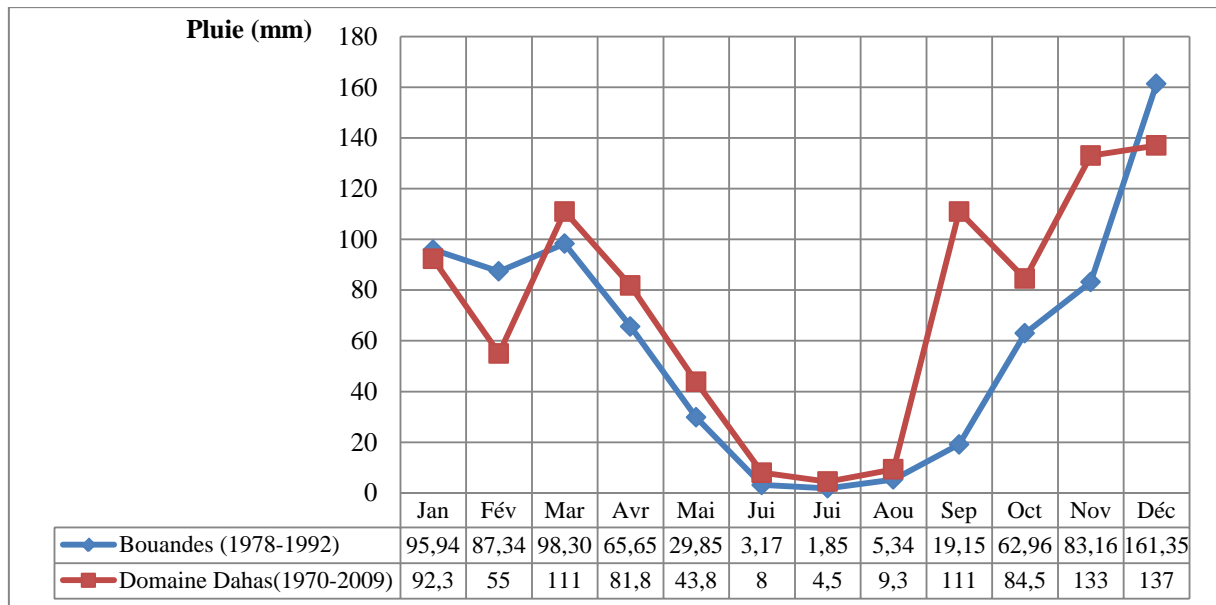


Figure (II.2) : Variation des précipitations moyennes mensuelles

D'après ces valeurs, nous avons conclu que les maxima des précipitations moyennes mensuelles sont observés aux mois de Novembre et Décembre avec respectivement 132,8 mm et 137 mm pour la station de BEJAIA et aux mois de Mars avec 98,30 mm et Décembre avec 161,40 mm pour la station de BOUANDES. Par contre, les précipitations diminuent à partir du mois de Juin et atteignent des valeurs minimales au mois de Juillet.

**II.2.2.3. Les températures**

La température, liée à la radiation solaire est un élément fondamental du climat. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique.

Les températures mensuelles moyennes des stations météorologiques de BEJAIA et BOUANDESS sont consignées ci-dessous [60,70] :

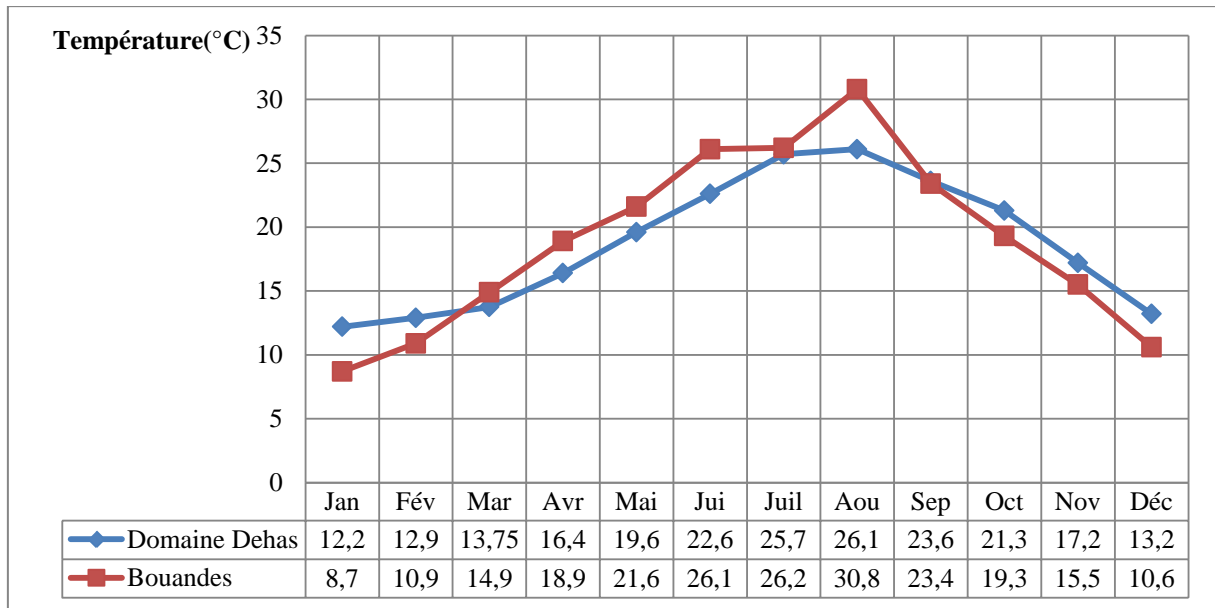


Figure (II.3) : Températures moyennes mensuelles de la zone d'étude

Ces valeurs nous ont permis de conclure que les températures moyennes augmentent de Janvier à Aout avec une période chaude, correspondant à la période sèche (mi-Juin à mi-Septembre), pourrait avoir comme conséquences une hausse du taux d'évaporation des sols et une diminution systématique des deux termes de l'équation du bilan en l'occurrence le ruissellement et l'infiltration. L'écart de température entre l'été et l'hiver est environ 13,9 °C pour la station domaine Dehas et 22,1 °C pour la station de BOUANDES.

#### II.2.2.4. Humidité

Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative de la région de BEJAIA, pour une période de 05 ans (2005-2009) sont consignées ci-dessous [70] :

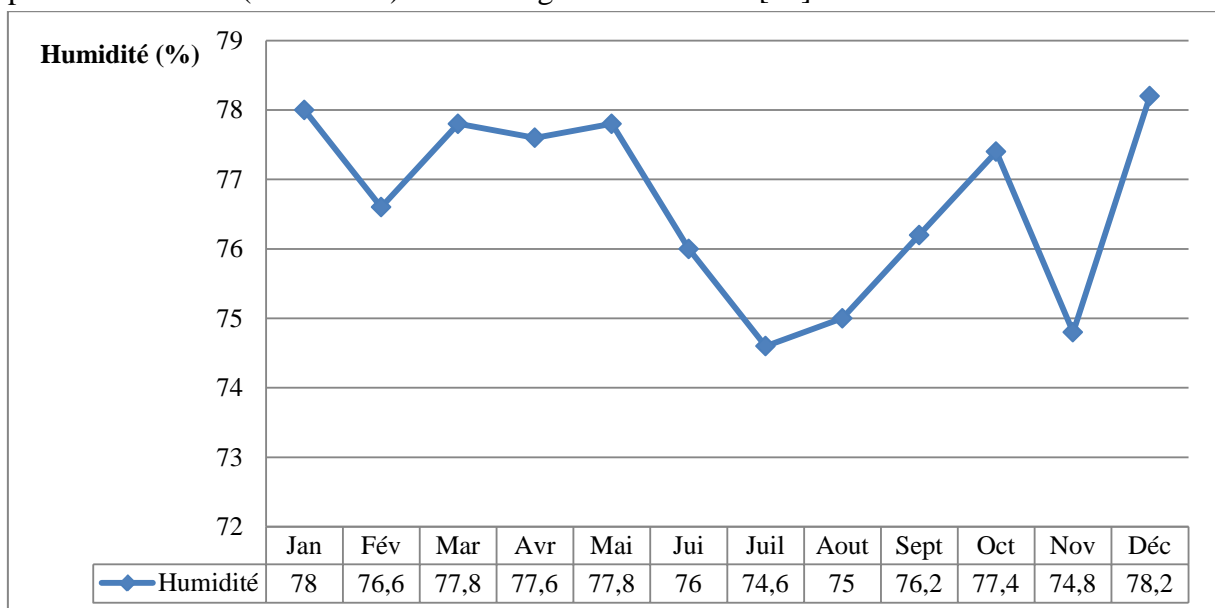


Figure (II.4): Humidité moyenne mensuelle de la région de Bejaia (2005-2009)

Les valeurs moyennes de l'humidité fluctuent autour de 77 % et attestent de l'influence du milieu marin.

**II.2.2.5. Le vent**

Les vitesses du vent mensuelles sont données dans la figure suivante [70] :

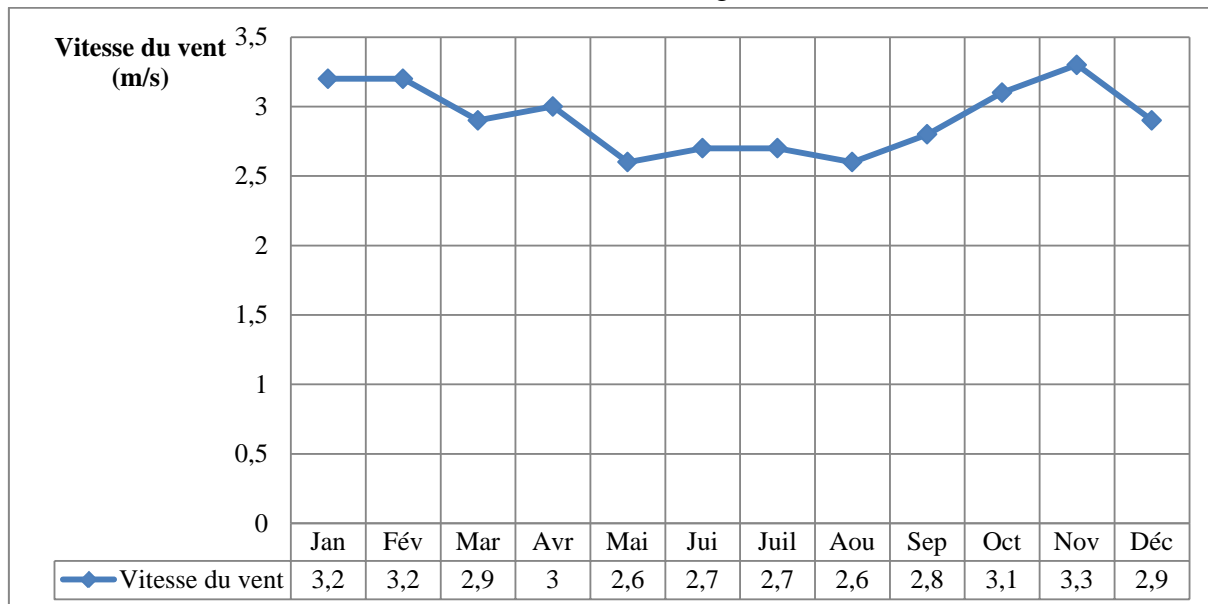


Figure (II.5) : Vitesses du vent mensuelles moyennes à la station de BEJAIA

L'analyse de ces données montre une variabilité relative des vitesses du vent le long de l'année : Elles sont comprises entre 2,6 m/s et 3,3 m/s. Les vitesses restent faibles durant la saison estivale et fortes durant la période hivernale.

**II.2.2.6. Tension de vapeur**

Les valeurs mensuelles de tension de vapeur sont représentées ci-après [70] :

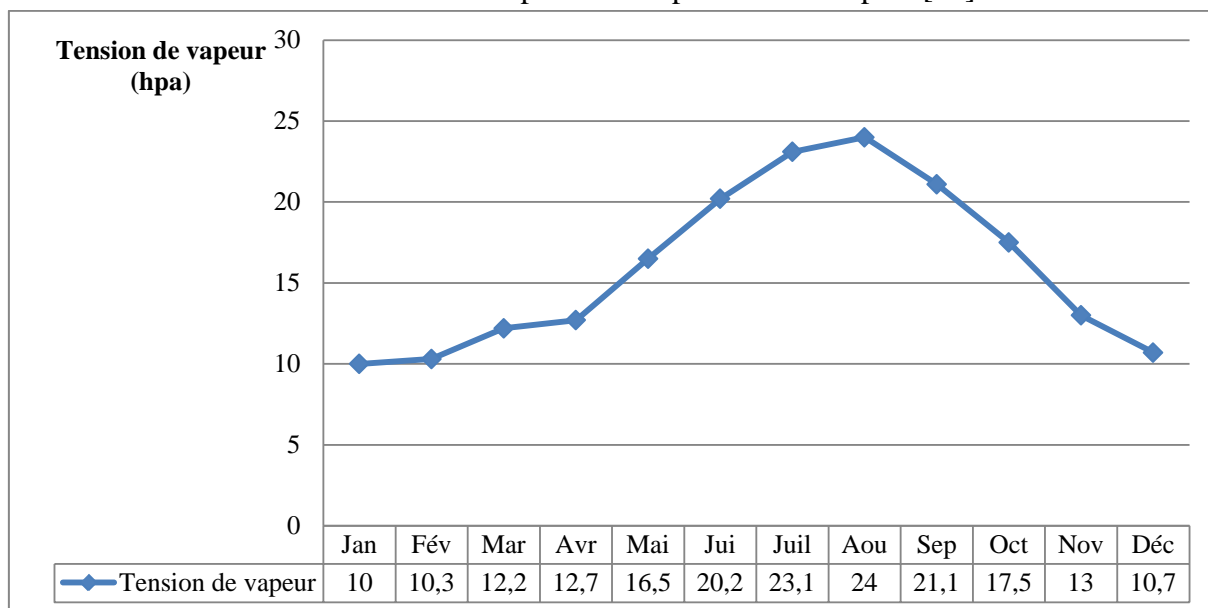


Figure (II.6) : Tension de vapeur à la station de BEJAIA

Les valeurs maximales de tension de vapeur sont atteintes en Juin, Juillet, aout et Septembre et minimales en Décembre, Janvier et Février. La tension de vapeur annuelle est de 15,9 hpa, elle est évaluée régulièrement durant l'année, mais reste au-dessus de 10 hpa pendant tous les mois.

### II.2.2.7. Ensoleillement

Les valeurs de la durée d'ensoleillement mensuelle moyennes observées sont représentées comme suit [70] :

Tableau (II.2): Ensoleillement mensuel moyen

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	année
Ens(h)	162	173	220	243	272	304	327	289	236	209	161	150	2746

L'analyse de ce tableau met en valeur l'importance de l'insolation dans cette zone (Elle est de 2 746 h/ans, c'est-à-dire 7,5 h/jour)

### II.2.2.8. Evaporation

Les valeurs représentées ci-dessous sont issus de la station météorologique de Bejaia située à l'aéroport. Cette évaporation est mesurée sous abri avec un évaporomètre PICHE [70].

Tableau (II.3) : Evaporation mensuelle et annuelle

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Eva(mm)	89	70	85	89	87	97	113	122	106	108	93	91	1 151

Nous remarquons que l'évaporation est importante aux mois de Juillet et Aout et elle est faible aux mois de Février et Mars.

Les autres phénomènes atmosphériques, tels que le gel, la neige ou la grêle, ne sont pas négligeables dans la cette région. En effet les altitudes sur lesquelles se trouve une portion importante du territoire de la zone d'étude font qu'il soit recouvert par la neige durant la période hivernale.

## II.2.3. Synthèse des données climatiques

### II.2.3.1. Diagramme Ombrothermique de la zone d'étude

L'analyse de ces données est nécessaire pour mieux saisir et appréhender les phénomènes climatiques de l'ensemble de la zone d'étude, et cela selon la disponibilité des données et selon les possibilités offertes par l'organisme spécialisé. D'après les données climatiques (Températures et précipitations), nous avons établi le diagramme Ombrothermique suivant :

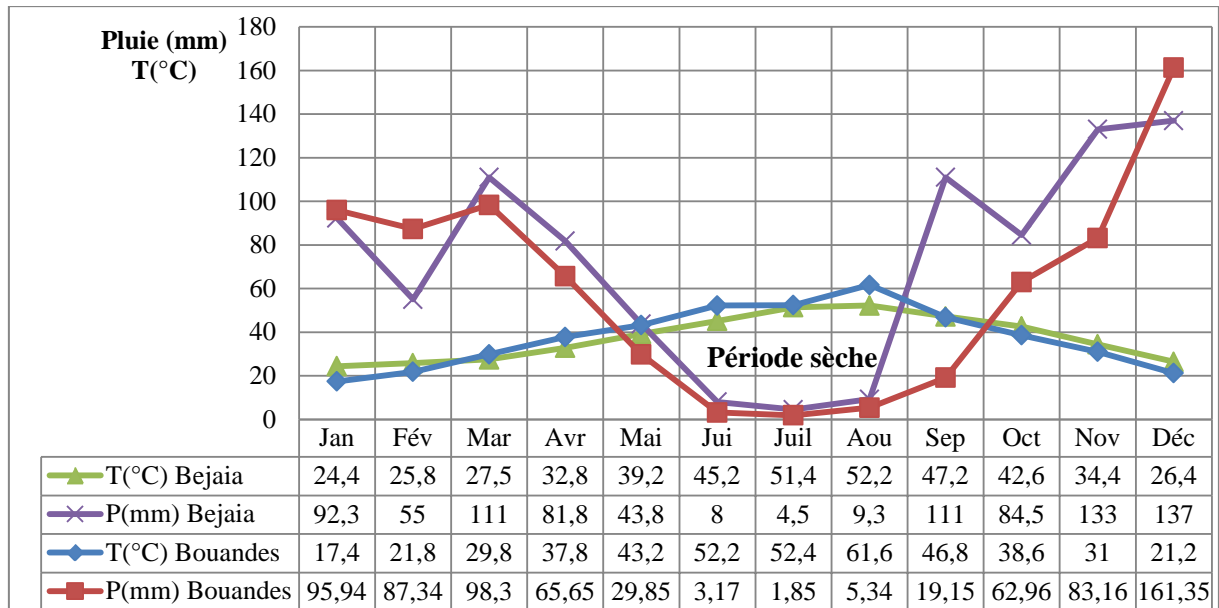


Figure (II.7) : Diagramme Ombrothermique de la zone d'étude

Le diagramme Ombrothermique représenté sur la figure ci-dessus montre que la période sèche s'étale sur quatre mois allant de mi-Mai jusqu'à la fin du mois d'Août. Ce dernier montre que le climat de la région étudiée est donc du type méditerranéen, des hivers humides et doux et des étés chauds.

La saison des pluies s'étand de Novembre à Février, la zone d'étude est l'une des régions les plus arrosées de l'Algérie, la pluie moyenne est de l'ordre de 871 mm.

Les températures sont relativement douces, les moyennes annuelles sont de 18,7 °C et les températures moyennes mensuelles varient entre 11,2 °C en Janvier et 26,1 °C en Aout [10].

### II.2.3.2. Climagramme d'EMBERGER

EMBERGER classe le climat méditerranéen en faisant intervenir les deux facteurs essentiels qui sont, la sécheresse (Représentée par le quotient pluviométrique) et la T du mois le plus froid qui élimine les espèces les plus thermiques. Le quotient pluviométrique est d'autant plus important que le climat est plus humide.

Le quotient d'EMBERGER permet empiriquement de faire ressortir des paramètres bioclimatiques comme la sécheresse et l'amplitude thermique. La représentation du quotient en fonction de « m » (Moyenne des températures minimales du mois le plus froid) est la base du climagramme, permettant de situer une localité, une essence, une formation végétale ou un groupement [2].

Le quotient  $Q_2$  se calcule selon la formule suivante:

$$Q_2 = \frac{2000 \times P}{(M+m) \times (M-m)} \quad (II.1)$$



Avec,

- $Q_2$  : Le quotient d'EMBERGER.
- $P$  : Précipitations annuelles en (mm).
- $M$  : Température maximale du mois le plus chaud en ( $^{\circ}\text{K}$ ).
- $m$  : Température minimale du mois le plus froid en ( $^{\circ}\text{K}$ ).

Stewart, a simplifié ce quotient pour l'ALGERIE et le MAROC [72]. Il se calcule par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{3,43 \times P}{M - m} \quad (\text{II.2})$$

Dans le cas de la présente étude les températures moyennes maximales et minimales sont représentées à la figure (III.7) suivante:

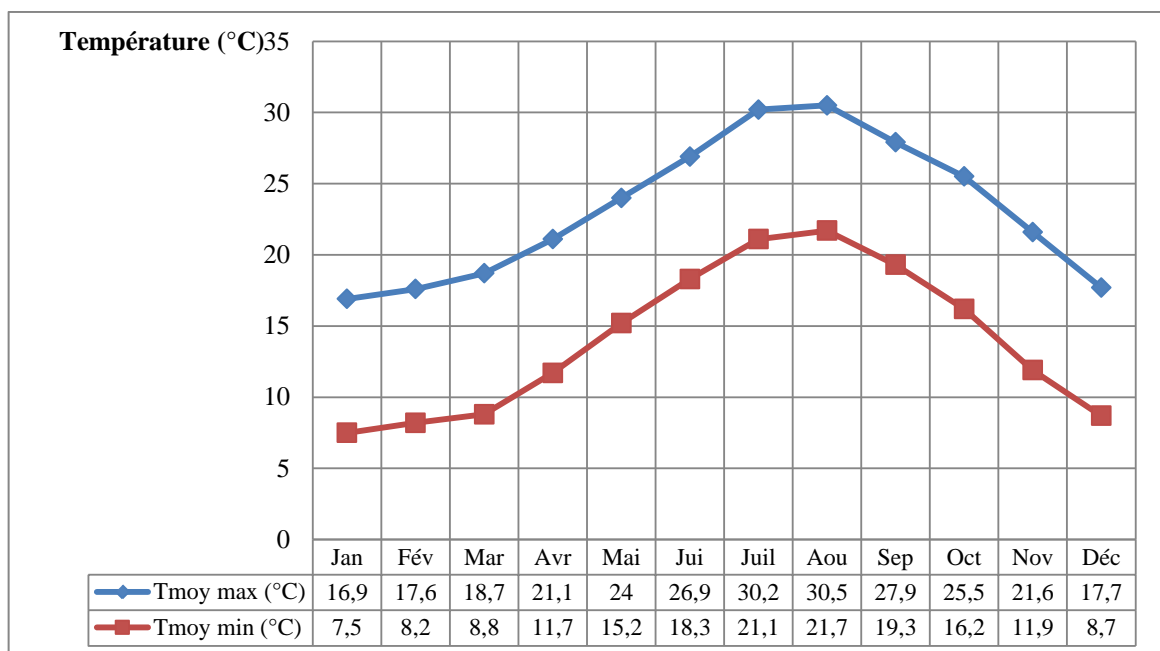


Figure (II.8) : Températures moyenne maximales et minimales mensuelles (1970-2009, station météorologique de Bejaia)

Après application de la formule (II.2), nous obtenons la valeur de  $Q$  égale à 129,93 ; ce dernier situe BEJAIA dans l'étage bioclimatique Sub-Humide (Figure (II.9)).

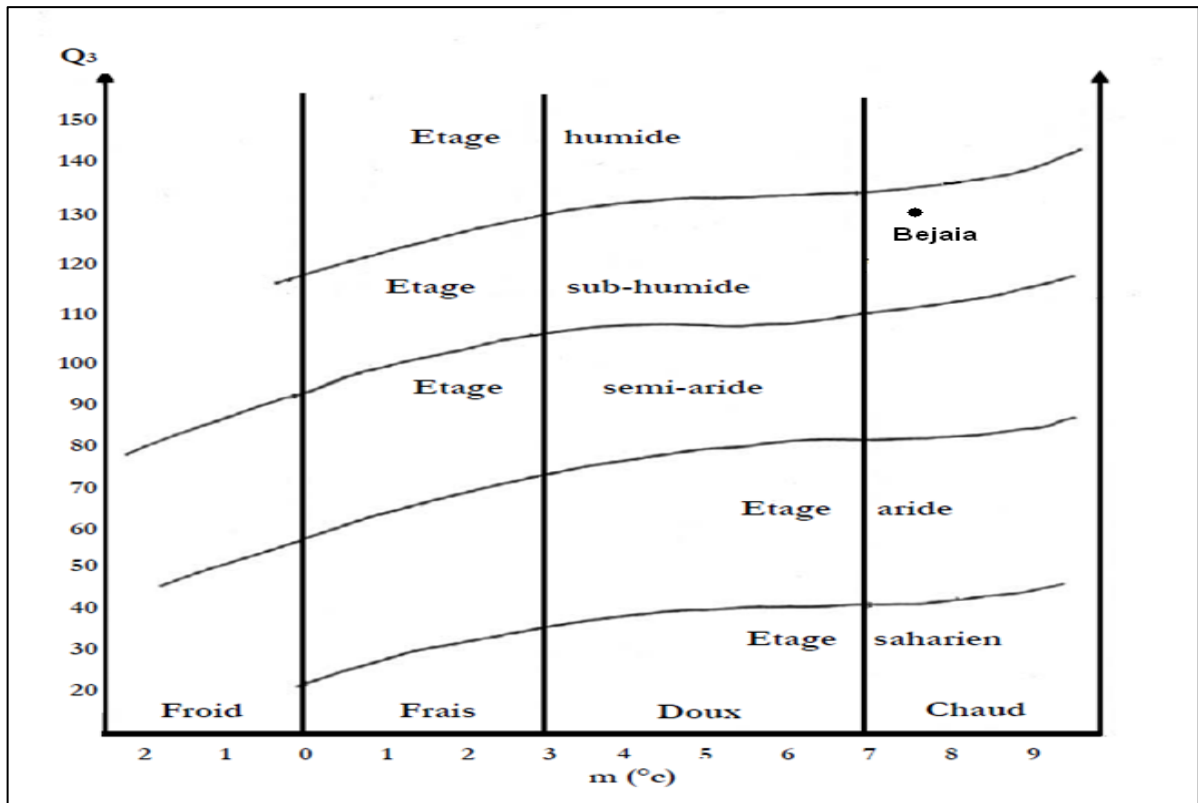


Figure (II.9) : Situation bioclimatique de Bejaia sur le climagramme d'EMBERGER

# CHAPITRE III

#### IV.1. Introduction

La composition chimique des eaux dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, ces eaux se chargent en gaz dissous ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ), matières en suspension, matières organiques d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux et animaux vivant à la surface du bassin versant ou dans la rivière et qui se décomposent après leurs morts (Végétaux ou animaux). Le profil de chacun de ces paramètres varie lui-même en fonction des périodes de l'année [69]. Au cours d'une année, d'une saison et même d'une journée, la qualité de l'eau peut être variable. Les phénomènes de ruissellement et d'érosion, de même que les précipitations et les variations du débit d'un cours d'eau influencent énormément la qualité de l'eau. En période d'étiage, les concentrations de certaines substances présentes dans l'eau peuvent être beaucoup plus élevées que pendant le reste de l'année. A l'inverse, en période de crue, certaines substances se trouvent diluées dans un plus grand volume d'eau alors que d'autres, qui atteignent le cours d'eau par ruissellement, se retrouvent en concentration plus importante [36].

#### IV.2. Les paramètres organoleptiques des eaux

Ces données appartiennent à l'analyse de l'eau. Elles ont pour but d'apprécier si l'eau est agréable aux sens de l'observateur. Ces paramètres sont peu usités pour les Eaux de forages du fait que ces types de pollutions y sont très rares.

##### IV.2.1. Évaluation de l'odeur

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Le sens olfactif peut seul, dans une certaine mesure, les déceler. L'odeur peut être définie comme:

- L'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.
- La qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces substances [8].

##### IV.2.2 Évaluation du goût et saveur

Le goût peut être défini comme

- L'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche.
- La propriété des produits provoquant ces sensations [8].

La saveur peut être définie comme:

- L'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation, par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs.
- La qualité de cette sensation particulière provoquée par ces substances [46].

#### IV.2.3. La couleur

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle ; (Eléments métalliques, matières humiques, micro-organismes liés à une épisode d'eutrophisation ...etc.), soit associée à sa pollution (Composés organiques colorés).

La coloration d'une eau est donc très souvent synonyme de la présence des composés dissous. D'une manière plus simple, une estimation de la couleur peut être déduite de l'examen visuel de l'échantillon placé dans un récipient large et incolore [75].

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité [66].

#### IV.2.4. La turbidité

La turbidité est une notion plus subjective que la notion de couleur ; on la définit comme l'inverse de la limpidité ou de la transparence. Une eau turbide est donc plus au moins trouble [10].

Elle est causée par les matières en suspension, telles que l'argile, le limon, les particules organiques microscopiques, également à la présence des matières colloïdales d'origine organique ou minérale [13,15].

L'unité de turbidité prescrite par l'Environmental Protection Agency (EPA – USA) est le NTU (Nephelometric Turbidity Unit). La mesure s'effectue sur la lumière diffusée à 90°, mais à une longueur d'onde différente de 860 nm [45].

❖ **Correspondance entre les unités** : 1 NFU = 1 FAU.

Pour des turbidités inférieures de 10 à 20 NFU : 1 NFU = 1 NTU. Au-delà, 1 NFU = 0,6 NTU.

En première approximation on peut corréler la turbidité à la concentration en matières en suspension (MES) :

- Turbidités inférieures à 10 - 20 NFU : MES = 2 NFU.
- Turbidités supérieures à 20 NFU : MES = 3,3 NFU [52].

Les classes de turbidités usuelles sont les suivantes [45] :

Tableau (III.1) : Echelle de la turbidité

NTU < 5	Eau incolore
5 < NTU < 30	Eau légèrement colorée
NTU > 50	Eau colorée
NTU > 200	Eau de surface "Africaine"

#### IV.2.5. Les matières en suspension

Les matières en suspension (MES) constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée. Elles peuvent être composées de particules de sable, de terre et de sédiment arrachées par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées ou les eaux pluviales très riches en MES, d'êtres vivants planctoniques (Notamment les algues). Elles correspondent à la concentration en éléments non dissous d'un échantillon. L'abondance des matières en suspension dans l'eau favorise la réduction de la luminosité et abaisse la production biologique du fait, en particulier, d'une chute de l'oxygène dissous consécutive à une réduction des phénomènes de photosynthèse [13].

#### IV.3. Les propriétés physico-chimiques des eaux

Ces paramètres globaux et/ou spécifiques permettent d'apprécier l'aptitude d'une eau à l'utilisation à laquelle on la destine. On peut les différencier en deux groupes: physiques et chimiques.

##### IV.3.1. La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, en effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels,...etc [12,16].

##### IV.3.2. Le pH

Le pH représente la concentration des ions hydrogènes dans une solution. Cette mesure est importante, car le pH régit un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Le pH des eaux naturelles varie normalement en fonction du système bicarbonates-carbonates. Dans les eaux naturelles, peu soumises à l'activité humaine, le pH dépend de leur origine et de la géologie du milieu [73].

Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau [45] :

Tableau(III.2): Echelle du pH

pH < 5	- Acidité forte, - Présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée, majorité des eaux de surfaces
5.5 < pH < 8	Eaux souterraines
pH > 8	Alcalinité, évaporation intense

##### IV.3.3. La conductivité électrique

La conductivité est la mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle varie en fonction de la présence d'ions, de leur concentration, de leur mobilité et de la température de l'échantillon. Elle est liée à la concentration et à la nature des substances

dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique et colloïdale, qui conduit peu. Par conséquent, dans le cas des eaux usées fortement chargées en matière organique, la conductivité ne donnera pas forcément une idée immédiate de la charge du milieu. Dans les autres cas, elle permet d'évaluer rapidement le degré de minéralisation de l'eau et d'estimer le volume d'échantillon nécessaire pour certaines déterminations chimiques.

La mesure de la conductivité électrique est l'une des plus simple et importantes pour le contrôle de la qualité des eaux résiduaires. Valeur inverse de la résistivité, paramètre très largement utilisé en hydrogéologie, la conductivité est fonction de la concentration en espèces ionisés, principalement de nature minérale [31].

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau [45] :

Tableau (III.3) : Echelle de conductivité

$\chi = 0.005 \mu\text{S/cm}$	Eau déminéralisée
$10 < \chi < 80 \mu\text{S/cm}$	Eau de pluie
$30 < \chi < 100 \mu\text{S/cm}$	Eau peu minéralisée, domaine granitique
$300 < \chi < 500 \mu\text{S/cm}$	Eau moyennement minéralisée, domaine des roches carbonatées (karst)
$500 < \chi < 1000 \mu\text{S/cm}$	Eau très minéralisée, saumâtre ou saline
$\chi > 30000 \mu\text{S/cm}$	Eau de mer

#### IV.3.4. La salinité

Elle est définie comme la somme des matières solides en solution contenues dans une eau, après conversion des carbonates en oxyde, après oxydation de toutes les matières organiques et après remplacement des iodures et bromures par une quantité équivalente de chlorures [11].

#### IV.3.5. L'alcalinité

L'alcalinité de l'eau se définit comme étant sa capacité à neutraliser un acide. Elle est liée principalement aux carbonates, aux bicarbonates et aux hydroxydes. Les borates, les silicates, les phosphates et toute forme de matière organique basiques contribuent légèrement à son alcalinité. Donc, l'alcalinité c'est la capacité à absorber des ions  $\text{H}^+$  [45].

Dans la pratique et pour des systèmes dominés par les relations des carbonates dont le pH varie de 7 à 9, l'alcalinité peut être assimilée aux bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$ . C'est un paramètre important, car il joue un rôle prépondérant sur l'effet tampon de l'eau. Il détermine la manière dont le pH va réagir à l'ajout d'acides ou de bases faibles dans l'eau, notamment lors des procédés de traitement (Floculation et désinfection).

#### IV.3.6. La dureté d'une eau ou son titre hydrotimétrique (TH)

Exprime sa concentration en sels de calcium et de magnésium. Comme le pH, la dureté est liée à la nature des terrains traversés par une eau. Si l'eau présente une forte concentration de ces sels minéraux, on dit qu'elle est dure (C'est le cas des eaux provenant des sols calcaires).

A l'inverse, si cette concentration est faible, l'eau est dite douce. Une eau dure, par son apport en calcium et en magnésium, est bonne pour la santé, mais elle accélère par contre l'entartrage des conduites et réagit mal au savon. A l'inverse, une eau trop douce a tendance à corroder les canalisations [5].

#### IV.4. Principaux éléments présents dans l'eau

##### IV.4.1. Ions majeurs

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 8 ions, appelés couramment les majeurs. On distingue les cations: Calcium, Magnésium, Sodium et Potassium, et les anions: Chlorure, Sulfate, Nitrate, et bicarbonate. Les indications présentées dans ce paragraphe sont utiles pour interpréter les résultats d'analyses courantes.

##### IV.4.1.1 Calcium et magnésium

Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentés dans la plupart des eaux [5].

L'altération des roches cristallines libère du calcium et du magnésium, mais en quantité moindre que certaines roches sédimentaires carbonatées, dont les principales sont la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), la dolomie ( $\text{CaMgCO}_3$ ), la magnésite ( $\text{MgCO}_3$ ), le gypse ( $\text{CaSO}_4$ ), l'apatite ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$ ) ou la fluorine ( $\text{CaF}_2$ ). Notons également les grès et roches détritiques au ciment carbonaté [68]. L'ion calcium est sensible au phénomène d'échange de bases.

Les échelles de concentration généralement rencontrées sont les suivantes [45] :

Tableau (III.4) : Echelle de concentration du  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$

Contexte	$\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	$\text{Mg}^{2+}$ (mg/l)
Terrains calcaires - Eau de surfaces - Eau souterraines	+/- 20 $70 < C < 120$	$3 < C < 25$
Terrains cristallins (Eau souterraines)	$2 < C < 10$	$2 < C < 6$
Eau de mer	400	1200

##### IV.4.1.2. Sodium et potassium

Le cation sodium ( $\text{Na}^+$ ) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (Sables, argiles, évaporites). La roche Halite (Evaporite  $\text{NaCl}$ ) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées. Notons que les argiles peuvent être saturées en ion  $\text{Na}^+$  par le processus d'échange de bases.

Les concentrations en sodium peuvent être extrêmement variables, indépendamment du lessivage des formations géologiques contenant du chlorure de sodium. Le sel peut provenir de la décomposition des minéraux, comme les silicates de sodium et d'aluminium [45].



Le potassium ( $K^+$ ) est assez abondant sur terre, mais peut être fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaison dans les sols (Sur les argiles notamment). Les sources principales de potassium sont les roches cristallines (Mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium), les évaporites (Sylvinite  $KCl$ ) et les argiles [11].

L'échelle des concentrations généralement rencontrée est la suivante:

Tableau (III.5) : Echelle des concentrations en  $Na^+$  et  $K^+$

Contexte	$Na^+$ (mg/l)	$K^+$ (mg/l)
Terrains calcaires (Eaux souterraines)	$1 < C < 4$	$0.3 < C < 3$
Terrains cristallins (Eau souterraines)	$2 < C < 15$	$1 < C < 5$
Eau de mer	$C > 10000$	380

#### IV.4.1.3. Bicarbonates

L'eau agressive chargée en acide carbonique est ensuite saturée par des cations le plus souvent alcalino-terreux, pour donner les bicarbonates qui circulent dans la zone noyée [5].

L'ion de bicarbonate est le principal constituant alcalin des eaux courantes, on le trouve souvent à une concentration de 5 à 50 mg/l de  $CaCO_3$  [6].

La teneur peut, comme on l'a vu, être déduite de l'alcalinité [11].

#### IV.4.1.4. Sulfate

Les origines des sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie (Evaporation d'eau de mer :  $1 < C < 20$  mg/l) et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse ( $CaSO_4$ ), mais également de la pyrite ( $FeS$ ) et plus rarement de roches magmatiques (Galène, blende et pyrite) [5].

Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures (Qu'on retrouve dans les pluies) et l'utilisation d'engrais chimique et de lessive.

D'une façon générale, la présence de sulfate dans des eaux naturelles "non polluées" invoque la présence de gypse ou de pyrite [45].

#### IV.4.1.5. Chlorures

Les ions chlorures dont la plus grande partie se trouve dans les océans, constituent environ 0,05 % de la lithosphère (Partie solide de la sphère terrestre). De façon générale, l'ion chlorure est présent dans toutes les eaux, à des concentrations variables. Dans les eaux de surface, il est présent en faible concentration. Dans les eaux souterraines, la teneur en ion chlorure peut atteindre quelques grammes par litre au contact de certaines formations géologiques [45].

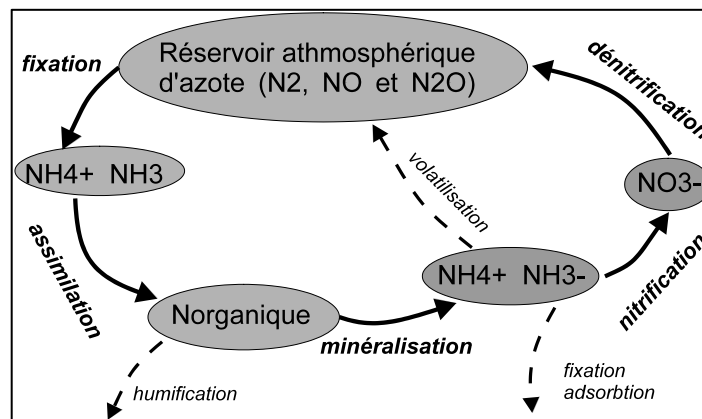
La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. L'invasion d'eau de mer (Où le  $Cl^-$  est très présent), ainsi que les phénomènes d'évaporation dans les bassins endoréiques sont également des sources de

chlorures possibles. Le rôle des roches cristallines dans la minéralisation en chlorures est faible.

L'apport par les précipitations est d'autant plus important que la distance à la mer est faible. Les apports anthropiques (Salage des routes, urine..) sont mineurs dans les zones d'intervention humanitaire [5].

#### IV.4.1.6. Nitrates et composés azotés

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) font partie du cycle de l'azote présenté schématiquement ci-contre. Le réservoir principal d'azote est l'atmosphère. Au niveau des eaux naturelles, l'azote provient essentiellement des pluies ( $1 < C < 3 \text{ mg/l}$ ) et du drainage des sols [5].



Figure(III.1) : Le cycle de l'azote

La minéralisation de la matière organique présente dans le sol est réalisée par des micro-organismes. L'azote minéral ainsi produit est ensuite transformé par des bactéries aérobies en nitrates. Cette transformation, appelée nitrification, comporte deux étapes : la nitratation qui produit des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et la nitratation qui transforme les nitrites en nitrates. Si les conditions du milieu le permettent, les nitrates seront utilisés par des bactéries anaérobies comme source d'énergie et transformés en azote gazeux. Notons que les nitrates peuvent également s'adsorber et se fixer sur les argiles et humus.

L'apport de nitrates dans le sol, puis dans les eaux, est fortement lié à la quantité de matières organiques présente et aux conditions du milieu. Les actions anthropiques sont ainsi importantes: utilisation d'engrais azotés et de lisier. De même, les rejets de stations d'épuration ou plus simplement de latrines et fosses septiques représentent un apport en matières organiques susceptibles de produire des nitrates [45].

L'analyse des nitrates dans les eaux permet d'obtenir des informations sur la présence de matières organiques dans le sol. Si des analyses d'autres composés azotés sont réalisés ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ , azote total...), il devient possible d'estimer la manière dont la matière organique est dégradée.

D'un point de vue sanitaire, les nitrates et nitrites ont été reconnus dangereux. En effet, les nitrates absorbés avec l'eau sont réduits en nitrites dans l'intestin et se fixent sur

l'hémoglobine, diminuant ainsi le transfert d'oxygène: c'est la méthémoglobinémie qui touche plus particulièrement les nourrissons.

L'échelle de concentration en nitrate des eaux s'étend sur une large gamme. Une eau souterraine dont le milieu permet la dénitrification peut être exempte de nitrates, alors qu'une eau "Polluée" par un apport important de matières organiques, d'engrais ou de rejets d'eau résiduaire peut présenter plusieurs centaines de mg/l de nitrates [7].

#### IV.4.2. Autres éléments dissous

##### IV.4.2.1. Fer et manganèse

La présence de fer dans les eaux souterraines est d'origine multiple : le fer sous forme de pyrite (FeS) est couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphique. Le fer se trouve à de fortes concentrations dans les eaux des cuirasses d'altération de socle. Les concentrations suivantes dans les eaux souterraines sont rapportées par l'ACF:

Tableau (III.6) : Concentrations en fer dans les eaux souterraines selon l'ACF

Sédimentaire (Cambodge, 1998)	3 à 15 mg/l
Socle (Ouganda, 1996)	0.5 à 1.5 mg/l

Présent sous forme réduite ( $Fe^{2+}$ ), le fer s'oxyde et précipite lorsque l'eau est pompée. Les dalles de forages ou puits sont alors colorées en brun/rouille et les populations se désintéressent parfois de la ressource : une eau chargée en fer utilisée pour la lessive colore le linge, et consommée directement ou sous forme d'infusion (Thé) elle peut avoir un goût prononcé [20,45].

##### IV.4.2.2. Fluor

Les sources principales du fluor dans les eaux souterraines sont l'apatite présente dans les bassins phosphatés ( $8 < \text{fluorine} < 5\text{mg/l}$  au Sénégal), et la fluorine présente dans les roches magmatiques alcalines et dans des filons ( $0.3 < \text{fluorine} < 0.5\text{mg/l}$ ). Les zones de thermalisme sont également fréquemment concernées.

C'est essentiellement le temps de contact entre roche et eau souterraine, ainsi que les contrôles chimiques qui sont la cause principale des concentrations élevées en iode (La dissolution de la Fluorine - $CaF_2$ - est contrôlée par la concentration en Calcium).

Le fluor est reconnu comme essentiel dans la prévention des caries dentaires (Dentifrices fluorés). Cependant, une ingestion régulière d'eau dont la concentration en fluor est supérieure à  $2\text{mg/l}$  (OMS) peut entraîner des problèmes de fluorose des os et dentaire (Décoloration des dents pouvant évoluée jusqu'à leur perte). Les enfants en croissance sont particulièrement vulnérables [45].

##### IV.4.2.3. Aluminium

La question de l'aluminium se pose essentiellement après traitement de l'eau avec un composé d'aluminium (Coagulant). Même si aucun risque sanitaire n'a pu être prouvé, on évoque le rôle aggravant de l'aluminium dans la maladie d'Alzheimer.

D'après l'OMS, la présence d'Aluminium à des concentrations supérieures à 0.2 mg/l provoque souvent des plaintes de la part des consommateurs, en raison de la floculation de l'hydroxyde d'aluminium dans les canalisations et d'une accentuation de la coloration de l'eau par le fer [45].

#### **IV.4.2.4. Phosphates**

Peuvent être d'origine organique ou minérale. Le plus souvent, leur teneur dans les eaux naturelles résulte de leur utilisation en agriculture, de leur emploi comme additifs dans les détergents et comme agents de traitement des eaux de chaudières. Leur présence dans les eaux de certains puits, à la campagne, indique la proximité de fumiers, de fosses septiques ou la possibilité d'infiltration d'eaux de ruissellement agricoles, riche en engrais [11].

#### **IV.4.2.5. Silicates**

Par l'érosion des pierres de silicates, l'eau naturelle (Eau de source, fleuves, lacs et mers) présente toujours une teneur en silicates plus ou moins élevée. La concentration en silicates, souvent sous forme de dioxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ) en mg/l, insoluble dans l'eau, est donnée par l'analyse de pierres, sédiments, substrats de fond et eaux. Selon le syndicat des eaux, dans l'eau potable aucune valeur limite n'est fixée pour les silicates inoffensifs. Chaque eau de conduite renferme donc des silicates dissous, selon la nature géologique du sol de la région. Les concentrations oscillent entre quelques mg de  $\text{SiO}_2$ /l jusqu'à 30 ou 40 mg/l.

Une concentration élevée en silicates peut en effet conduire à une forte croissance d'algues siliceuses qui utilisent le dioxyde de silicium pour construire leurs parois cellulaires. Il faut par conséquent veiller à la concentration en silicates lors du démarrage d'un nouvel aquarium. Dans des aquariums rodés avec une concentration normale en silicates, les algues siliceuses sont contenues par d'autres algues. Ils existent diverses observations au sujet de l'influence de la concentration en silicates sur le développement des coraux. Lors de problèmes avec des coraux, il faudrait toujours contrôler la concentration en silicates.

#### **IV.4.2.6. Les métaux toxiques**

Certains métaux ont des effets bénéfiques, du moins à faible concentration (Cas des oligo-éléments) ; cependant, à concentration un peu plus élevée, ils peuvent devenir nettement toxiques. Parmi les métaux les plus dangereux, on peut citer le béryllium, le cadmium, le chrome, le plomb, le mercure, le sélénium, l'argent et l'arsenic [11].

#### **IV.4.2.7. Les composés inorganiques non métalliques**

Outre les fluorures et certains dérivés azotés, les substances inorganiques à caractère toxique que l'on peut trouver dans l'eau sont essentiellement le bore, les sulfures et les cyanures [11].

#### **IV.4.2.8. Les pesticides totaux**

La pollution des eaux par ces produits est liée à leur entraînement par le ruissellement (Contamination dans les eaux de surface) ou par leur infiltration (Contamination dans les eaux souterraines). Les facteurs influents sur le transfert des pesticides jusqu'au milieu hydrique

naturel sont leur solubilité dans l'eau, leur résistance à la dégradation physique et biochimique, la nature du sol, le volume et l'intensité des pluies [33].

#### **IV.4.3. Oxygène dissous, DBO, DCO et oxydabilité**

L'ensemble de ces paramètres permet d'estimer la quantité de matière organique présente dans l'eau.

##### **IV.4.3.1. Oxygène dissous**

La présence d'oxygène dissous dans l'eau est indispensable ; l'oxygène permet de maintenir une bonne qualité de l'eau notamment son goût ou son degré aseptique ; il est essentiel pour la survie de nombreux organismes aquatiques [76].

L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que la pression partielle d'oxygène dans le liquide et l'air soit en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique (Donc de l'altitude), de la température et de la minéralisation de l'eau : la saturation en  $O_2$  diminue lorsque la température et l'altitude augmente

C'est un paramètre utilisé essentiellement pour les eaux de surface. Au niveau de la mer à 20°C, la concentration en oxygène en équilibre avec la pression atmosphérique est de 8.8 mg/l d' $O_2$ , ou 100% de saturation. Une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène (Torrent), alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous saturée. En effet, la forte présence de matières organiques dans un plan d'eau par exemple, permet aux microorganismes de se développer tout en consommant de l'oxygène [45].

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'environnement aqueux puisqu'il est le réactif limitant de la principale voie de dégradation de la pollution organique. Le dosage d'oxygène dissous est d'une importance principale dans les études portant sur la qualité des eaux. Les substances biodégradables consomment de l'oxygène, si bien que la détermination de sa teneur constitue une mesure indirecte du degré de pollution [9].

##### **IV.4.3.2. DBO, DCO et oxydabilité**

###### **❖ La demande biochimique en oxygène DBO5**

La demande biochimique en oxygène d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes aérobies présents ou introduits dans cet échantillon pour réaliser la dégradation des composés biodégradables présents. Il s'agit d'une méthode d'évaluation de la fraction des composés organiques biodégradables, donc plus restrictive que les méthodes basées sur l'oxydation chimique et catalytique de toutes les matières organiques oxydables [24,26].

Cette mesure est très utilisée pour le suivi de rejet de station d'épuration, car elle donne une approximation de la charge en matières organiques biodégradables. Elle est exprimée en mg d' $O_2$  consommé [45].

### ❖ La Demande Chimique en Oxygène

Exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (Biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant: le bichromate de potassium.

Cette méthode donne par conséquent une image plus ou moins complète des matières oxydables présentes dans l'échantillon (Certains hydrocarbures ne sont par exemple pas oxydés dans ces conditions). L'objectif de la DCO est différent de celui de la DBO. La DCO peut être réalisée plus rapidement que la DBO "Oxydation forcée", et donne une image de la matière organique présente même si le développement de micro-organismes est impossible (Présence d'un toxique par exemple). Le résultat s'exprime en mg/l d'O<sub>2</sub> [11].

Les échelles de valeur fréquemment rencontrées sont les suivantes [45] :

Tableau (III.7) : Echelle de valeurs de DBO<sub>5</sub>

Situation	DBO <sub>5</sub> (mg/l) d'O <sub>2</sub>
eau naturelle pure et vive	< 1
rivière légèrement polluée	1 < C < 3
égout	100 < C < 400
rejet station d'épuration	20 < C < 40

Généralement, la DCO = 2 à 1.5 x DBO<sub>5</sub>. La relation empirique suivante lie la DBO<sub>5</sub>, DCO et la matière organique de l'échantillon (MO):

$$MO = (2DBO_5 + DCO)/3 \quad \text{(III.1)}$$

L'oxydabilité est une mesure similaire à la DCO, mais utilisée dans le cas de faibles concentrations en matières organiques (DCO < 40 mg/l d'O<sub>2</sub>). L'oxydant utilisé est alors le permanganate de potassium. C'est l'un des paramètres que l'ACF a utilisé pour résoudre un problème d'eau souterraine suspectée d'être chargée en matières organiques.

### IV.5. Normes de qualité

Les qualités requises pour une eau sont fonction de son utilisation. Ainsi, les objectifs de qualité sont différents suivant que l'eau est utilisée pour la pisciculture, la baignade, la production de vapeur implique des exigences en ce qui concerne la salinité, l'eau destinée à l'alimentation humaine doit répondre à un ensemble de critères en ce qui concerne les paramètres microbiologiques et physico-chimiques.

En France, une grille de qualité a été établie pour chaque usage envisageable. Cette grille fixe 5 classes de qualité selon les usages que doivent satisfaire les eaux de surface et chaque classe regroupe les valeurs de plusieurs paramètres [24].

Les normes de qualité des eaux sont regroupées dans l'annexe (II)

# CHAPITRE IV

### IV.1. Principes théoriques

Il existe plusieurs façons de déterminer la quantité d'une substance présente dans une portion de solution, c'est-à-dire d'effectuer le dosage de cette substance. Plusieurs réactions chimiques sont en effet spécifiques à un composé donné. Certaines, par exemple, produisent un composé coloré. L'intensité de la coloration peut être reliée à la concentration molaire volumique de la substance dosée, notamment au nombre de moles de la substance qu'on retrouve dans un litre de la solution. D'autres réactions impliquent un faible potentiel électrique (Oxydoréduction) dont l'intensité peut être reliée à la concentration d'une substance. C'est ce phénomène qui est à la base du fonctionnement des électrodes spécifiques comme celle qu'on retrouve sur un pH-mètre. Alors que d'autres réactions exploitent une variation du pH pendant le dosage ou encore la formation d'un précipité [19].

Le principe des différentes méthodes utilisées est cité dans ce qui suit :

#### IV.1.1 Principe de la spectrophotométrie UV-Visible

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée en solution [55].

Cette technique exploite les propriétés des composés à absorber la lumière. On utilise généralement des complexants qui donnent des couleurs avec les éléments à doser. [4]. Plus cette espèce est concentrée plus elle absorbe la lumière dans les limites de proportionnalités énoncées par la loi de Beer-Lambert.

La densité optique des solutions est déterminée par un spectrophotomètre préalablement étalonné sur la longueur d'onde d'absorption de l'espèce chimique à étudier [56].

Les différents éléments d'un spectrophotomètre sont [48] :

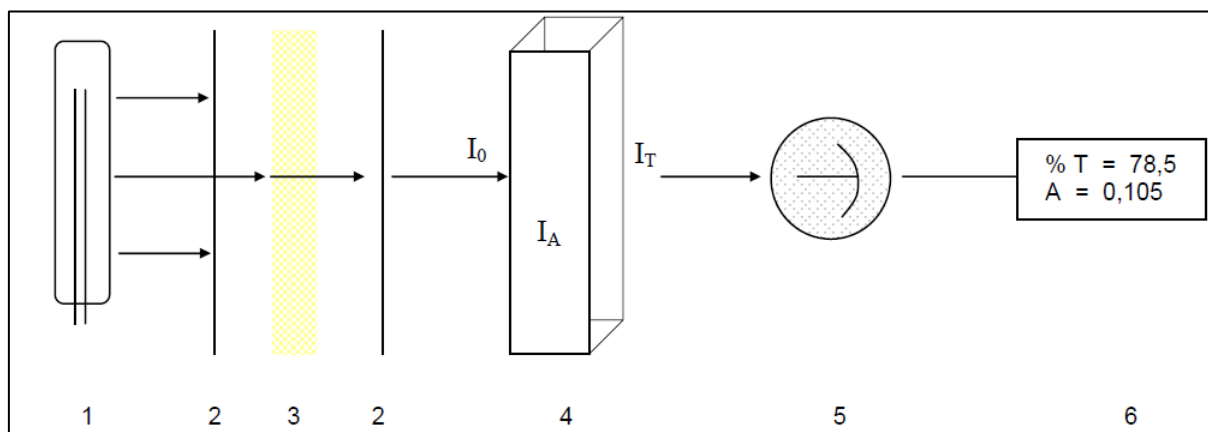


Figure (IV.1) : Schéma de principe d'un spectrophotomètre

- Source lumineuse.
- Fentes.
- Sélecteur de longueur d'onde.
- Cuvettes.
- Détecteur.
- Accessoires



### IV.1.2. Principe du photomètre d'émission de flamme

Le photomètre de flamme est principalement utilisé pour le dosage du sodium, du potassium, du lithium et du calcium. En raison de la facilité et de la rapidité de son utilisation ainsi que du peu d'interférences, cette méthode est largement utilisée pour ces éléments qui sont difficiles à doser autrement. Lorsque le cation préalablement nébulisé arrive dans la flamme, il est alors excité, il se désexcite alors en émettant des photons, c'est-à-dire une émission lumineuse. Cette intensité émise est proportionnelle à la concentration du composé. La mise au point d'un dosage par émission de flamme exige un étalonnage de l'appareil.

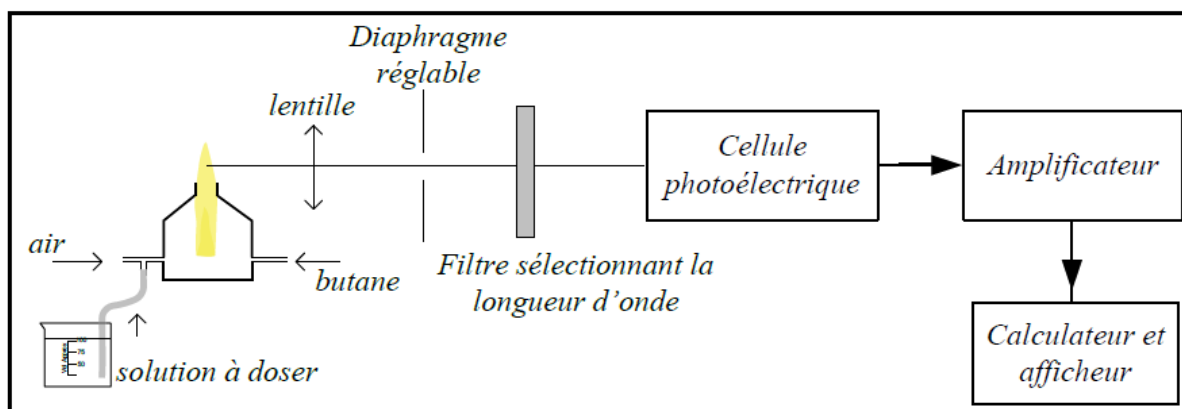


Figure (IV.2) : Schéma de principe d'un photomètre de flamme

Le photomètre de flamme est constitué des éléments suivants :

- **Le brûleur** : Il fournit une flamme dans laquelle on pulvérise la solution à analyser.
- **Le monochromateur** : Permet de sélectionner la longueur d'onde caractéristique de l'élément à doser, il est composé de filtres.
- **Le récepteur photoélectrique** : Il est composé d'une cellule photoélectrique qui transforme le flux lumineux en intensité électrique. La lecture est obtenue sous forme digitale.
- **Un amplificateur.**
- **Un afficheur** [62].

### IV.1.3. Principe de la titrimétrie

La titrimétrie ou titrage est une technique de dosage utilisée en chimie analytique afin de déterminer la concentration d'une espèce chimique en solution (Ou titre d'une solution).

Un dosage (Ou titrage) a pour but de déterminer la concentration molaire d'une espèce (Molécule ou ion) en solution (Généralement aqueuse). Un réactif de concentration connue (Réactif titrant) réagit avec l'espèce de concentration inconnue (Espèce titrée) : il s'agit alors de déterminer la quantité de réactif titrant nécessaire pour neutraliser l'espèce titrée. La méthode de titrage la plus utilisée est la volumétrie ou titrage volumétrique.

On distingue trois types de titrage :

- Dosage acido-basique.
- Dosage d'oxydoréduction.
- Dosage par précipitation ou complexation.
- Dosage conductimétrique.

Lors d'un dosage direct, la solution contenant l'espèce à doser est versée dans un erlenmeyer placé sur un agitateur magnétique. On ajoute la solution contenant le réactif titrant à l'aide d'une burette : Le changement de couleur du milieu réactionnel (Dû à un indicateur, à l'apparition ou à la disparition d'une espèce chimique permet de déterminer le volume de réactif titrant versé à l'équivalence et donc la concentration de l'espèce dosée.

#### IV.2. Positionnement des points d'eau, échantillonnage et filtration

Les coordonnées des points d'eau sont positionnées sur place à l'aide d'un GPS GARMIN ETREX H de la figure ci-dessous (Figure (IV.3)).



Figure (IV.3) : Le GPS GARMIN ETREX H

Les échantillons d'eau sont prélevés dans des flacons en polyéthylènes propres, rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser, et fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon. Ils sont transportés dans une glacière à une température de 4°C. Les analyses ont été effectuées, selon les priorités d'analyse mentionnées dans le tableau (1) de l'annexe (III).

Vu le nombre important d'échantillon et de paramètre à doser, qui ne permet pas d'effectuer toutes les analyses dans l'immédiat, on a procédé à la conservation des échantillons. Avant de conservé ces derniers, il est nécessaire de les préparer à la conservation par filtration et acidification.

La filtration des échantillons permet de supprimer toute particule en suspension qui pourrait, lors de l'acidification, du refroidissement ou du stockage, repasser en solution et faire perdre à l'échantillon sa représentativité. Les filtres utilisés possèdent une porosité standard 0.45  $\mu\text{m}$ .

Pour l'analyse des cations, l'échantillon est normalement acidifié après filtration avec de l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) concentré (65 %) jusqu'à un pH d'environ 2.

Pour les anions, il n'y a pas de problème de conservation majeur. Les échantillons ainsi préparés peuvent se conservés 6 mois [45].

### V.3. Matériels et méthodes d'analyse

#### V.3.1. La turbidité (Méthode d'atténuation de radiation (lecture directe))

La turbidité a été mesurée à l'aide d'un colorimètre de marque HACH HD/890 (Figure (IV.4))



Figure (IV.4): Le colorimètre (HACH HD/890)

#### IV.3.1.1. Principe de la méthode

La détermination de la turbidité mesure une propriété optique de l'échantillon d'eau qui résulte de la dispersion et de l'absorption de la lumière par les particules de matières en suspension présentes dans l'échantillon. La quantité de turbidité mesurée dépend de variables telles que la taille, la forme et les propriétés de réfraction des particules.

#### IV.3.1.2. Mode opératoire

Pour effectuer la lecture de l'échantillon, il faut :

- Entrer le N° du programme mémorisé pour la turbidité.
- Presser PRGM ; l'affichage indique : PRGM ?
- Presser 95, enter. L'affichage indique FAU.
- Homogénéiser 500 ml d'échantillon dans un homogénéisateur à grande vitesse pendant 02 minutes, et le verser dans un bêcher de 600 ml.

- Ramener l'appareil à (0 FAU) en effectuant la lecture avec le blanc (Eau distillé).
- Verser 25 ml de l'échantillon dans une l'autre cuvette colorimétrique, l'agiter pour éliminer les bulles de gaz et obtenir une suspension uniforme, le placer dans le puits de mercure.
- Placer le capot de l'appareil (Pare-lumière) sur la cuvette d'échantillon et presser la touche READ. Après une courte pause, les résultats sont affichés. On trouve les valeurs en unité FAU [14].

### IV.3.2. Température

Les mesures des températures de l'eau sont prises à l'aide d'un multi-paramètres de marque inoLAB\* pH/ION/Cond 750 (Figure (IV.5)).



Figure (IV.5) : Le multi paramètres (inoLAB\* pH/ION/Cond 750)

### IV.3.3. Le potentiel hydrique et la conductivité électrique

Nous avons mesuré le pH et la conductivité électrique à l'aide du même multi paramètres, avec deux sondes différentes. Nous avons plongé la sonde du conductimètre dans un bêcher rempli d'eau à analyser et nous avons atermoyé la stabilisation de la valeur affichée sur l'écran.

### IV.3.4. L'oxygène dissous (Méthode électrochimique)

Pour la mesure de l'oxygène dissous nous avons utilisé la méthode électrochimique.

#### IV.3.4.1. Principe de la méthode

La méthode consiste à calibrer la sonde de l'oxymètre, la calibration de la sonde s'effectue à l'air saturé en vapeur d'eau. Pour notre cas, nous avons utilisé le bûcher **Oxical<sup>R</sup>-SL** (Pour la calibration dans l'air).

#### IV.3.4.2. Mode opératoire

Nous avons plongé la sonde caractéristique de l'oxygène dissous dans un bûcher rempli d'eau à analyser, après stabilisation, la sonde nous donne la valeur de saturation en oxygène dissous en (%) ainsi que sa concentration en (mg/l).

#### IV.3.5. Matières en suspension (Méthode photométrique)

Les matières en suspension ont été mesurées de la même manière que la turbidité mais en changeant le programme de mesure.



Figure (IV.6) : Le colorimètre (HACH HD/890)

#### IV.3.5.1. Principe de la méthode

La méthode photométrique de détermination des matières en suspension est une mesure directe qui ne nécessite ni filtration, ni séchage, ni pesée comme dans la méthode gravimétrique.

#### IV.3.5.2. Mode opératoire

- Entrer le N° du programme mémorisé pour les MES.
- presser PRGM ; l'affichage indique : PRGM ?
- Presser 94, enter. L'affichage indique mg/l.

- Homogénéiser 500 ml d'échantillon dans un homogénéisateur à grande vitesse pendant 02 minutes, et le verser dans un bêcher de 600 ml.
- Ramener l'appareil à (0 mg/l) en effectuant la lecture avec le blanc (Eau distillé).
- Verser 25 ml de l'échantillon dans une autre cuvette colorimétrique, l'agiter pour éliminer les bulles de gaz et obtenir une suspension uniforme, le placer dans le puits de mercure.
- Presser READ, le résultat en mg/l des matières en suspension s'affiche [14].

### IV.3.6. Dosage des Chlorures (Méthode de MOHR)

#### IV.3.6.1. Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de dichromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du dichromate d'argent [65,74].

#### IV.3.6.2. Mode Opérateur

A 100 ml d'échantillon (Ou à un volume V d'échantillon dilué à 100 ml) ajouter à la pipette 1 ml d'indicateur  $K_2Cr_2O_7$  titré par addition progressive de nitrate d'argent jusqu'à obtention d'une coloration à peine brunâtre ou, mieux, jusqu'à ce que la solution cesse d'être jaune citron. Pour chaque type d'eau étudiée faire ce dosage en double. Noter la chute de burette moyenne [24].

#### IV.3.6.3. Expression des résultats

$$N_{Cl^-} = \frac{N_{AgNO_3} \times V_{AgNO_3}}{V_{\text{échantillon}}} \quad (IV.1)$$

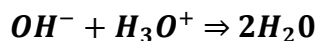
- $N_{Cl^-}$  : Normalité de  $Cl^-$ .
- $N_{AgNO_3}$  : Normalité d' $AgNO_3$ .
- $V_{\text{échantillon}}$  : Volume d'échantillon (ml).
- $V_{AgNO_3}$  : Volume d' $AgNO_3$  (ml).

### IV.3.7. Dosage des Carbonates et Bicarbonate (méthode pHmétrique)

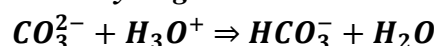
#### IV.3.7.1. Principe du dosage du TA et du TAC (Norme en ISO 9963-1)

La détermination des alcalinités d'une eau se fait par dosage volumétrique à l'aide d'une solution d'acide chlorhydrique étalonnée en se plaçant à des valeurs fixes de points de virages de 8,3 et 4,5. Les points de virage qui sont déterminés visuellement ou par pH-mètre, sont les points d'équivalence sélectionnés pour les déterminations des trois composants principaux de l'alcalinité : les hydroxydes, les carbonates et les hydrogénocarbonates [45,66].

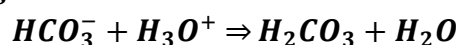
❖ *Neutralisation des hydroxydes en eau :*



❖ *Neutralisation des carbonates en hydrogénocarbonates :*



❖ *Neutralisation des hydrogénocarbonates issus des carbonates en acide carbonique :*



Le TA représente la quantité d'acide nécessaire pour arriver à la première équivalence (pH de neutralisation des carbonates). Ainsi, le TA est déduit du volume d'acide nécessaire pour neutraliser la totalité des hydroxydes et la moitié des carbonates (Neutralisation de la première basicité uniquement) [17].

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + \frac{1}{2} [\text{CO}_3^{2-}]$$

Le TAC représente la quantité totale d'acide nécessaire pour arriver à la deuxième équivalence (pH de neutralisation des hydrogénocarbonates). Donc, le TAC est déduit du volume d'acide nécessaire pour neutraliser la totalité des hydroxydes, des carbonates (Neutralisation de la première et de la deuxième basicité = hydrogénocarbonates issus des carbonates), et des hydrogénocarbonates présents initialement [17].

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

**Remarque :** La plupart des eaux de consommation ont un pH < 8,3 ; ainsi, elles ont un TA nul.

#### IV.3.7.2. Mode Opérateur

Introduire dans un bécher :

- 100 ml d'eau à analyser.
- La sonde du pH-mètre + un barreau aimanté. Mettre l'agitation en route.

Si la solution à un pH > 8,3 ; verser l'acide chlorhydrique jusqu'à atteindre le pH de 8,275. Si la solution a un pH < 8,3, le TA est nul.

Dans tous les cas, sans refaire une prise d'essai, continuer à verser l'acide chlorhydrique jusqu'à pH = 4,5. Noter le volume d'acide versé.

#### IV.3.7.3. Expression des résultats

❖ *Titre Alcalimétrique : TA*

$$\text{TA} = \frac{C_{\text{HCl}} \times (V_1 - V_0)}{100} \times 1000 \quad (\text{IV.2})$$

Où,

- $V_1$  : Volume d'acide versé (ml).
- $V_0$  : Volume d'échantillon (ml).

- $C_{\text{HCl}}$  : Concentration d'acide chlorhydrique.
- TA : Titre Alcalimétrique (mmol/l).

❖ **Titre Alcalimétrique Complet : TAC**

$$TAC = \frac{C_{\text{HCl}} \times (V_2 - V_0)}{100} \times 1000 \quad (\text{IV.3})$$

Où,

- $V_2$  : Volume d'acide versé.
- $V_0$  : Volume d'échantillon (ml).
- $C_{\text{HCl}}$  : Concentration d'acide chlorhydrique.
- TAC : Titre Alcalimétrique Complet (mmol/l).

### IV.3.8. Dosage du calcium

Le dosage du calcium peut être réalisé de différentes manières (Complexométrie, absorption atomique...). Nous allons utiliser la méthode complexométrie à l'E.D.T.A. qui fait l'objet de la norme NFT 90 016 [67].

#### IV.3.8.1. Principe

Le principe du dosage est de complexer les ions calcium avec l'EDTA (Acide éthylène diamine tétraacétique). On utilise comme indicateur coloré le calcon qui forme un complexe d'une coloration rouge en présence de l'ion  $\text{Ca}^{2+}$  et reprend sa teinte bleue lorsque la totalité de ces ions sont sous la forme  $\text{CaY}^{2-}$ . Pour que ce dosage se fasse dans de bonnes conditions, il faut se placer en milieu basique afin que l'EDTA ne soit pas protoné. On se place à un pH compris entre 12 et 13 pour précipiter le magnésium sous forme d'hydroxyde et éviter ainsi qu'il soit pris en compte dans le dosage.

#### IV.3.8.2. Mode opératoire

A l'aide d'une pipette, introduire 50 ml de l'échantillon dans un Erlen-Meyer de 250 ml. Ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde de sodium (2M) et quelques cristaux de l'indicateur acide calcone carboxylique. Dans le cas où le pH reste inférieur à 12, ajouter la quantité de solution d'hydroxyde de sodium nécessaire pour amener le pH entre 12 et 13 (Vérifier avec du papier pH). Mélanger et doser immédiatement. Ajouter la solution d'EDTA tout en continuant à mélanger. Verser lentement en fin de dosage. Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement bleue. La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

#### IV.3.8.3. Expression des résultats

$$N_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{1000 \times 40,08 \times V_{\text{EDTA}} \times C_{\text{EDTA}}}{V_{\text{échantillon}}} \quad (\text{IV.4})$$

Avec,

- $N_{\text{Ca}^{2+}}$ : La concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  (mg/l).



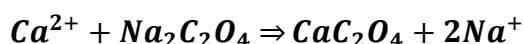
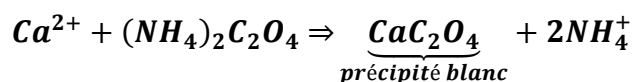
- $V_{EDTA}$  : Volume de la solution d'EDTA utilisé pour le dosage (ml).
- $C_{EDTA}$  : Concentration de la solution d'EDTA (M).
- $V_{\text{échantillon}}$  : Volume d'échantillon dosé (ml).

**Remarque** : les échantillons dont la concentration en calcium est supérieure à 100 mg/l doivent être dilués avant le dosage. Il faut alors tenir compte de la dilution dans le calcul des concentrations.

### IV.3.9. Dosage du magnésium

#### IV.3.9.1. Principe

Pour déterminer la teneur en ions magnésium dans l'eau, il est nécessaire d'éliminer les ions de calcium. Cette opération s'effectue à l'aide des sels oxaliques  $(NH_4)_2C_2O_4$  ou  $Na_2C_2O_4$ , selon les réactions suivantes :



On obtient la précipitation d'oxalate de calcium, qui empêche la réaction du calcium avec l'EDTA [67].

#### IV.3.9.2. Mode opératoire

A l'aide d'une pipette, introduire 50 ml de l'échantillon dans un erlen-Meyer de 250 ml. Puis on ajoute 3 à 4 ml de la solution de sel oxalique à 25°C-30°C. On filtre le précipité blanc de  $CaC_2O_4$  qu'on lave avec quelque ml d'eau distillée au-dessus de l'entonnoir. L'eau de lavage est additionnée au filtrat. On ajoute par la suite 5 ml de la solution ammoniacale et 7 à 8 gouttes d'indicateur noir d'EriochromeT et enfin, on titre l'eau à analyser par la solution de complexon III, et on note le volume moyen versé.

#### IV.3.9.3. Expression des résultats

$$N_{Mg^{2+}} = \frac{12000 \times V_{EDTA} \times N_{EDTA}}{V_{\text{échantillon}}} \quad (IV.5)$$

Avec,

- $N_{Mg^{2+}}$  : La concentration en  $Mg^{2+}$  (mg/l).
- $N_{EDTA}$  : Normalité de la solution de complexons III ( $Na_2EDTA$ ) (0,02 N).
- $V_{EDTA}$  : Volume de la solution de complexons III ( $Na_2EDTA$ ).
- $V_{\text{échantillon}}$  : Volume d'échantillon.

### IV.3.10. Dosage du Sodium et Potassium (NF T 90 019. Dosage du sodium et du potassium - Méthode par spectrométrie d'émission de flamme)

#### IV.3.10.1. Principe

Lorsque le cation préalablement nébulisé arrive dans la flamme, il est alors excité, il se désexcite alors en émettant des photons, c'est-à-dire une émission lumineuse. Cette intensité émise est proportionnelle à la concentration du composé. La mise au point d'un dosage par émission de flamme exige un étalonnage avec une gamme de standards.

#### IV.3.10.2. Mode opératoire

- Pulvériser de l'eau distillée et faire le réglage du zéro (Afficher 0 à l'aide du bouton « Blank »).
- Placer le filtre sur Na ou K selon le dosage.
- Faire passer les solutions étalons filles, noter l'indication correspondante à chaque solution.
- Faire passer les solutions à doser (Eau diluée si nécessaire), noter la graduation.
- Entre chaque mesure, rincer le dispositif de pulvérisation à l'eau distillée.

L'image de la figure (IV.7) montre le dispositif qu'on a utilisé pour le dosage des ions sodium et potassium.



Figure (IV.7) : Le photomètre à flamme JENWAY

On trace les courbes d'étalonnage permettant de calculer les concentrations de sodium et de potassium (Indication de l'afficheur en ordonnées, concentrations en abscisses). Déterminer, à l'aide de ces dernières les concentrations massiques en sodium et potassium de l'eau à analyser.

**IV.3.10.3. Établissement des courbes d'étalonnage**

Dans une série de fioles jaugées de 100 ml, introduire successivement les données suivantes (Tableau (IV.1) et (IV.2)) :

Tableau (IV.1): Etablissement de la courbe d'étalonnage de sodium

Numéros des fioles	T	I	II	III	IV
Solution étalon de sodium à 1 g/l	0	1	3	5	10
Eau distillée (ml)	100	99	97	95	90
Correspondance en mg/l de sodium	0	10	30	50	100
Acide nitrique (ml)	1	1	1	1	1

Tableau (IV.2): Etablissement de la courbe d'étalonnage de potassium

Numéros des fioles	T	I	II	III	IV
Solution étalon de potassium à 1g/l	0	0,05	0,1	0,2	0,4
Eau distillée (ml)	10	99,95	99,9	99,8	99,6
Correspondance en mg/l de potassium	0	0,5	1	2	4
Acide nitrique (ml)	1	1	1	1	1

**IV.3.11. Dosage des nitrates (Méthode au salicylate de sodium)**

L'image suivante représente le spectrophotomètre OPTIZEN 3220 UV :



Figure (IV.8) : Le spectrophotomètre OPTIZEN 3220 UV

**IV.3.11.1. Principe**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune susceptible d'un dosage colorimétrique [65, 67].

**IV.3.11.2. Mode opératoire**

Introduire 10 ml d'eau à analyser dans une capsule de 60 ml (Pour des teneurs en azote nitrique supérieures à 10 mg/l ; faire une dilution de l'échantillon). Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium. Ajouter 1 ml de solution de salicylate de sodium puis poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage, préparer de la même façon un témoin avec 10 ml d'eau bidistillée, effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'ondes de 415 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage [65].

**IV.3.11.3. Etablissement de la courbe d'étalonnage**

Dans une série de fioles jaugées de 50ml, introduire successivement les données suivantes (Tableau (IV.3)) :

*Tableau (IV.3): Etablissement de la courbe d'étalonnage des nitrates*

Numéros des fioles	T	I	II	III	IV
Solution étalon d'azote nitrique à 0,005g/l	0	1	2	5	10
Eau distillée (ml)	10	9	8	5	0
Correspondance en mg/l d'azote nitrique	0	0,5	1	2,5	5
Solution de salicylate de sodium	1	1	1	1	1

- Evaporer chaque flacon à sec au bain-marie ou dans une étuve portée à 75-80 °C (Ne pas surchauffer, ni chauffer trop longtemps).
- Laisser refroidir.
- Reprendre le résidu par 2 ml d'acide sulfurique concentré en ayant soin de l'humecter complètement. Attendre 10 minutes.
- Ajouter 15 ml d'eau distillée puis 15 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune.
- Mesurer l'absorbance de chaque échantillon au colorimètre (Longueur d'onde : 415 nm) et construire la courbe d'étalonnage représentant l'absorbance en fonction de la concentration en nitrates [20].

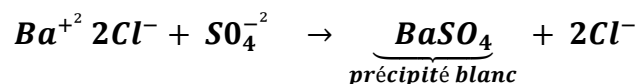
**IV.3.11.4. Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 10 ml, la courbe donnée dans le tableau (5) en annexe (III) fournie directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligrammes par litre d'eau.

### IV.3.12. Dosage des sulfates

#### IV.3.12.1. Principe

Le dosage des sulfates est basé sur la réaction en milieu acide, entre l'ion sulfate et le chlorure de baryum, qui conduit quantitativement à la formation de sulfate de baryum, sel très peu soluble [67] :



#### IV.3.12.2. Mode opératoire

Dans un erlen de 250 ml placé sur un agitateur magnétique, verser 100 ml d'échantillon ou de solution étalon. Ajouter à la pipette 5 ml de la solution stabilisante. Agiter ; la vitesse d'agitation devra être maintenue constante pendant toute la durée de l'expérience. Ajouter environ 0,4 g de BaCl<sub>2</sub> et agiter 1 minute, puis verser la suspension dans la cellule de mesure. Attendre 3 ou 4 minutes pour que la turbidité se développe, puis faire la lecture sur l'appareil, ne pas attendre plus de 10 minutes après l'addition de BaCl<sub>2</sub>. Commencer par le témoin afin de pouvoir régler le 100 % de transmission et faire la soustraction du témoin [43].

#### IV.3.12.3. Etablissement de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles jaugées de 100 ml, préparer les dilutions suivantes (Tableau (IV.4)) :

Tableau (IV.4): Etablissement de la courbe d'étalonnage des sulfates

Numéros des fioles	T	I	II	III	IV
Solutions étalon de sulfates à 100 mg/l (ml)	0	10	20	30	40
Eau distillée (ml)	100	90	80	70	60
Equivalent en mg/l de sulfates	0	10	20	30	40

#### IV.3.12.4. Expression des résultats

Pour un échantillon de 100 ml (pour des faibles teneurs en SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) la courbe fournie dans le tableau 6 en annexe (III) donne directement la concentration en SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> en mg/l.

### IV.3.13. Dosage des phosphates (Méthode au molybdate d'ammonium)

#### IV.3.13.1. Principe

Les ions ortho-phosphates peuvent être dosés avec précision par colorimétrie. Ils réagissent avec le molybdate d'ammonium pour donner de l'acide molybdophosphorique. Cet acide donne lieu à diverses réactions colorées. La réaction au chlorure stanneux ou à l'acide ascorbique, on obtient du molybdène qui développe une coloration bleu susceptible d'un dosage spectrophotométrique à une longueur d'onde de 690nm [67].

#### IV.3.13.2. Mode opératoire

Introduire 40 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 50 ml, ajouter 4 ml de solution de l'acide molybdate, puis on ajoute 10 gouttes de la solution de chlorure stanneux. Ajuster jusqu'au trait de jauge avec l'eau distillée, bien mélanger. Laisser 5 minutes puis effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 690 nm [55].

#### IV.3.13.3. Etablissement de la courbe d'étalonnage

Par dilution de la solution mère, préparer 5 étalons contenant de 0 à 0,4 mg/l de phosphate selon le tableau (IV.5) suivant [73]:

Tableau (V.5): Etablissement de la courbe d'étalonnage des phosphates

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV
Solution standard de phosphate à 0,005g/l	0	1	2	3	4
Eau distillée (ml)	40	40	40	40	40
Solution de chlorure stanneux (gouttes)	10	10	10	10	10
Solution acide molybdate (ml)	4	4	4	4	4
Equivalent en mg/l de phosphate	0	0,1	0,2	0,3	0,4

#### IV.3.13.3. Expression des résultats

Tenir compte de la valeur lue pour le témoin et tracer la courbe d'étalonnage. Les concentrations des échantillons en phosphates sont obtenues à partir de la courbe d'étalonnage fournie dans le tableau 7 en annexe (III).

#### IV.3.14. Dosage du fer total (Méthode FerroVer (Technique avec réactifs en sachets))

##### IV.3.14.1. Mode opératoire

- Entrer le numéro de programme mémorisé pour le fer (Fe), méthode FerroVer, réactif en sachet.
- Presser : **33 ENTER**, L'affichage indique **mg/l, Fe** et le symbole **ZERO**.
- Remplir une cuvette propre avec 25 ml d'échantillon (le blanc).
- Placer le blanc dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
- Presser : **ZERO**, Le curseur se déplace vers la droite puis l'affichage indique : **00 mg/l Fe**.
- Remplir une autre cuvette avec 25 ml d'échantillon.
- Ajouter le contenu d'un sachet de réactif FerroVer à la cuvette (l'échantillon préparé). Boucher et agiter pour mélanger.
- Presser : **TIMER ENTER**. Une période de réaction de 3 minutes commence.
- Lorsque le minuteur sonne, placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
- Presser : **READ**. Le curseur se déplace vers la droite puis le résultat en mg/l de fer (Fe) s'affiche [34].

### IV.3.15. Dosage du Brome (Méthode DPD (Technique avec réactifs en gélules))

#### IV.3.15.1. Mode opératoire

- Entrer le numéro de programme mémorisé pour le brome (Br<sub>2</sub>), réactif en gélules.
- Presser : **PRGM**, L'affichage indique : **PRGM?**
- Presser : **5 ENTER**. L'affichage indique **mg/l, Br<sub>2</sub>** et le symbole **ZERO**.
- Remplir une cuvette avec 10 ml d'échantillon (le blanc).
- Placer le blanc dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
- Presser : **ZERO**. Le curseur se déplace vers la droite puis l'affichage indique : **mg/l Br<sub>2</sub>**.
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactif DPD pour chlore total à la cuvette (l'échantillon préparé). Boucher la cuvette et agiter pour dissoudre la poudre.
- Presser : **TIMER ENTER**. Une période de réaction de 3 minutes commence.
- Lorsque le minuteur sonne, placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
- Presser : **READ**. Le curseur se déplace vers la droite puis le résultat en mg/l Br<sub>2</sub> s'affiche [34].

### IV.3.16. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

Les analyses ont été réalisées par la méthode manométrique à l'aide de l'appareil **OXITop® IS 6**.

#### IV.3.16.1. Principe de la méthode

La mesure avec OxiTop® IS 6 repose sur une mesure de la pression dans un système clos. Les micro-organismes qui se trouvent dans l'échantillon consomment l'oxygène en formant du CO<sub>2</sub>. Celui-ci est absorbé avec NaOH. Il s'ensuit une dépression dont la mesure peut être lue directement dans la DBO en mg/l (Figure (IV.9)).



Figure (IV.9): Appareil de mesure de la DBO<sub>5</sub> OXITop® IS 6

**IV.3.16.2. Mode opératoire**

- Mettre un volume d'échantillon à analyser dans le flacon ambré pour échantillon.
- Mettre le barreau d'agitation dans le flacon pour assurer une agitation permanente.
- Mettre deux pastilles de (NaOH) dans l'insert en caoutchouc.
- Fermer le flacon avec la tête OxiTop® IS 6 Control.
- Mettre les flacons dans le portoir de stockage à l'incubation 20°C pendant cinq jours à l'armoire thermostatique [14].

La  $DBO_5$  est donnée par la formule :

$$DBO_5 = V \times F \quad \text{(IV.6)}$$

Avec,

- V : La valeur affichée.
- F : Facteur de dilution.



# CHAPITRE V

## V.1 Introduction

La nature chimique et la concentration des eaux souterraines dépendent en partie des propriétés des eaux de recharge (Eaux de surface et eaux des précipitations), mais surtout des processus physico-chimiques qui existent dans l'aquifère [61]. Ces processus physico-chimiques augmentent ou diminuent la concentration des substances dissoutes dans l'eau le long de son cheminement souterrain. Les proportions de ces variations chimiques de la concentration des substances dissoutes varient avec la nature pétrographique et physique de l'aquifère, avec la température et les propriétés chimiques de l'eau, ainsi qu'avec le temps de séjour de l'eau et les influences anthropogènes [49].

Les variations saisonnières des conditions chimiques et hydrauliques des recharges d'eau provoquent des fluctuations saisonnières du chimisme dans les eaux souterraines. De plus, des impacts humains sur la qualité des eaux souterraines peuvent influencer ou accélérer les processus naturels [38].

Il est évident que le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- \dots$ ). Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface.

Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physico-chimique des eaux. On observe principalement deux trois types d'influence:

- **En agriculture** : Apports de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{PO}_4^{3-}$ .
- **Rejets des eaux usées** : Apports de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  et quelques métaux lourds (Plomb, Mercure, Nickel, Chrome,...) [32].

Ce chapitre a pour objectifs, de définir la qualité physico-chimique des eaux de l'Oued Djemaa, et de caractériser le chimisme des eaux qui nous permettra d'expliquer l'origine et l'évolution des éléments chimiques décrits afin de mieux comprendre le fonctionnement du système aquifère.

Il est nécessaire d'avoir un nombre de stations de prélèvement suffisamment élevé pour permettre des comparaisons à l'échelle spatiale. Cependant, des contraintes matérielles (Accessibilité des sites) ont également influencé le choix du nombre des stations d'étude. En Avril 2010, une campagne de reconnaissance des points d'eaux sélectionnées a permis de retenir 18 stations (Figure (V.1)).

- 11 stations des eaux souterraines (Forages et puits réalisés par la DHW de la Wilaya et l'ANRH).
- 07 stations des eaux de surface avoisinantes pour révéler les échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

Les stations retenues sont réparties dans les trois zones suivantes :

- La première zone est bordée par la mer méditerranéenne vers laquelle se dirige les écoulements, jusqu'au lieu-dit Larbaa (Commune de BOUKHELIFA).
- La deuxième zone s'étale de BOUKHELIFA jusqu'à Ait Sidi Ali (Commune de BARBACHA).
- La troisième zone localisée au Sud, s'étend jusqu'à KENDIRA.

## V.2. Les caractéristiques des stations de prélèvement

Les caractéristiques des stations de prélèvement sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau (V.1) : Caractéristiques des stations de prélèvement

		Station	X	Y	Z
Eaux souterraine	Partie avale	(F1) Forage du pont	0696839	4057622	7
		(P2) Puits Champ captant	0696636	4057246	12
		(F2) Forage Sablière	0696416	4056910	11
		(F3) Forage Tabliènète (1)	695669	4056385	13
		(F3') Forage Tabliènète (2)	695672	4056353	12
		(P1) Puits LARBAA	0693361	4056446	39
	Partie intermédiaire	(F4) Forage Ait sidi Ali	0697396	4051898	716
	Partie amont	(F5) Forage chef-lieu	0681428	4045767	1074
		(F6) Forage Tala ITHIFOU	683344	4044413	1204
		(P3) Puits ICHELAHENE	686799	4046945	1260
(P4) Puits Tala IMAZIGHE		686799	4046945	1260	
Eaux de surface	Partie avale	(S1) Surface du pont	0696762	4057627	2
		(S2) Surface champ captant	0696732	4057212	12
		(S3) Surface Sablière	696417	4056949	3
		(S4) Surface Tabliènète (1)	0695732	4056281	9
		(S5) Surface Tabliènète (2)	678976	4051942	10
		(S6) Surface LARBAA	693087	5056157	36
	Partie intermédiaire	(S7) Surface Ait sidi Ali	0678976	4051942	712

Le schéma qui suit représente le réseau d'échantillonnage.

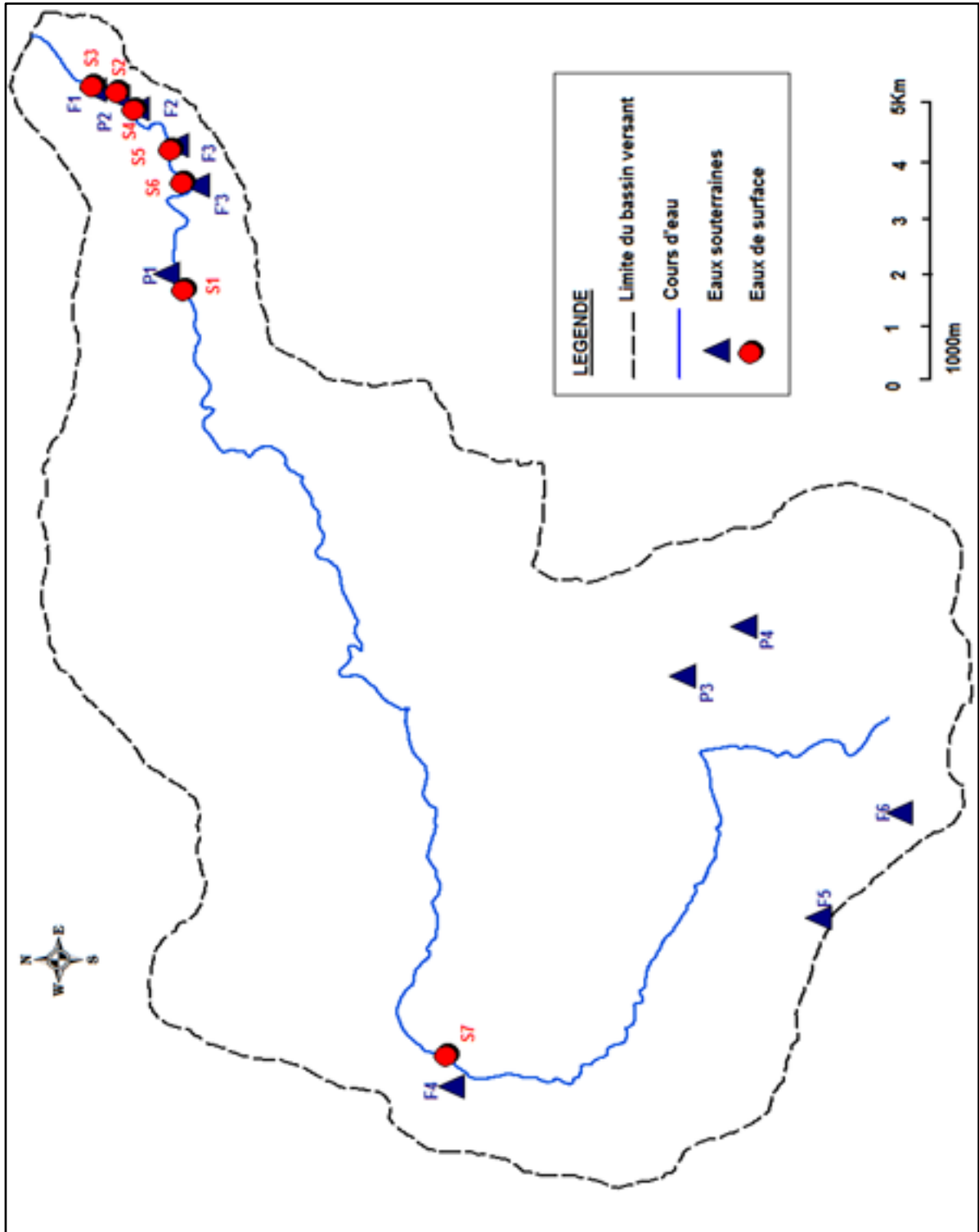


Figure (V.1) : Carte du réseau échantillonné

### V.3. Mesures in situ

Sur chaque station d'étude et au cours de chacune des deux campagnes d'échantillonnage, cinq paramètres physico-chimiques (La température, le pH, la conductivité électrique, la salinité, et l'oxygène dissous), ont été mesurés in situ à l'aide d'un multi-paramètres (inoLAB\* pH/ION/Cond 750). Un prélèvement d'eau a été également effectué pour permettre effectué le dosage des autres éléments aux laboratoires.

### V.4. Analyses effectués aux laboratoires

On a procédé à une analyse des éléments suivants :

- **Les ions majeurs** : Chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), Sodium ( $\text{Na}^+$ ), Potassium ( $\text{K}^+$ ) et l'alcalinité représentée par les ions Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ).
- **Les matières organiques** : Quantifiées par la demande biochimique en Oxygène ( $\text{DBO}_5$ ) pour les eaux de surface.
- **Les matières en suspension et la turbidité de l'eau**
- **Les dérivés de l'Azote et du Phosphore** : Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), Phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).
- **Les métaux lourds en traces**: Fer (Fe).
- **Le brome** (Br).

**Remarque** : Pour la fiabilité des résultats d'analyse, on a procédé à l'application de la méthode de la balance ionique et une erreur de 7% a été acceptée.

Les résultats d'analyse physico-chimique des eaux souterraines, ont été consignés dans le tableau (V.2).

Tableau (V.2) : Variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines

	Nom des échantillons	T (°C)	pH	CE (µs/cm)	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Sal (%o)	MES (mg/l)	Turb FAU	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	Fe (mg/l)	Br (mg/l)
1	P1 Puits LARBAA	18,30	7,22	1212	0,00	219,60	124,50	5,800	139,40	156,80	43,60	1,85	0,008	0,40	0	0	0,041	0,00	0,06
2	P2 Puits Champ captant	18,80	7,17	1175	0,00	250,10	98,72	0,225	133,00	105,60	57,10	4,40	0,350	0,40	0	0	0,040	0,12	0,06
3	P3 Puits ICHELAHEN	9,20	7,55	426	0,00	189,10	32,78	4,950	87,11	79,20	29,60	4,50	0,087	0,00	0	0	0,039	0,00	1,80
4	P4 Tala IMAZIGHE	9,10	7,74	411	0,00	158,60	65,70	1,273	260,05	146,55	36,85	5,40	0,005	0,00	0	0	0,037	0,00	5,60
5	F1 Forage du pont	19,00	7,20	1319	0,00	256,20	142,20	2,115	14,89	94,40	55,40	12,55	0,500	0,50	0	2	0,042	0,02	6,60
6	F2 Forage Sablière	16,70	7,65	1227	0,00	231,80	128,82	7,112	141,20	116,60	52,60	10,30	1,920	0,40	0	0	0,048	0,00	0,10
7	F3 Forage TABLENETE (1)	20,50	7,10	1150	0,00	231,80	127,60	3,350	139,40	123,80	59,40	15,00	2,500	0,40	0	0	0,041	0,00	0,10
8	F4 Forage AIT SIDIALI	12,80	7,10	1295	0,00	244,00	99,70	6,000	139,40	126,60	36,00	3,40	0,970	1	0	1	0,037	0,63	3,20
9	F5 Forage chef-lieu	13,50	6,65	1371	0,00	573,40	33,37	0,006	53,55	175,20	32,80	14,65	3,260	0,90	1	1	0,038	0,70	2,40
10	F3 Forage TABLENETE (2)	20,50	7,25	1127	0,00	226,80	130,00	3,678	166,98	142,30	58,90	12,00	2,034	0,40	0	0	0,042	0,00	0,08
11	F6 Forage TALA ITHIFOU	10,70	6,91	508	0,00	250,10	62,62	0,022	216,92	127,26	52,64	9,65	0,037	0,00	16	20	0,035	0,00	6,80
1	P1 Puits LARBAA	17,60	7,52	996	0,00	244,00	65,32	4,991	135,30	116,40	35,60	6,85	0,019	0,30	0	0	0,039	0,05	0,02
2	P2 Puits Champ captant	17,60	7,43	1175	0,00	420,90	87,33	3,629	169,50	159,50	62,80	11,54	0,027	0,40	6	10	0,040	1,01	0,24
3	P3 Puits ICHELAHEN	16,80	7,69	468	0,00	210,00	45,65	0,691	76,50	104,60	22,40	2,04	0,009	0,00	0	0	0,037	0,04	1,72
4	P4 Tala IMAZIGHEN	17,20	7,12	440	0,00	167,00	28,80	1,747	278,90	135,10	44,90	6,00	1,080	0,00	0	0	0,042	0,03	5,20
5	F1 Forage du pont	18,20	7,57	595	0,00	176,90	32,30	4,818	75,60	67,80	29,80	5,20	0,023	0,00	0	0	0,037	0,06	0,04
6	F2 Forage Sablière	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	F3 Forage TABLENETE (1)	18,50	7,50	1109	0,00	225,70	80,23	2,345	147,40	121,90	34,40	7,50	0,018	0,30	0	0	0,036	0,02	0,02
8	F4 Forage AIT SIDIALI	12,80	7,40	1360	0,00	265,00	62,65	2,002	86,50	102,60	35,40	5,20	0,070	0,80	4	10	0,039	0,69	3,08
9	F5 Forage chef-lieu	17,50	6,80	1192	0,00	495,00	32,60	0,009	57,80	193,80	37,20	12,00	0,029	0,70	2	7	0,044	0,72	4,30
10	F3 Forage TABLENETE (2)	17,50	7,97	1048	0,00	207,40	93,84	4,629	263,34	140,00	42,60	5,20	0,045	0,30	0	0	0,047	0,01	0,04
11	F6 Forage TALA ITHIFOU	16,90	6,53	526	0,00	267,80	57,75	0,000	234,45	171,30	38,90	9,00	0,047	0,00	5	10	0,039	0,00	6,40

Première campagne

Deuxième campagne

## **V.5. Description sommaire des paramètres physico-chimiques et organoleptiques**

### **V.5.1. Eaux souterraines**

#### **V.5.1.1. Paramètres physiques et organoleptiques**

##### **V.5.1.1.1. Température**

La température mesurée varie entre 9,10 °C et 20,50 °C pendant la première campagne or que lors de la deuxième campagne oscille entre 12,80 °C et 18,50 °C. Elle augmente de l'amont vers l'aval.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces différences : L'heure à laquelle les mesures ont été prises, les caractéristiques morphométriques du cours d'eau aux sites de prélèvement (Altitude, pente, largeur, profondeur).

##### **V.5.1.1.2. Potentiel d'Hydrogène**

Les mesures du pH montrent que tous les puits et forages se trouvent dans l'intervalle de norme de potabilité. Pendant la première campagne le pH varie entre 6,65 et 7,74, alors que dans la deuxième, les valeurs oscillent entre 6,53 et 7,97, ceci indique que les valeurs varient peu et sont proches des valeurs naturelles.

##### **V.5.1.1.3. Conductivité électrique**

Elle dépend de la présence des espèces ioniques contenues dans l'eau. Les valeurs de la conductivité électrique montrent que la plupart des points d'eaux sont dans la norme recommandée relative à la potabilité des eaux, pendant les deux campagnes. Les valeurs minimales, enregistrées à l'amont, sont de l'ordre de 411  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Les valeurs maximales sont de l'ordre de 1371  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Les fortes valeurs de conductivité peuvent être expliquées par :

- Le lessivage des terrains conformément à la circulation des terrains sédimentaires.
- L'évaporation lorsque la surface piézométrique est proche de la surface du sol.
- La Position des points situés à proximité des zones de rejets d'eaux usées.
- Les engrais utilisés par les agriculteurs.

Le schéma qui suit donne une vue globale sur la minéralisation du cours d'eau d'Oued Djemaa.

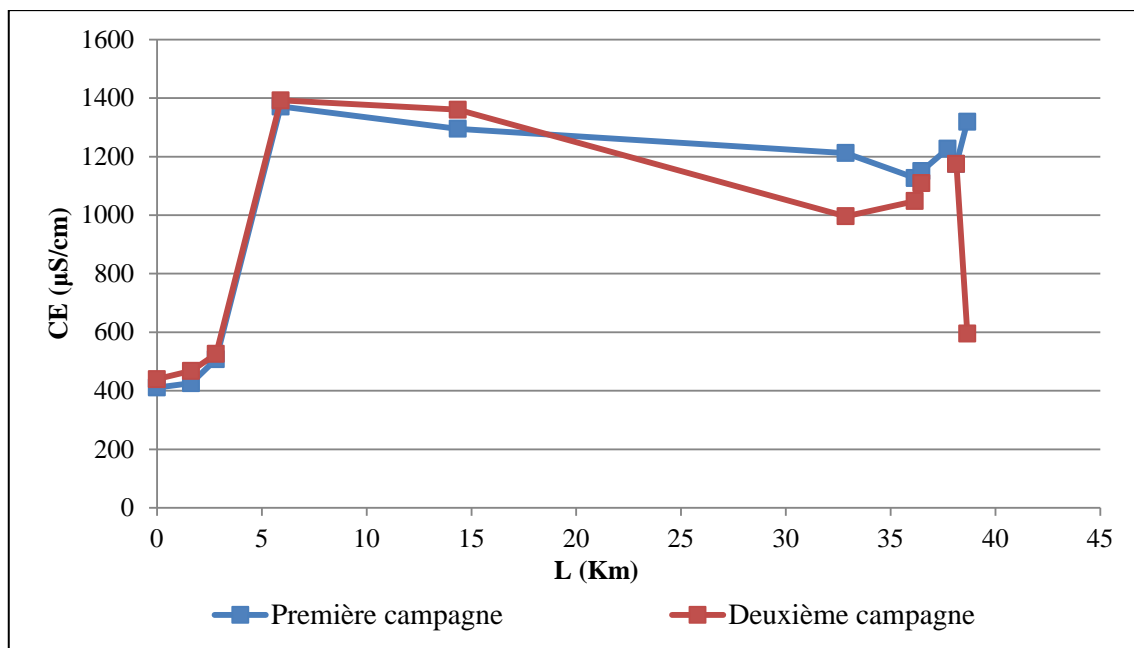


Figure (V.2) : Evolution de la conductivité électrique le long du cours d'eau d'Oued Djemaa

**V.5.1.1.4. Matières en suspension et turbidité**

La figure (V.3) représente les résultats obtenues pour les MES et la turbidité lors des deux campagnes de prélèvements.

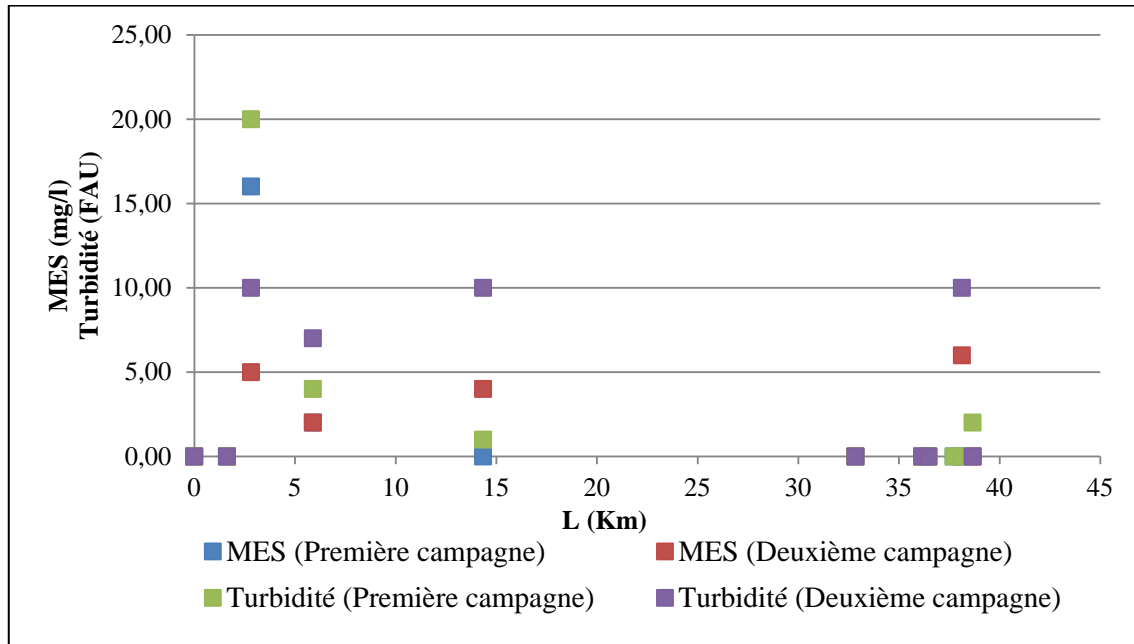


Figure (V.3): Matières en suspension et turbidité des eaux d'Oued Djemaa

La plus part des valeurs mesurées pour les MES étaient nulles dans les forages et puits conformément à l'état des eaux souterraines, excepté le forage Tala Ithifou qui présente des valeurs importantes lors des deux prélèvements. De même pour la turbidité les valeurs



enregistrées sont presque négligeables sauf la station citée précédemment qui atteint 20 FAU.

#### V.5.1.1.5. Salinité

La figure suivante montre la salinité des eaux dans les différentes stations

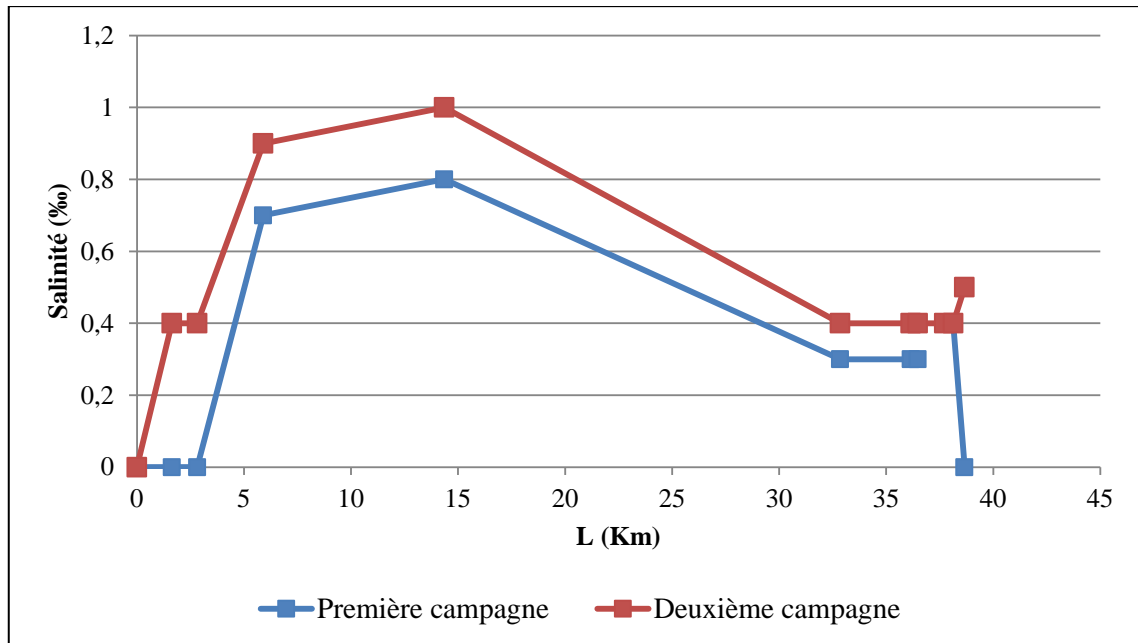


Figure (V.4) : Evolution de la salinité le long du cours d'eau d'Oued Djemaa

La salinité des eaux varie de 0 à 1 ‰. Elle est nulle à l'extrémité Sud du bassin versant et atteint la valeur maximale à la partie moyenne du bassin versant à la station sis à Ait Sidi Ali.

#### V.5.1.2. Les éléments majeurs

##### V.5.1.2.1. Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

La plupart des puits et forages présentent des teneurs supérieures à la norme de potabilité des eaux. Les valeurs les plus élevées avec un maximum de 193,80 mg/l sont observées à l'amont du bassin versant. Les valeurs les plus faibles avec un minimum de 67,80 mg/l sont observées à l'aval du bassin versant. Pendant la première campagne, on a enregistré une certaine dilution, avec une moyenne de 128,50 mg/l, alors qu'à la deuxième, la moyenne enregistrée est de 134,33 mg/l. Les valeurs de l'écart-type sont relativement importantes, ce qui traduit une grande variation des teneurs, qui peut être justifiée par deux origines naturelles différentes de  $\text{Ca}^{2+}$  qui peuvent être : La dissolution des formations carbonatées et la dissolution des formations gypseuses.

Dans le schéma qui suit, on donne une représentation de la concentration en calcium le long du cours d'eau de l'Oued Djemaa.

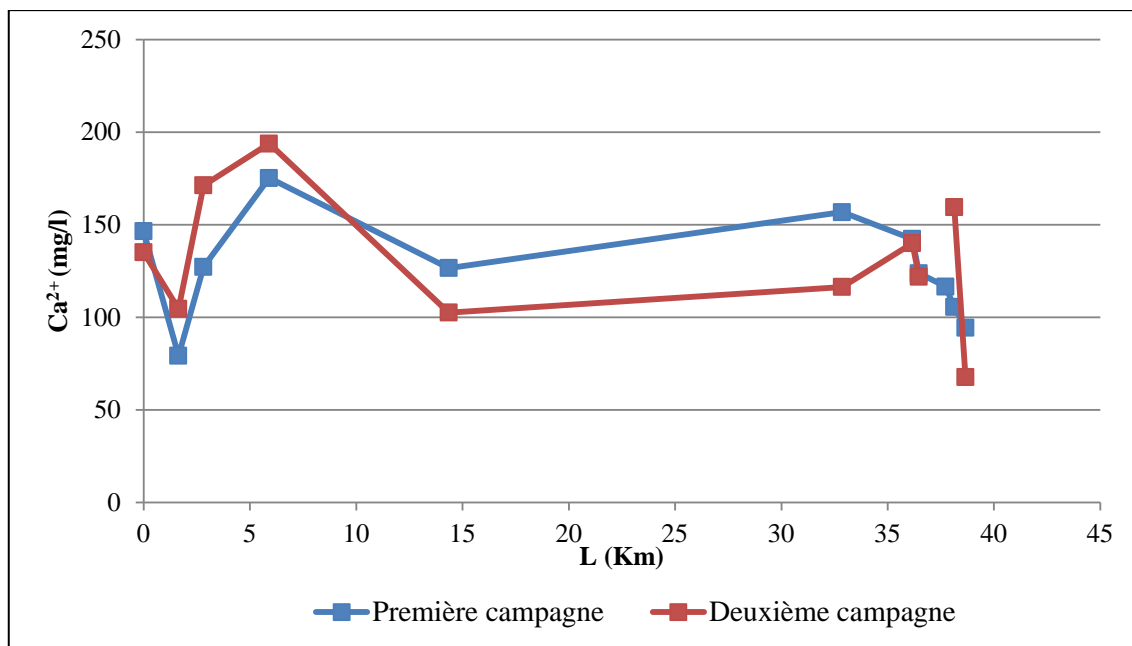


Figure (V.5) Evolution du calcium le long du cours d'eau d'Oued Djemaa

#### V.5.1.2.2. Le magnésium ( $Mg^{2+}$ )

Les ions ( $Mg^{2+}$ ) proviennent, comme les ions calcium, de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium (Dolomite). La moyenne enregistrée pendant la première campagne (44,07 mg/l) est supérieure à celle enregistrée durant la deuxième (39,20 mg/l), ceci montre l'importance de la dilution par rapport à la concentration pour l'acquisition de cet élément. Les variations de concentration sont très faibles, les valeurs de l'écart type le confirment 8,91 mg/l. L'évolution du magnésium est représentée à la figure (V.6) ci-dessous.

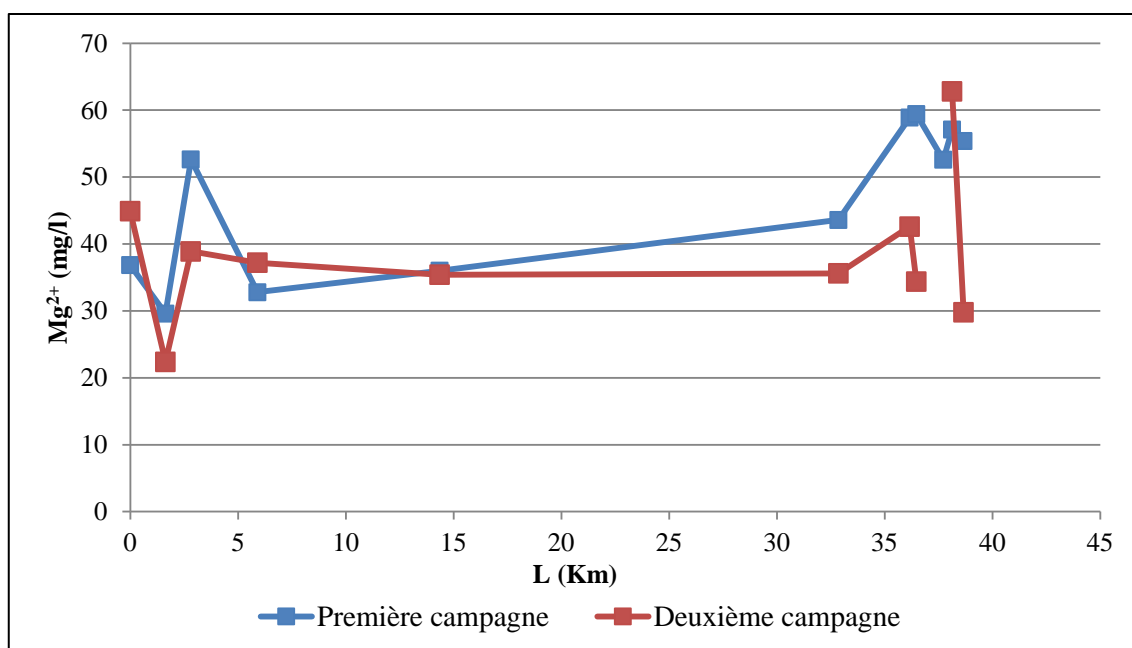


Figure (V.6) : Evolution du magnésium le long du cours d'eau d'Oued Djemaa

### V.5.1.2.3. Le sodium ( $\text{Na}^+$ )

Les concentrations en ions sodium sont faibles, les valeurs représentées ci-dessous sont toutes inférieures à la norme de potabilité des eaux. Les concentrations varient beaucoup à cause de leurs différentes origines (Ecart type : 4,15 mg/l).

La figure suivante donne la variation du sodium le long du cours d'eau d'Oued Djemaa.

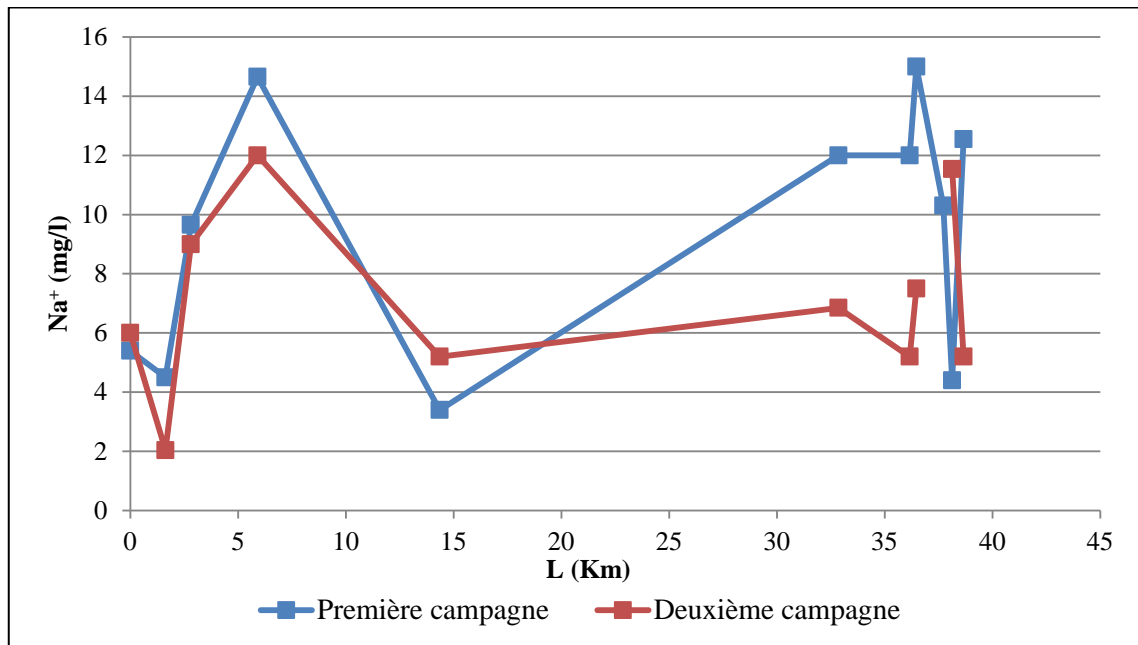


Figure (V.7): Evolution du sodium le long du cours d'eau d'Oued Djemaa

### V.5.1.2.4. Le potassium ( $\text{K}^+$ )

Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques. Les valeurs enregistrées sont toutes dans les normes de potabilité des eaux pendant les deux périodes de prélèvement.

Le schéma qui suit présente l'évolution du potassium le long du cours d'eau.

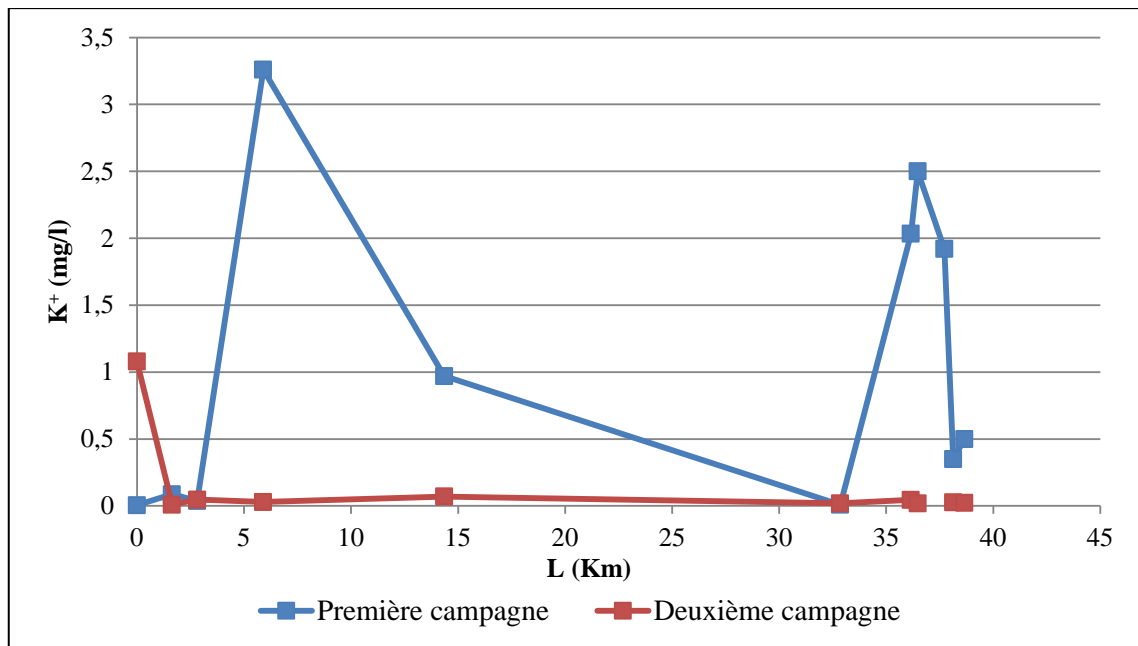


Figure (V.8): Evolution du potassium le long du cours d'eau d'Oued Djemaa

#### V.5.1.2.5. Les chlorures (Cl<sup>-</sup>)

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution. Les teneurs enregistrées pendant toutes les périodes d'observation montrent des valeurs qui ne dépassent pas la norme de potabilité. La valeur la plus importante a été enregistrée à l'aval du bassin versant avec une valeur de 142,20 mg/l. Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines (Ecart type 32,581 mg/l) :

- Les argiles sableuses gypsifères qui couvrent la partie amont du bassin.
- Les dépôts évaporitiques.
- Le déversement des eaux usées.
- Les marnes formant le substratum.

Le schéma qui suit illustre comment varie les chlorures le long du cours d'eau de l'Oued Djemaa.

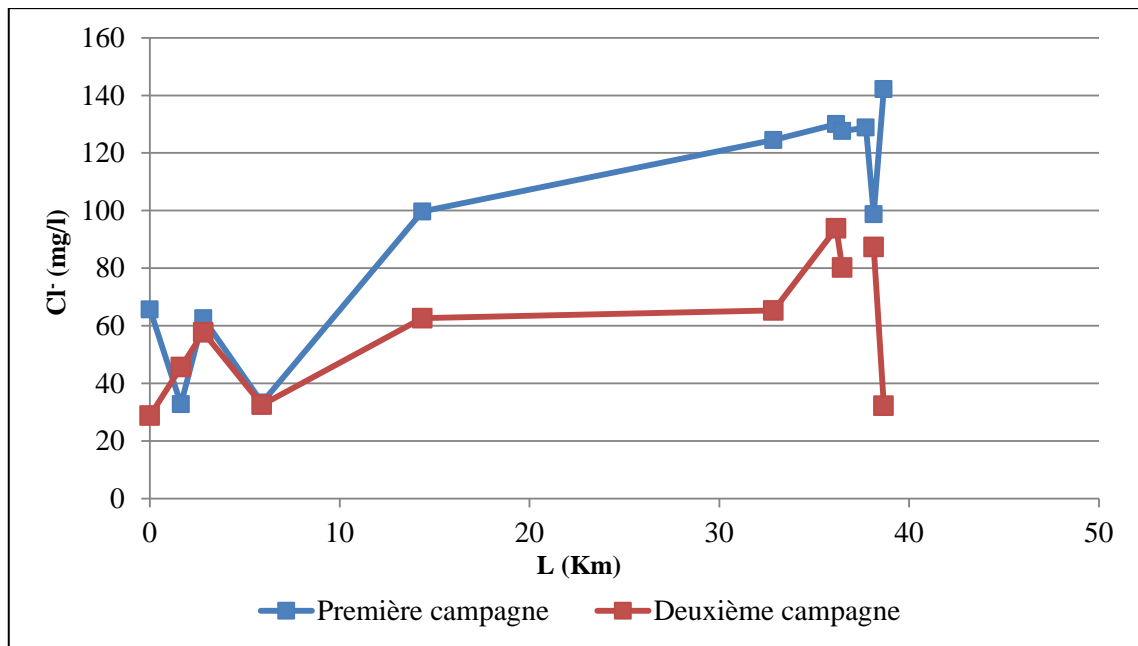


Figure (V.9): Evolution des chlorures le long du cours d'eau d'Oued Djemaa

#### V.5.1.2.6. Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

La présence des sulfates dans l'eau est probablement liée au lessivage des dépôts évaporitiques, de nature essentiellement gypseuse affleurant dans la zone d'étude selon la relation suivante:



Les plus fortes valeurs sont enregistrées pendant la première campagne, avec une moyenne de 167,63 mg/l, suite au phénomène d'évaporation. La plus faible valeur a été enregistré à l'aval 14,89 mg/l. Les teneurs en sulfates varient énormément (Ecart type : 62,605 mg/l).

La totalité des eaux analysées en une concentration inférieure de 400 mg/l (Concentration maximale admissible), par ailleurs 59 % des eaux analysées ont une concentration inférieure ou égale à 150 mg/l (Concentration maximale recommandé).

La figure suivante, présente la variation des sulfates.

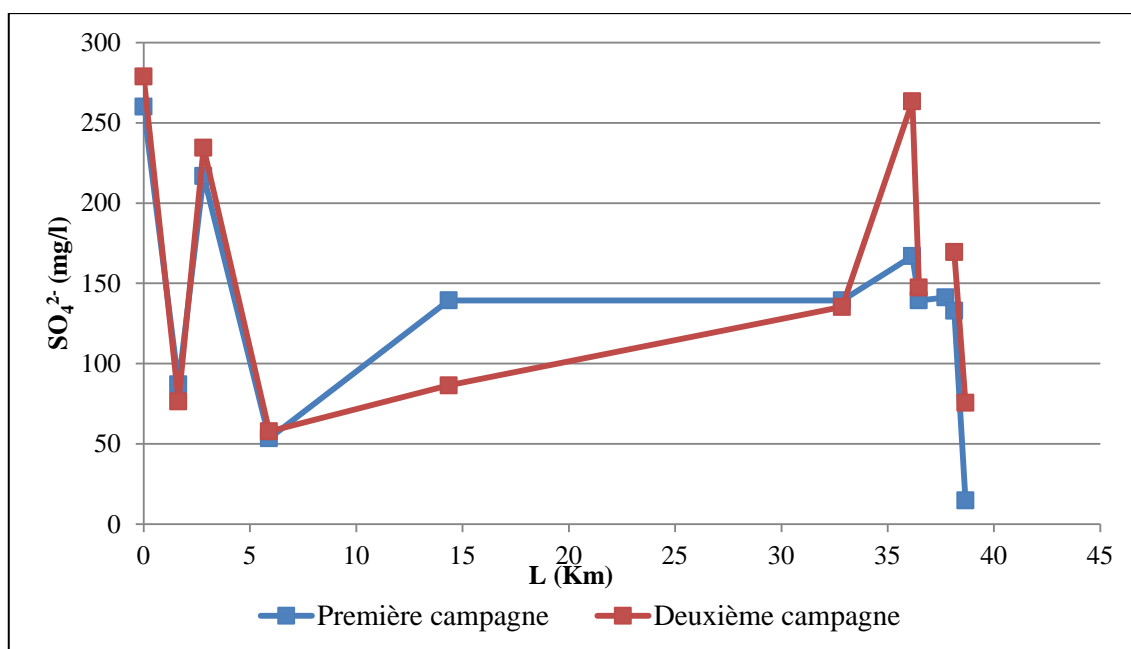
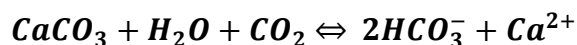


Figure (V.10): Evolution des sulfates le long du cours d'eau d'Oued Djemaa

### V.5.1.2.7. Les bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées qui bordent la nappe, selon la réaction suivante :



Le schéma ci-dessous représente l'évolution des bicarbonates le long du cours d'eau.

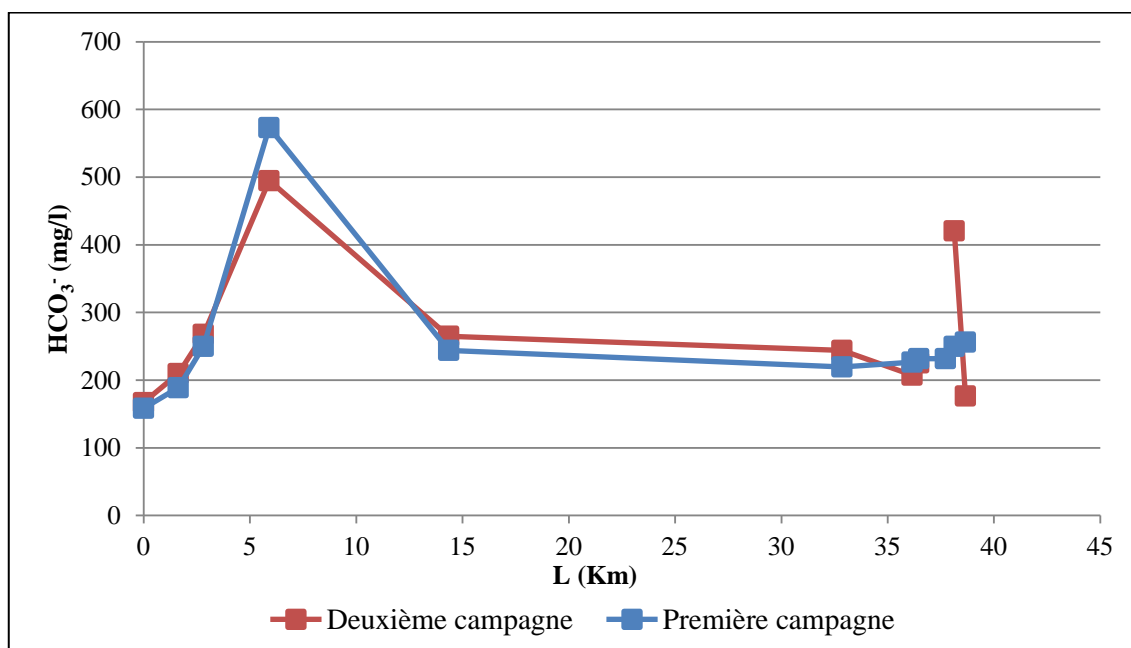


Figure (V.11): Evolution des bicarbonates le long du cours d'eau d'Oued Djemaa

Les fortes teneurs sont enregistrées pendant la première période avec une moyenne de 237,71 mg/l et un maximum de 573,40 mg/l, suite à la dissolution des calcaires. Les concentrations varient faiblement pendant cette période (Ecart type : 85,637 mg/l).

#### V.5.1.2.8. Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

Les teneurs enregistrées pendant les deux périodes de prélèvement montrent des valeurs qui ne dépassent pas la norme de potabilité. Les concentrations en nitrates varient entre 1,103 mg/l et 7,929 mg/l, sa présence est liée à des engrais utilisés par les agricultures et aux rejets urbains, qui se déversent dans le cours d'eau sans subir de traitement préalable, qui sont chargés de matières organiques et produisent des nitrates.

Le schéma qui suit, représente la variation des teneurs en nitrates le long du cours d'eau de l'Oued Djemaa.

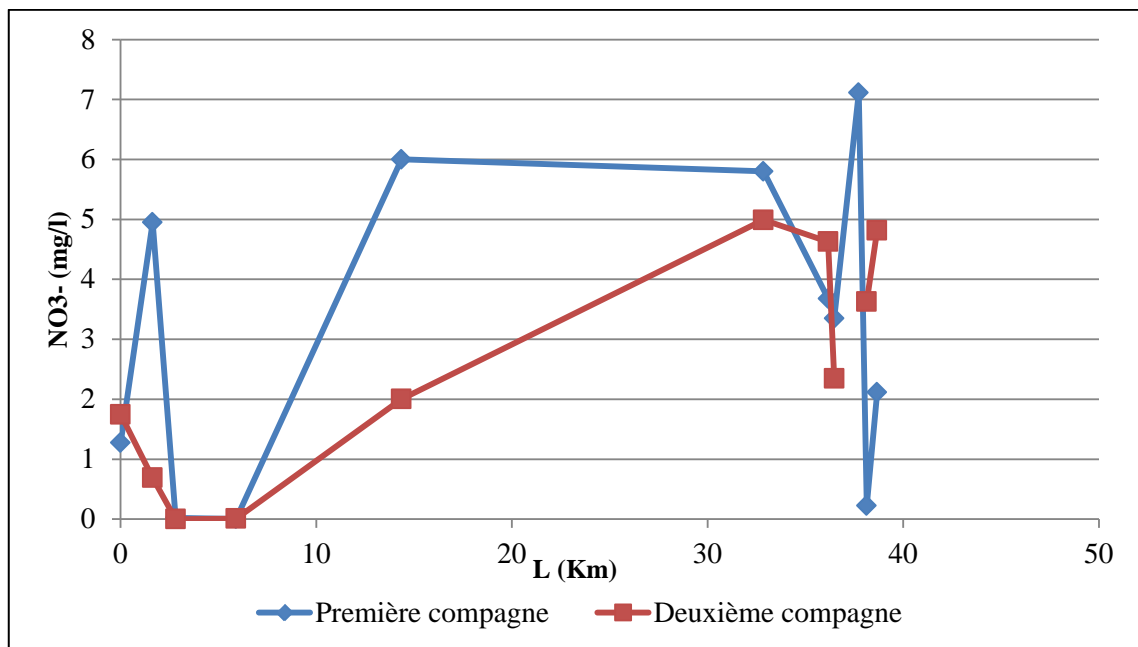


Figure (V.12): Evolution des nitrates le long du cours d'eau d'Oued Djemaa

#### V.5.1.3. Autres éléments dissous

##### V.5.1.3.1. Les phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

La figure suivante représente les concentrations en phosphates.

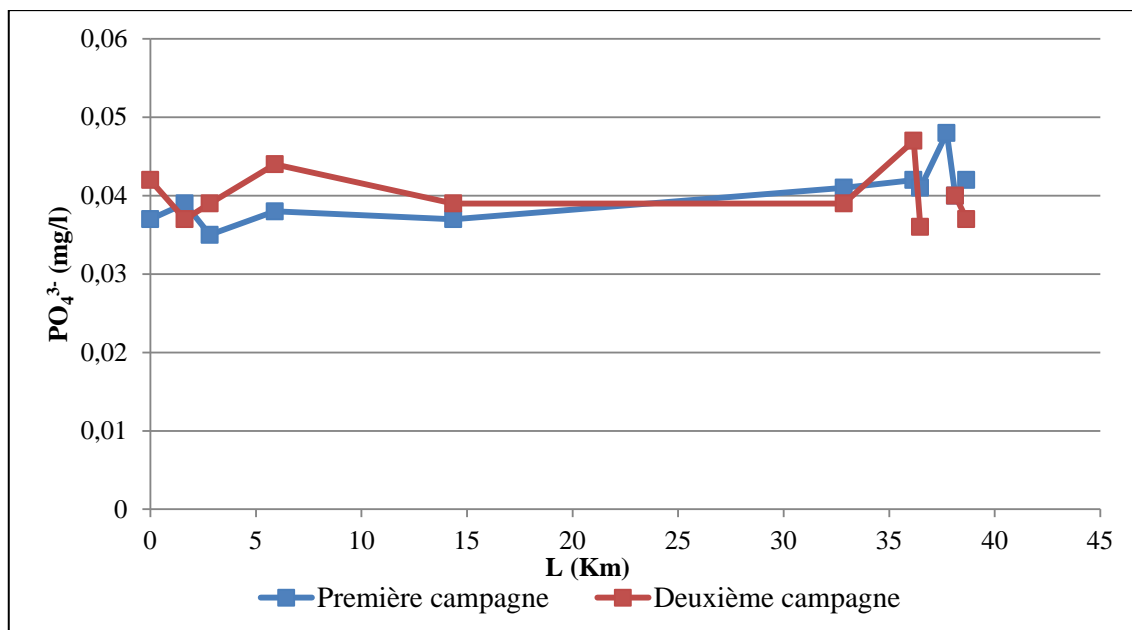


Figure (V.13): Evolution des phosphates le long du cours d'eau d'Oued Djemaa

Les teneurs en phosphates enregistrées dans les eaux souterraines sont comprises entre 0,036 mg/l et 0,048 mg/l. Elles varient peu le long du cours d'eau et restent inférieures à la norme de potabilité.

#### V.5.1.3.2. Fer et bromures

Les résultats obtenus pour le fer et les bromures lors des deux campagnes de prélèvements sont représentés dans la figure (V.14)

Les concentrations en fer des stations les stations F4 (Forage Ait Sidi Ali) et F5 (Chef-lieu) peuvent être d'origines naturelles car celles-ci sont localisées dans une région qui a été le lieu d'activités minières importantes anciennement exploitées (Mine de Bouamrane).

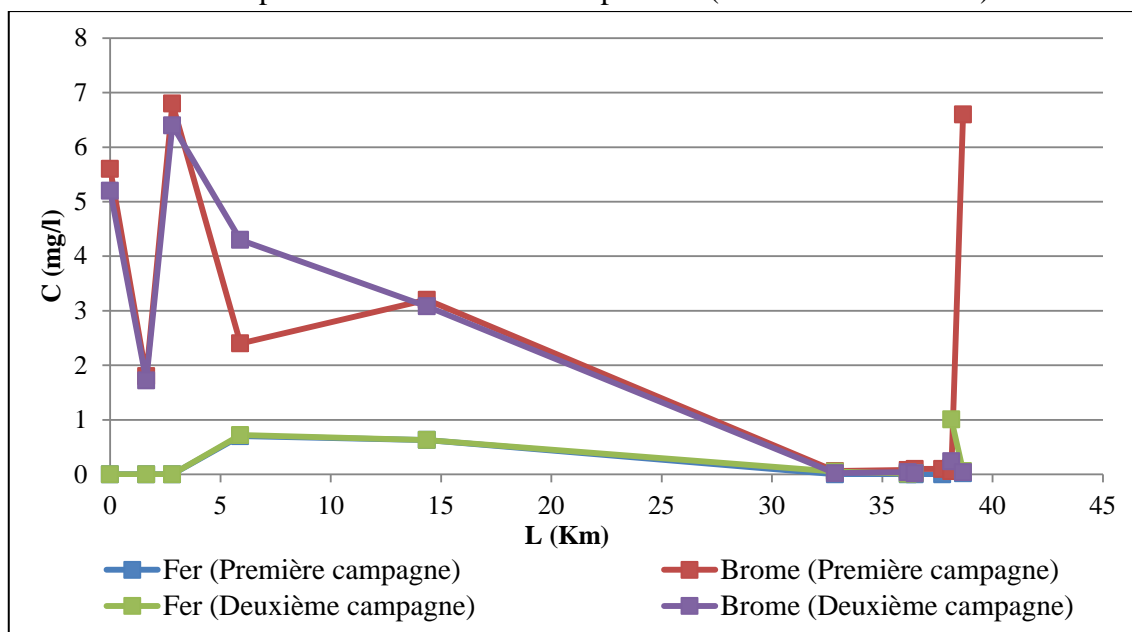


Figure (V.14): Evolution du fer et des bromures le long du cours d'eau d'Oued Djemaa



### V.5.1.3.3. Oxygène dissous

La figure (V.15), présente l'évolution des teneurs en oxygène dissous mesurées au niveau des puits et forages.

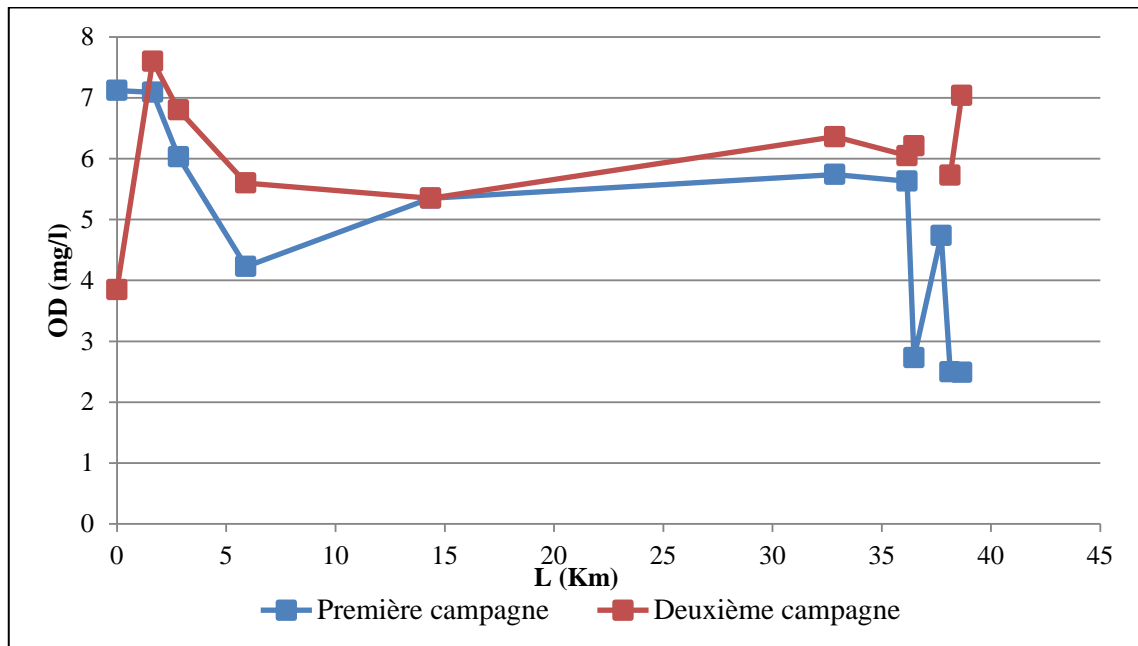


Figure (V.15): La concentration en oxygène dissous le long du cours d'eau d'Oued Djemaa

Les résultats illustrés dans la figure ci-dessus montrent que la teneur en oxygène dissous varie de 2,5 mg/l à 7,6 mg/l soit une saturation qui varie de 21,8 % à 65,5 %. Par ailleurs, les résultats sont conformes à la norme requise (> 5 mg/l) et indiquent une bonne saturation en oxygène de ces eaux.

### V.5.2. Eaux superficielles

Les résultats d'analyse des eaux superficielles sont consignés dans le tableau (V.3).

Tableau (V.3) : Variation des paramètres physico-chimiques des eaux de surface

Nom des échantillons	T (°C)	pH	CE (µs/cm)	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Sal (%)	MES (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Turb FAU	OD		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	Fe (mg/l)	Br (mg/l)																																																																																																				
																	(mg/l)	(%)																																																																																																							
1 S1 Surface LARBAA	10,50	8,18	1127	0	213,50	88,75	5,229	140,30	106,80	47,50	3,20	0,065	0,50	2	0	4	7,20	64,5	0,042	0	0,02																																																																																																				
																	2 S2 Surface Champ captant	10,30				7,98	1124	0	201,30	85,20	3,991	141,70	125,20	39,60	10,50	0,054	0,30	38	0	36	5,76	50,1	0,058	0	0,10																																																																																
																																					3 S3 Surface du pont	10,60				8,16	1122	0	189,10	129,70	7,649	142,60	143,10	33,65	11,56	0,019	0,30	75	10	85	6,15	59,6	0,079	0	0,02																																																												
																																																									4 S4 Surface Sablière	16,30				7,89	1226	0	201,30	85,91	7,929	143,50	136,10	32,60	11,20	0,126	0,40	67	20	80	5,59	49,7	0,078	0	0,02																																								
																																																																													5 S5 Surface TABLIENET E (1)	12,60				7,96	1127	0	207,40	89,40	3,926	180,00	142,40	42,60	8,50	0,036	0,40	2	10	2	5,52	49,4	0,040	0	0,06																				
																																																																																																	6 S6 Surface TABLIENET E (2)	10,90				8,02	1217	0	193,60	97,48	5,251	185,60	145,20	36,35	7,65	0,047	0,40	0	10	0	7,35	66,2	0,046	0	0,08
																																																																																																																					7 S7 Surface AIT SIDI ALI	11,90			
1 S1 Surface LARBAA	16,90	7,92	1122	0	189,10	78,10	7,127	151,70	99,70	42,60	7,20	0,019	0,30	0	10	0	5,69	64,2	0,035	0,02	0																																																																																																				
																	2 S2 Surface champ captant	18,40				7,94	1108	0	189,10	89,70	7,678	182,30	153,50	32,40	4,50	0,026	0,30	1	0	1	6,65	60,3	0,043	1,02	0,04																																																																																
																																					3 S3 Surface du pont	16,60				7,98	1095	0	207,40	122,18	4,664	162,37	142,80	49,80	6,40	0,020	0,30	1	10	5	6,64	60,1	0,040	0,04	0,04																																																												
																																																									4 S4 Surface Sablière	18,70				8,13	1091	0	207,40	88,10	4,418	181,15	148,30	38,50	11,20	0,115	0,30	1	10	4	6,53	59,7	0,046	0,01	0,02																																								
																																																																													5 S5 Surface TABLIENET E (1)	18,30				8,05	1103	0	213,50	86,56	4,422	191,50	138,30	34,20	7,05	0,022	0,30	0	0	0	7,01	62,5	0,042	0,01	0,02																				
																																																																																																	6 S6 Surface TABLIENET E (2)	18,40				8,18	1036	0	208,20	84,57	3,340	203,20	148,60	46,20	4,70	0,042	0,30	1	10	1	7,28	64,6	0,040	0,01	0,04
																																																																																																																					7 S7 Surface AIT SIDI ALI	11,90			

### V.5.2.1. Paramètres physiques et organoleptiques

#### V.4.2.1.1. Température

La valeur minimale est enregistrée durant le premier prélèvement au niveau de la surface (S2) avec une température de 10,30 °C alors que la valeur maximale est enregistrée au niveau de la surface (S4) durant le deuxième prélèvement avec une température égale à 18,70 °C. Cela peut être expliqué par le facteur de l'exposition du fait que les températures des surfaces se rapprochent de celles de l'air et vu la période d'échantillonnage (Journée pluvieuse et froide pour le premier prélèvement et ensoleillée durant le deuxième prélèvement).

#### V.5.2.1.2. Potentiel d'Hydrogène et conductivité électrique

La majorité des stations d'étude présentent des eaux basiques, leur pH étant compris entre 7,64 et 8,13. Ces valeurs élevées peuvent être expliquées par la nature géologique des roches du bassin versant et par les teneurs importantes des eaux en Bicarbonates. Quant à la variation de la conductivité électrique, elle fluctue entre 1103  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 1430  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . On remarque une légère évolution décroissante du l'amont vers l'aval qui peut être expliquées par la nature géologique des terrains traversés d'une part et les quantités importantes d'eaux usées qui se déversent dans le cours d'eau sans aucun traitement.

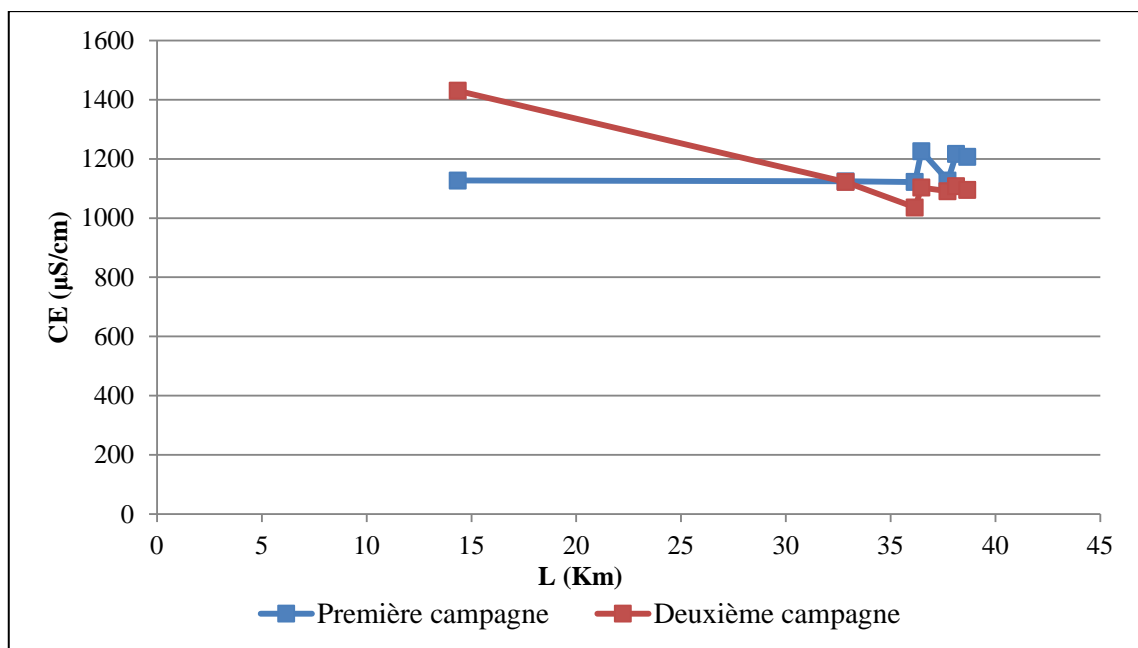


Figure (V.16): Evolution de la conductivité électrique des eaux de surface d'Oued Djemaa

#### V.5.2.1.3. Salinité

Les résultats enregistrés pour la salinité des eaux sont mentionnés dans la figure (V.17)

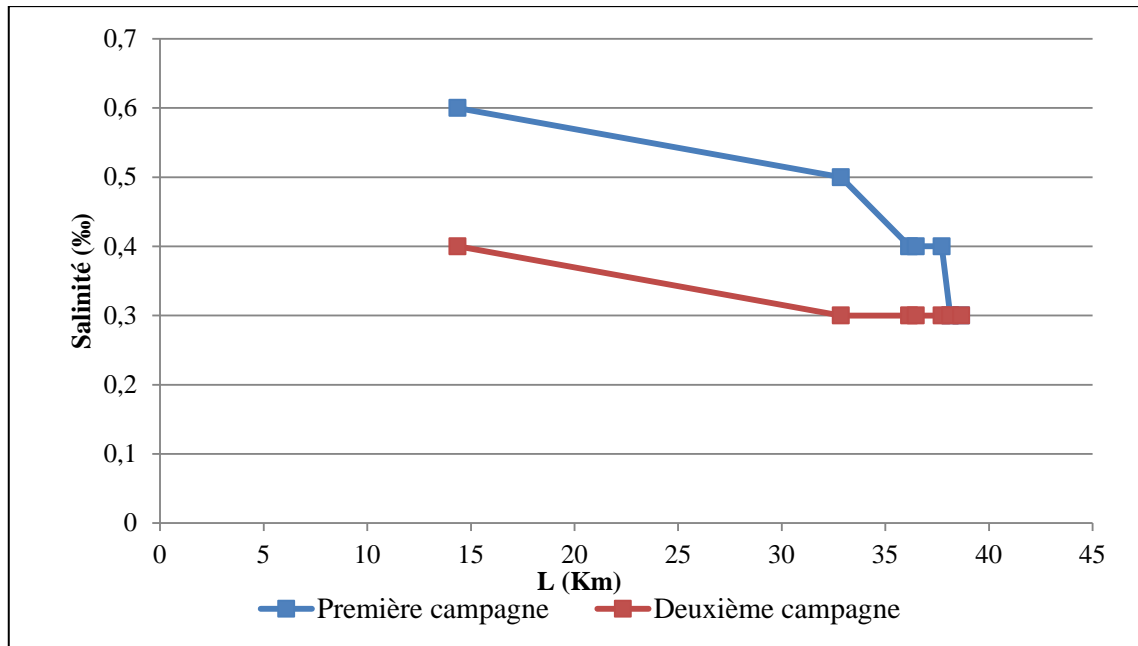


Figure (V.17): Evolution de la salinité des eaux de surface d'Oued Djemaa

La salinité des eaux de l'aquifère serait à la forte minéralisation observée dans la partie Sud, elle serait due à la géologie ou à une origine anthropique (Activités agricoles, eaux usées...). Toutefois, des valeurs élevées apparaissent à La partie amont du bassin versant : (Puits Ait Sidi Ali 0,6 ‰).

#### V.5.2.1.4. Matières en suspension, turbidité et DBO<sub>5</sub>

La figure ci-dessous représente la variation de la DBO<sub>5</sub>, turbidité et MES pour les deux prélèvements.

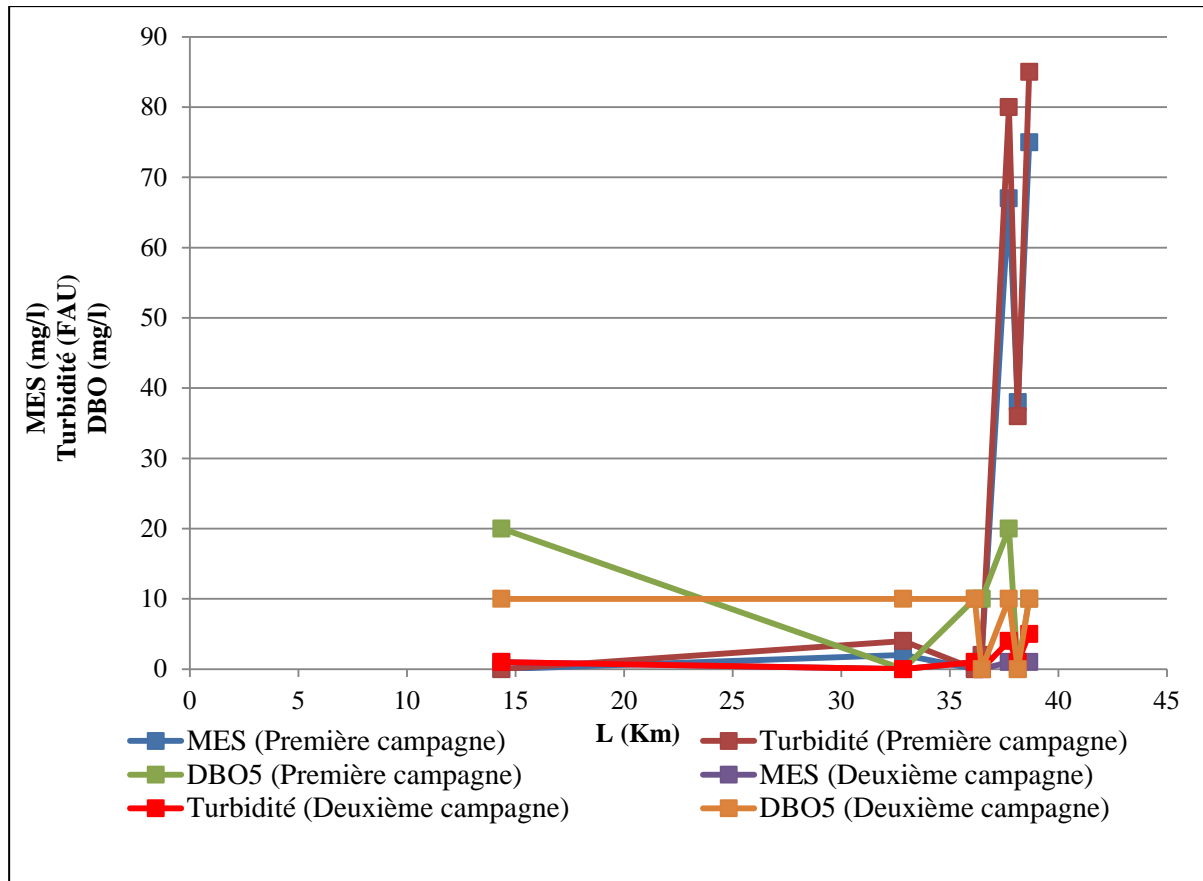


Figure (V.18): Les matières en suspension, la turbidité et la DBO5 du cours d'eau d'Oued Djemaa

Les valeurs enregistrées pour la DBO<sub>5</sub> varient entre 0 et 20 mg/l, ces valeurs restent toutes inférieures à la norme qui est fixée à 25 mg/l.

Une légère différence apparaît entre les deux prélèvements et qui peut être due à la différence de température entre les deux périodes de prélèvement (Les températures froides freinent l'activité biologique contrairement aux températures chaudes).

Les valeurs enregistrées peuvent s'expliquer par :

- La quantité importante de feuilles en décomposition trouvées sur ces sites.
- Les rejets des eaux usées.

Les plus fortes teneurs en DBO<sub>5</sub> se localisent au niveau des stations urbaines tel que (Larbaa et Ait Sidi Ali).

Les concentrations en MES fluctuent entre 0 mg/l et 75 mg/l et les teneurs. Et celles de la turbidité atteignent 85 FAU.

Les plus fortes teneurs en MES et turbidité se localisent au niveau des stations aval (S2, S3 et S4) proches de la sablière. Cette variation peut être expliquée par l'activité d'extraction de sable du fait que nous avons enregistré une augmentation des valeurs dès la deuxième surface située après la sablière.

### V.5.2.1.5. Oxygène dissous

Les teneurs en oxygène dissous sont représentées ci-dessous (Figure (V.19))

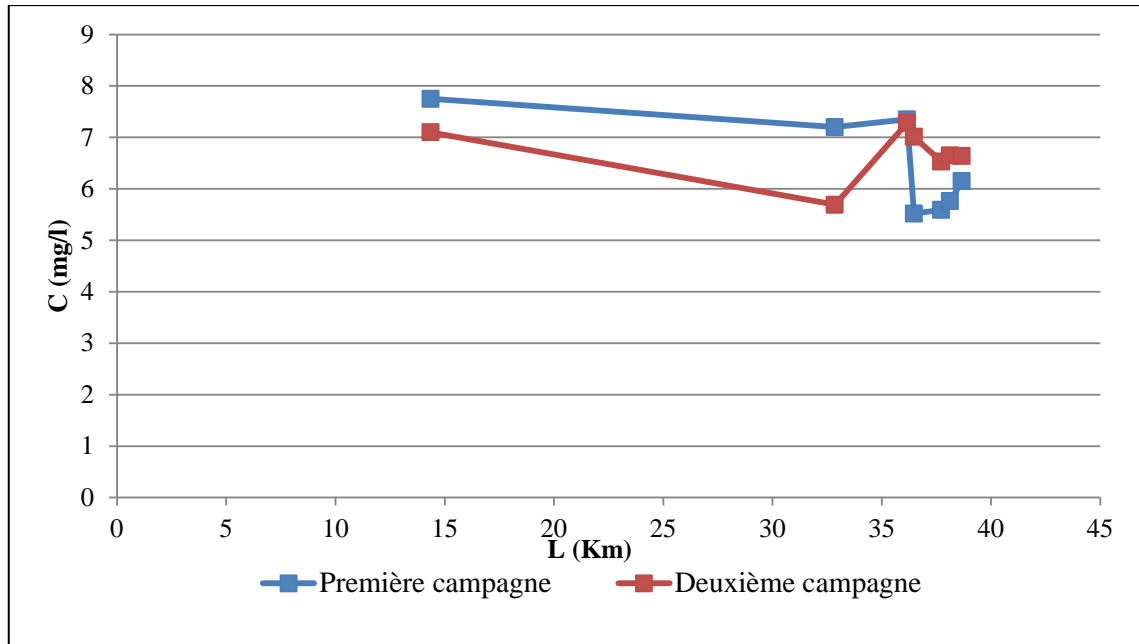


Figure (V.19): La concentration en oxygène dissous le long du cours d'eau d'Oued Djemaa

Les concentrations en oxygène dissous varient entre 5,52 mg/l et 7,75 mg/l. La plus forte teneur se manifeste en Décembre avec une saturation en oxygène proche de 70%. Ces valeurs relevées contenant d'importantes quantités de feuilles en décomposition. L'ensemble de ces mesures traduisent une bonne oxygénation de l'eau de l'Oued Djemaa.

### V.5.2.2. Evolution des concentrations en éléments majeurs des eaux superficielles

La figure (V.20) représente les différentes valeurs enregistrées pour les cations durant les deux campagnes de prélèvement.

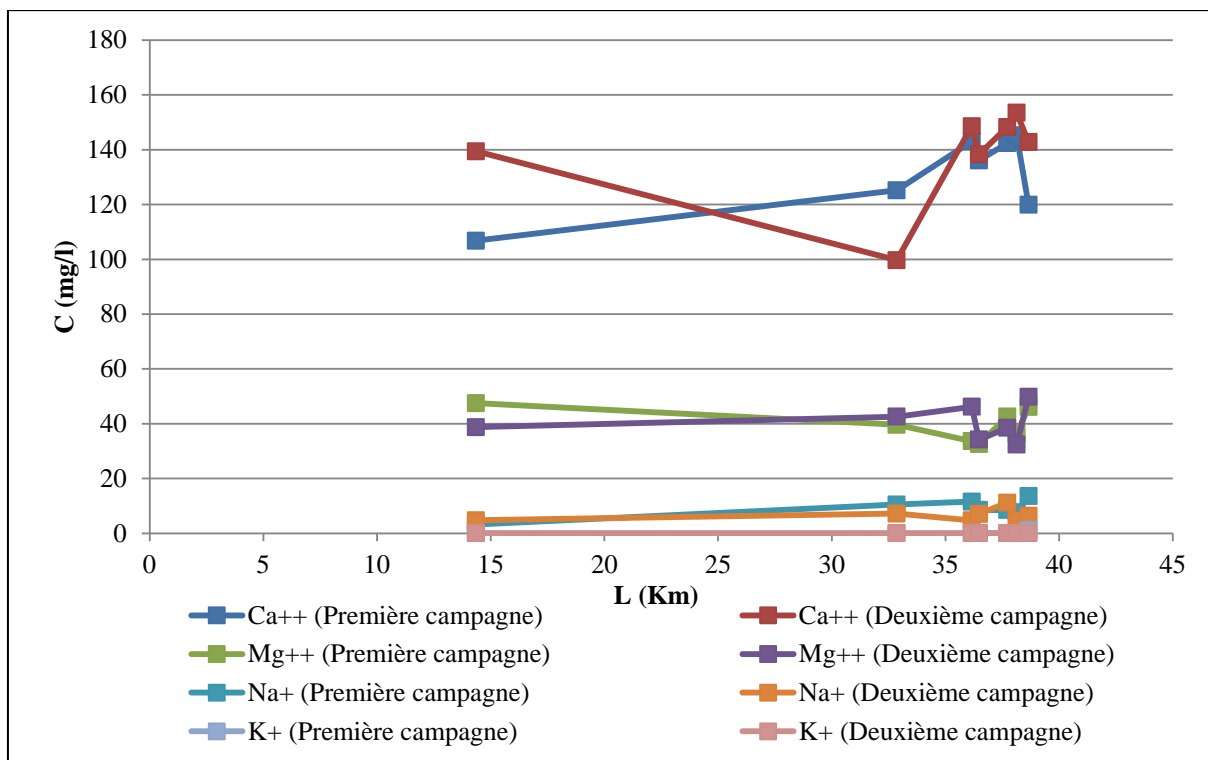
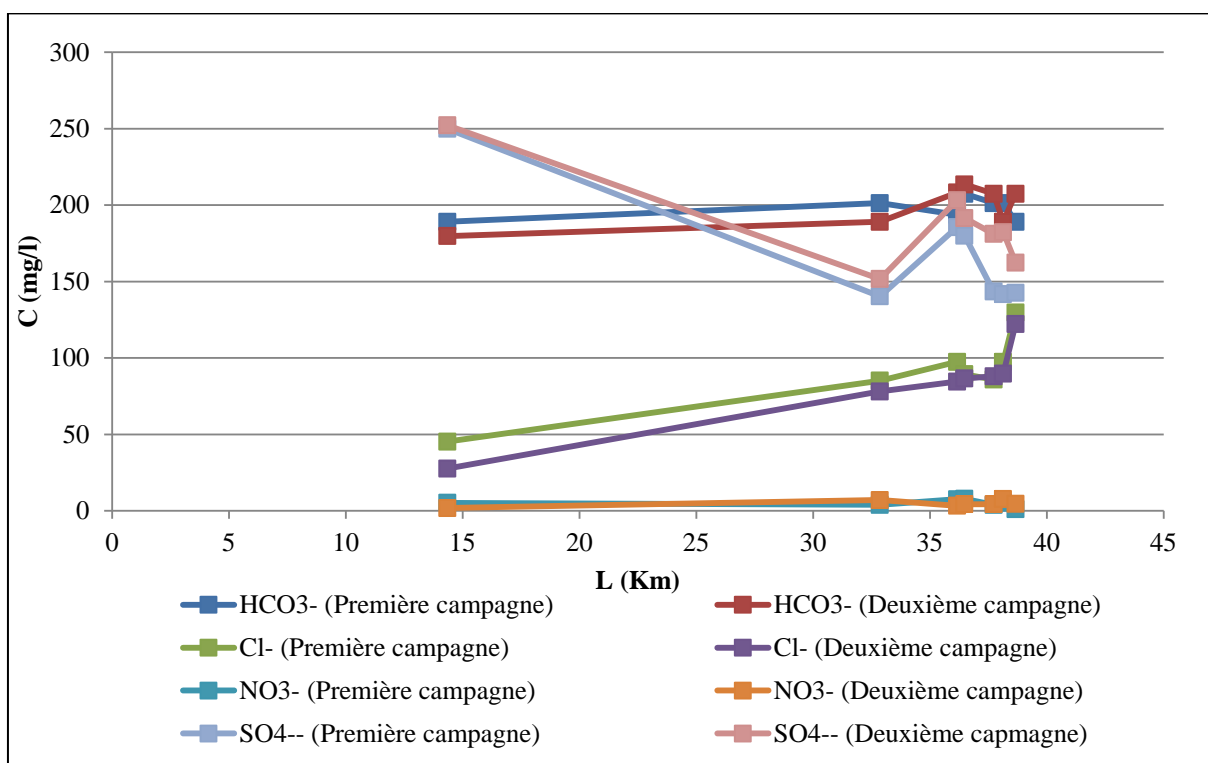


Figure (V.20): Evolution des concentrations en cations des eaux de surface d'Oued Djemaa



Figure(V.21) : Evolution des concentrations en anions des eaux superficielles de l'Oued Djemaa

L'interprétation des graphes précédents permet de distinguer :

Pour les cations : Le calcium présente la concentration la plus élevée pendant les deux campagnes, sa concentrations passe de 99,7 mg/l à 153,5 mg/l, celles en potassium sont de 0,019 à 1,139 mg/l.

Pour les anions : Les concentrations en sulfates et en bicarbonates sont dominantes, les valeurs les plus élevée se figurent à l'amont (Station Ait Sidi Ali) avec une concentration de 252,22 mg/l des sulfates et 180 mg/l des bicarbonates.

Les teneurs en nitrates varient entre 1,103 mg/l et 7,929 mg/l, La valeur maximale a été mesurée à la surface S4.

### V.5.2.3. Evolution des phosphates des eaux superficielles

Les teneurs en phosphates sont représentées ci-après :

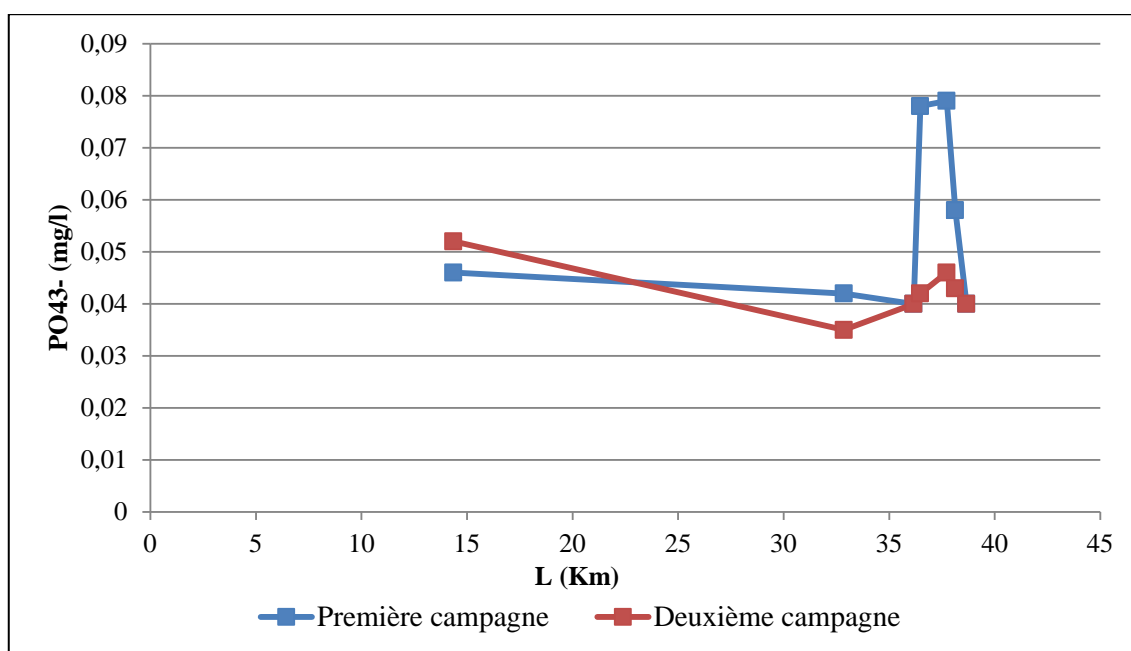


Figure (V.22) : Evolution des concentrations en anions des eaux superficielles de l'Oued Djemaa

Les teneurs en phosphates sont comprises entre 0,04 mg/l et 0,079 mg/l, les valeurs les plus fortes se situent au niveau des stations : S3 et S4. Ces valeurs seraient liées, d'une part, aux eaux de lessivage des terres cultivées et, d'autre part, aux effluents urbains, surtout ceux déversés directement, sans traitement.

### V.5.2.4. Evolution de la concentration en fer et bromures des eaux superficielles

La figure ci-dessous représente les teneurs en fer et en bromures dans les différentes stations.



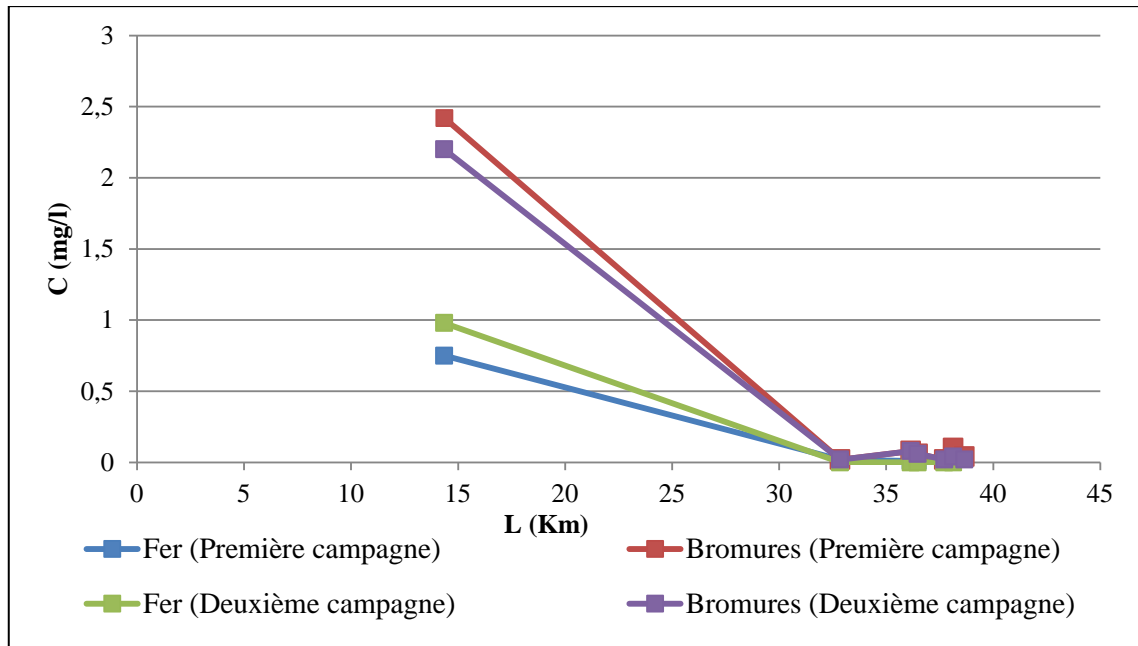


Figure (V.23) : Evolution des teneurs en fer et bromures des eaux superficielles de l'Oued Djemaa

Les teneurs des stations d'étude varient entre 0,02 mg/l et 2,28 mg/l pour les bromures et de 0 à 0,78 mg/l pour le fer. Celles-ci diminuent de l'amont vers l'aval.

La concentration élevée enregistrée à la station S7 (Ait Sidi Ali), peut être justifiée par le lessivage des terrains avec dissolution des roches et des minerais contenus dans le sous-sol.

## V.5. Détermination des principaux faciès hydrochimiques

Les faciès hydrochimiques sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles. On les détermine par le calcul des quantités en réaction (Conversion des concentrations en méq/l) et en tenant compte de la classification des ions [32].

### V.5.1. Représentation graphique des faciès hydrochimiques

Dans le but de bien identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de PIPER et à celui de SHOELLER-BERKALOFF. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel **Diagrammes**.

#### V.5.1.1. Diagramme de PIPER

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global.

Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques.

Le diagramme de PIPER est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants [32].

L'interprétation des résultats d'analyses hydrochimiques pour les deux périodes d'observation a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux de l'Oued Djemaa.

Les deux schémas ci-dessous (Figure (V.24) et (V.25)) montrent la représentation des échantillons d'eau souterraine de l'Oued Djemaa sur le diagramme de PIPER.

#### a) Période de Décembre 2010

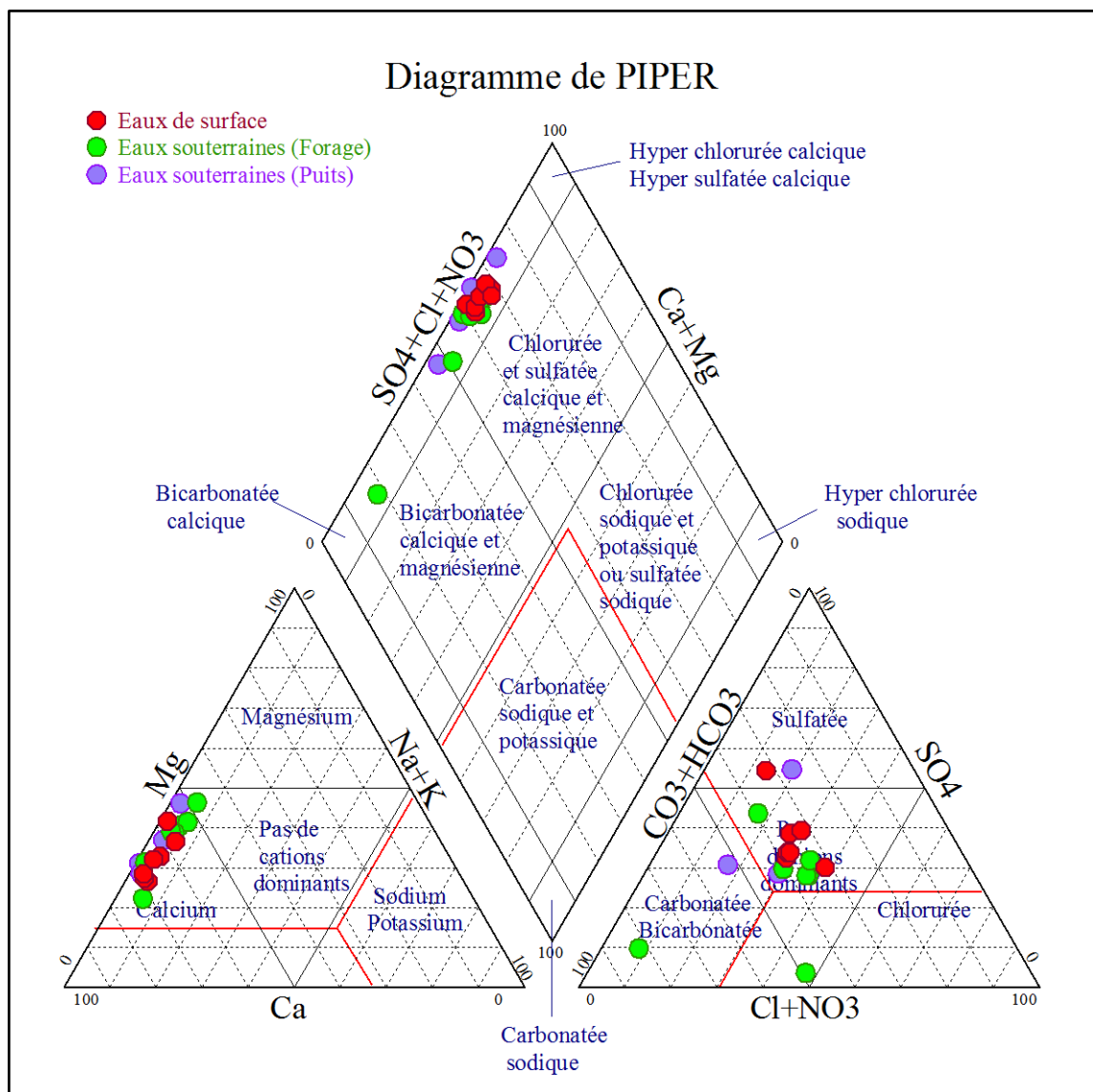


Figure (V.24): Diagramme de PIPER -Campagne de Décembre 2010-

Ces résultats portés sur le diagramme de PIPER (Figure (V.24) permettent de déterminer les tendances chimiques des eaux de la région. On trouve d'après ce dernier que les eaux appartiennent principalement aux deux familles des eaux :

- Bicarbonatés calcique et magnésienne (17%).
- Chloruré et sulfaté calcique et magnésienne (73%).

### b) Période d'Avril 2011

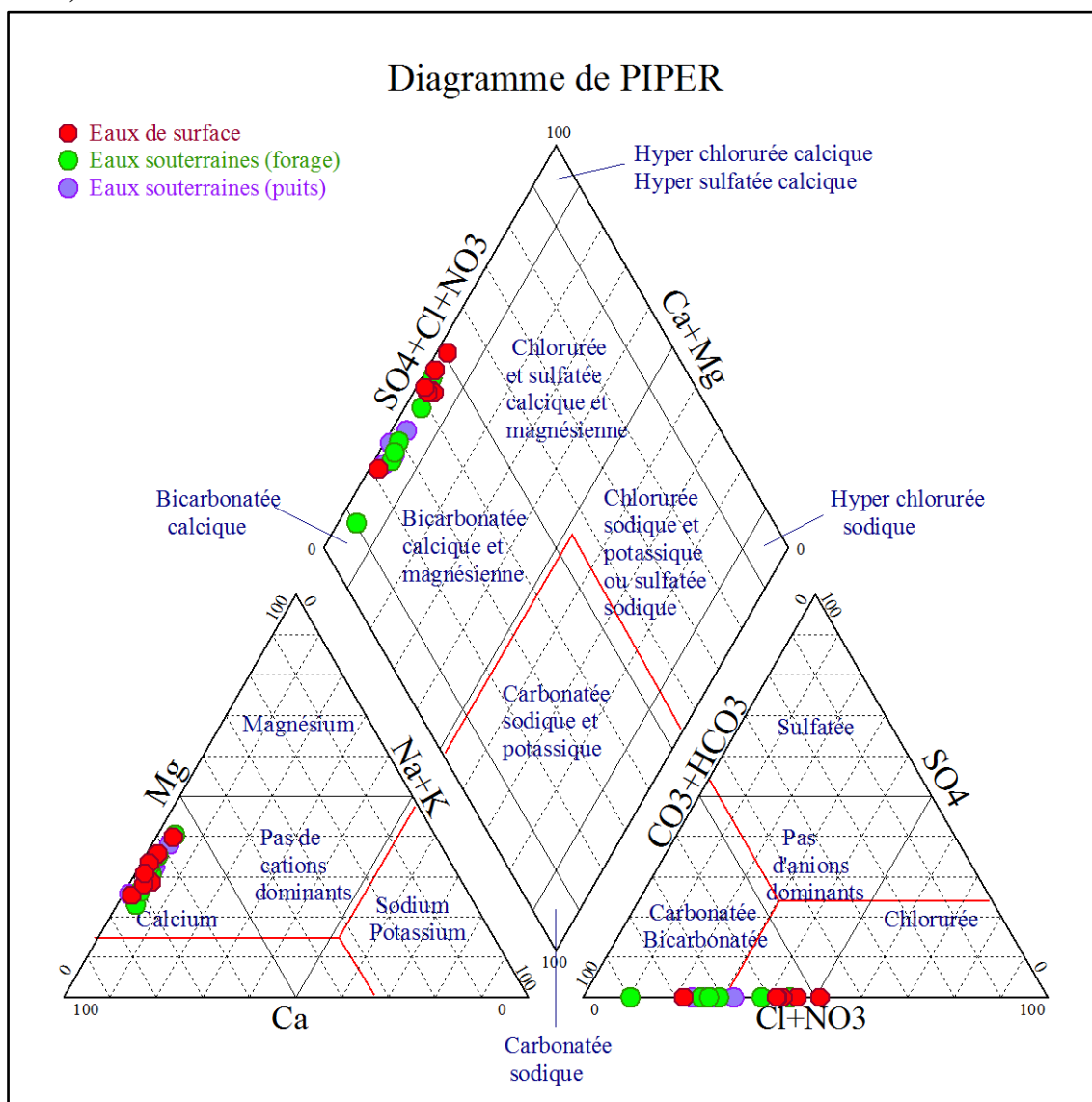


Figure (V.25): Diagramme de PIPER -Campagne d'Avril 2011-

L'ensemble des nuages de points présentent une dominance de faciès bicarbonaté calcique et magnésienne (95%), et un faible pourcentage (5%) de puits ayant acquis un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne.

Une autre manière de déterminer les faciès chimiques de chaque échantillon est le diagramme de SCHOELLER-BERKALOF.

**V.5.1.2. Diagramme de SCHOELLER - BERKALOFF**

Le diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d’eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence [32].

**a) Eaux souterraines**

Les résultats des analyses chimiques des eaux souterraines ont été reportés sur le diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF (Figure (V.26) et (V.27)).

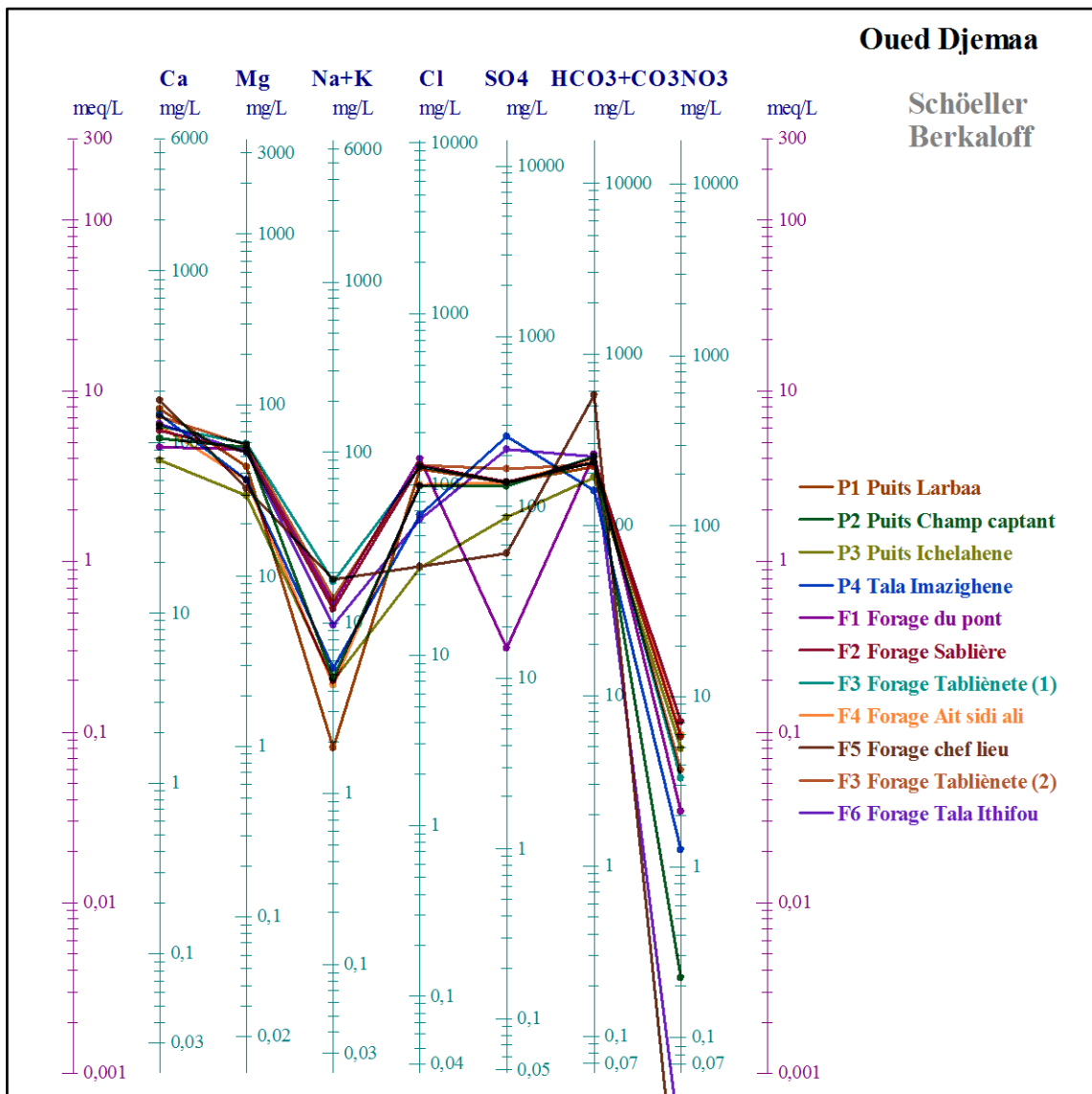


Figure (V.26): Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF -Campagne de Décembre 2010-

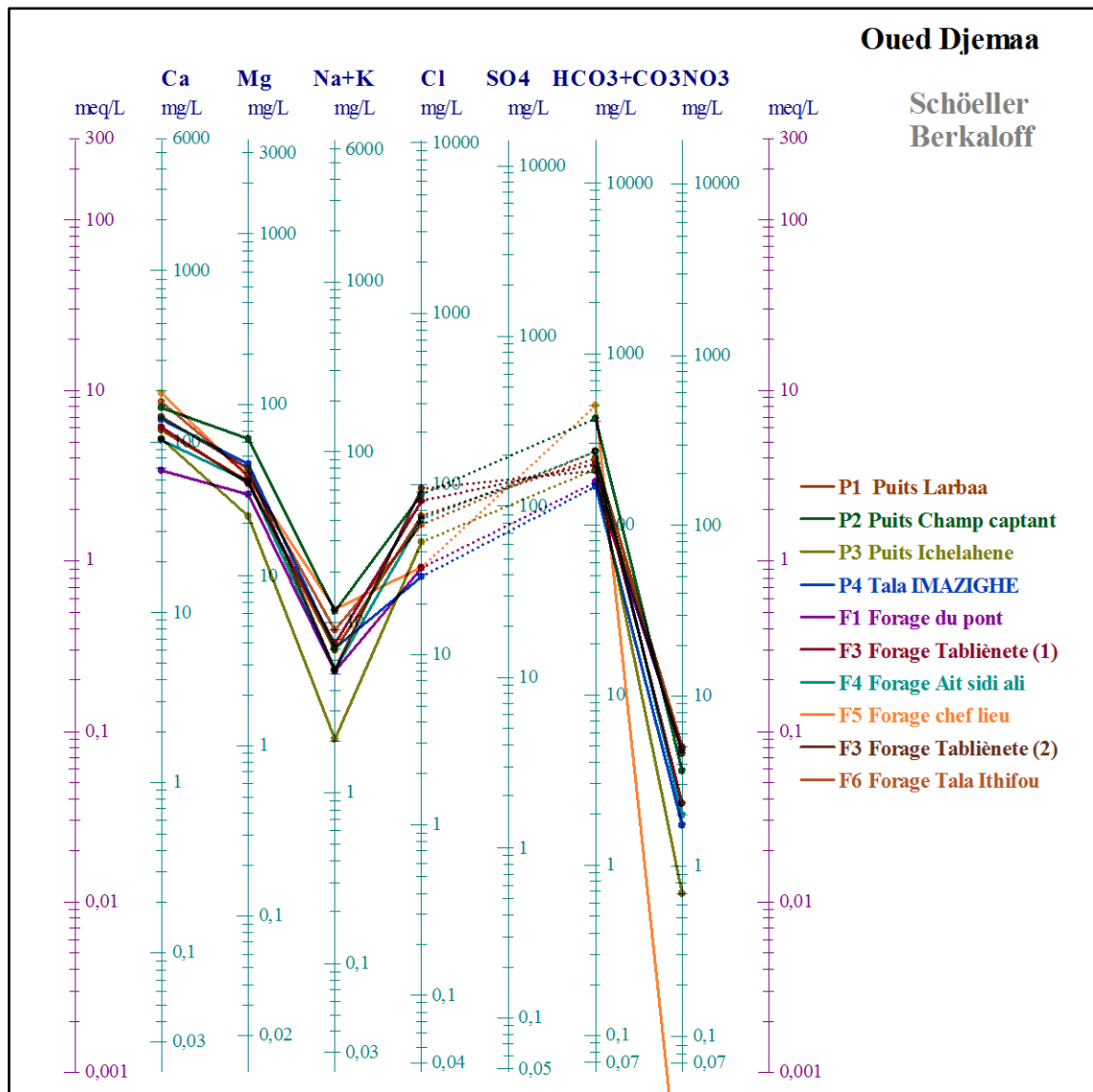


Figure (V.27): Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF -Campagne d'Avril 2011-

Le faciès **Bicarbonaté-calcique** caractérise la plupart des points de prélèvement, il est à l'origine de la situation de la plaine au voisinage de la mer qui influe sur la chimie des eaux de surface. Cependant on note la présence du faciès **Sulfaté-calcique** au puits P4 au lieu-dit Tala IMAZIGHE à la partie amont de l'Oued Djemaa ; le tableau (V.4) qui suit récapitule les différents faciès chimiques par station.

Tableau (V.4): Classification des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF  
« Eau souterraine »

	Station	Formules caractéristiques	Faciès chimique	
Première campagne	P1	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	P2	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	P3	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	P4	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Sulfaté calcique
	F1	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	F2	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	F3 (1)	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	F4	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	F5	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	F3 (2)	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	F6	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
Deuxième campagne	P1	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	P2	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	P3	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	P4	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Sulfaté calcique
	F1	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	F2	-	-	-
	F3 (1)	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	F4	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	F5	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
	F3 (2)	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
F6	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique	

### b) Eaux de surface

De la même manière que précédemment on a représenté les résultats des analyses des eaux de surface sur le diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF (Figure (V.28) et (V.29)).

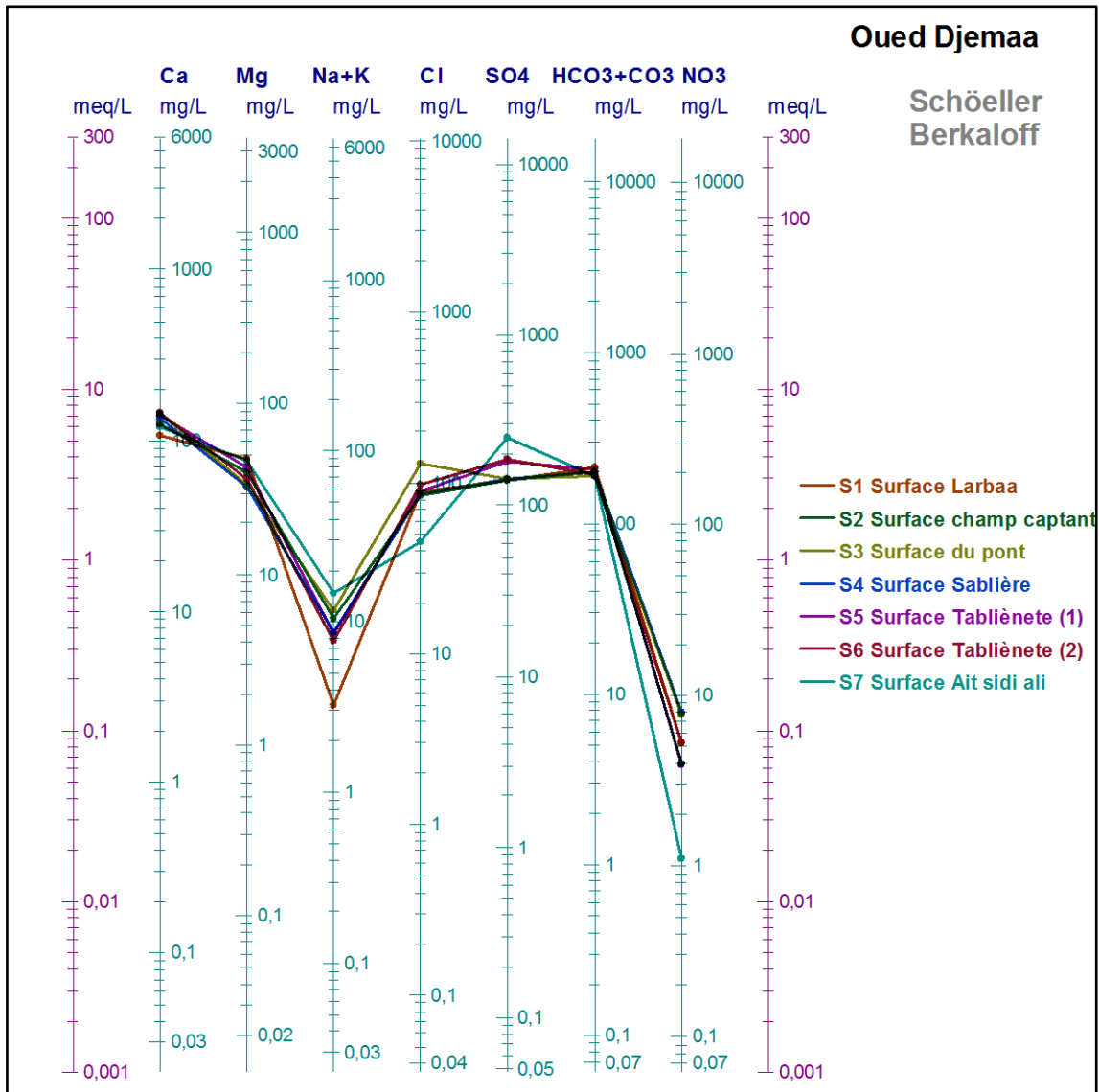


Figure (V.28): Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF -Campagne de Décembre 2010-

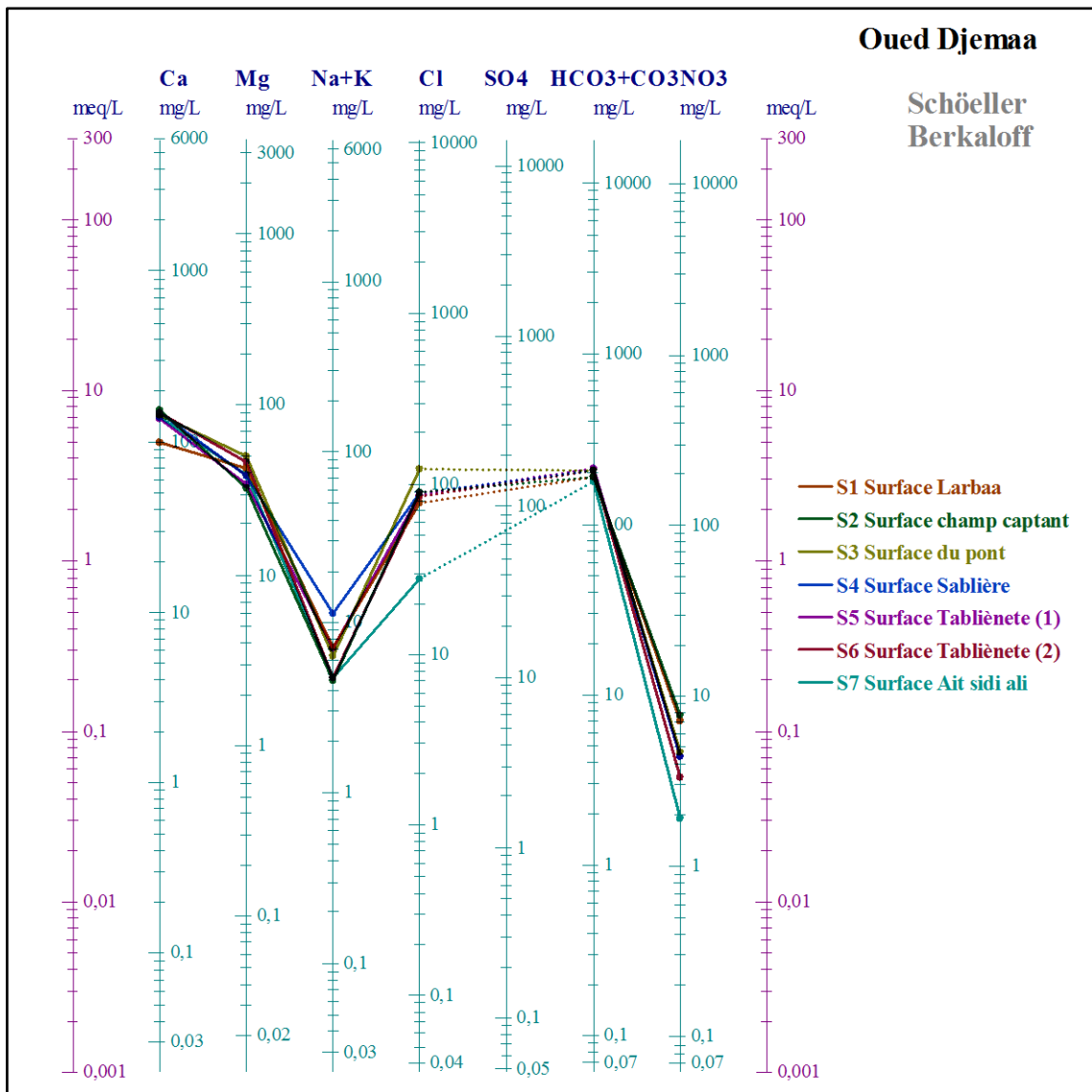


Figure (V.29): Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF -Campagne d'Avril 2011-

Les données chimiques des eaux de surface, représentées sur le diagramme de SCHÖLLER-BERKALOFF, (Figure (V.28) et (V.29)), indiquent un faciès *Bicarbonaté-calcique* dans la majorité des points, mais montre également un faciès *Sulfaté-calcique* au niveau du point S7 (Surface Ait Sidi Ali).



Tableau (V.5) : Classification des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF « Eau de surface »

	Station	Formules caractéristiques		Faciès chimique
Première campagne	S1	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >Cl <sup>-</sup> >NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Na <sup>+</sup> >K <sup>+</sup>	Bicarbonaté calcique
	S2	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >Cl <sup>-</sup> >NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Na <sup>+</sup> >K <sup>+</sup>	Bicarbonaté calcique
	S3	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >Cl <sup>-</sup> >NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Na <sup>+</sup> >K <sup>+</sup>	Bicarbonaté calcique
	S4	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >Cl <sup>-</sup> >NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Na <sup>+</sup> >K <sup>+</sup>	Bicarbonaté calcique
	S5	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >Cl <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Na <sup>+</sup> >K <sup>+</sup>	Bicarbonaté calcique
	S6	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >Cl <sup>-</sup> >NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Na <sup>+</sup> >K <sup>+</sup>	Bicarbonaté calcique
	S7	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >Cl <sup>-</sup> >NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Na <sup>+</sup> >K <sup>+</sup>	Sulfaté calcique
Deuxième campagne	S1	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >Cl <sup>-</sup> >NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Na <sup>+</sup> >K <sup>+</sup>	Bicarbonaté calcique
	S2	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >Cl <sup>-</sup> >NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Na <sup>+</sup> >K <sup>+</sup>	Bicarbonaté calcique
	S3	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >Cl <sup>-</sup> >NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Na <sup>+</sup> >K <sup>+</sup>	Bicarbonaté calcique
	S4	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >Cl <sup>-</sup> >NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Na <sup>+</sup> >K <sup>+</sup>	Bicarbonaté calcique
	S5	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >Cl <sup>-</sup> >NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Na <sup>+</sup> >K <sup>+</sup>	Bicarbonaté calcique
	S6	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >Cl <sup>-</sup> >NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Na <sup>+</sup> >K <sup>+</sup>	Bicarbonaté calcique
	S7	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >Cl <sup>-</sup> >NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> >Mg <sup>2+</sup> >Na <sup>+</sup> >K <sup>+</sup>	Sulfaté calcique

### V.5.2. Faciès caractéristiques

Les principaux faciès hydrochimiques déterminés dans les eaux de la nappe alluviale de l'Oued Djemaa sont représentés dans le tableau (V.6).

Tableau (V.6): Faciès chimiques des eaux de l'aquifère de l'Oued Djemaa

Campagnes	Faciès chimiques		
	Type d'eau	Bicarbonaté calcique (%)	Sulfaté calcique (%)
Décembre 2010	Eaux souterraines	91	9
	Eaux de surface	86	14
Avril 2011	Eaux souterraines	90	10
	Eaux de surface	86	14

A partir de la représentation graphique des faciès chimiques par les diagrammes de PIPER et celui de SCHOELLEUR-BERKALOFF, on a constaté la dominance de deux faciès qui sont : le *sulfaté-calcique* et le *bicarbonaté-calcique*. Ceci est vérifié par les teneurs dominantes des ions suivants : HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, et Ca<sup>2+</sup>.

### V.6. Evolution et distribution des faciès chimiques

Pour la confirmation de la présence de ces faciès caractérisant les eaux de l'Oued Djemaa, on a réalisé deux diagrammes (Figure (V.30), (V.31) qui utilisent les rapports  $(Na^+ / Ca^{2+} - Cl^- / HCO_3^-)$  et  $(Na^+ / Ca^{2+} - Cl^- / SO_4^{2-})$ .

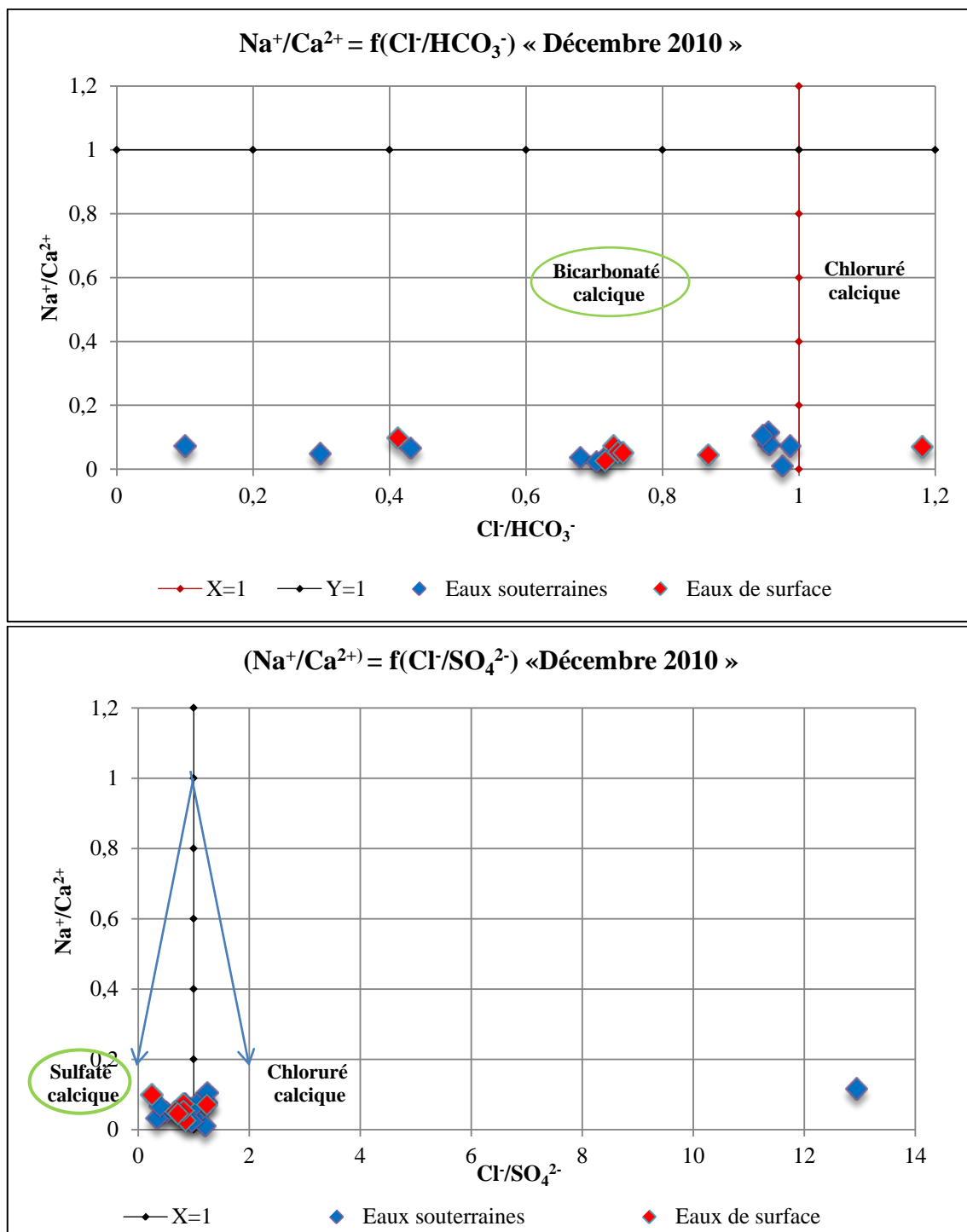


Figure (V.30): Evolution et distribution des faciès chimiques -Décembre 2011-

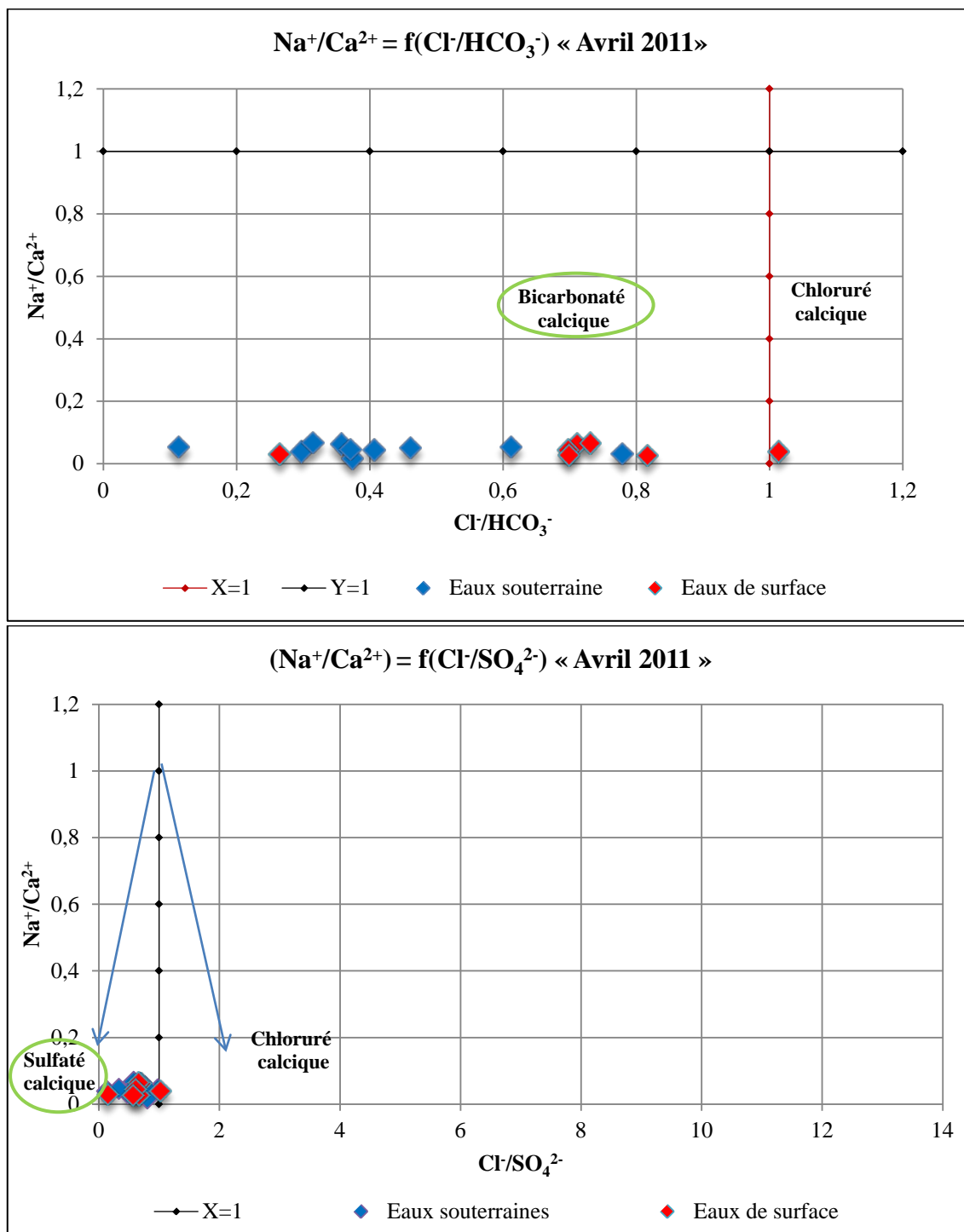


Figure (V.31) : Evolution et distribution des faciès chimiques -Avril 2010-

L'interprétation de ces deux diagrammes a montré la concentration des rapports d'ions en deux pôles indiquant les 02 faciès, déterminés précédemment, qui caractérisent la nappe. On note l'apparition de faciès chloruré calcique avec un pourcentage très faible.

### V.6.1. Origine des éléments chimiques

En se basant sur les mesures et les analyses chimiques des deux campagnes réalisées, on va essayer de déterminer l'origine probable de quelques ions.

#### V.6.1.1. Origine du calcium (Les éléments $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{HCO}_3^-$ - $\text{SO}_4^{2-}$ )

Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse, la détermination de l'origine de chaque concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de la nappe. Les schémas des figures (V.32) et (V.33) permettent de définir les deux origines de calcium à savoir :

- Origine carbonaté.
- Origine évaporitique.

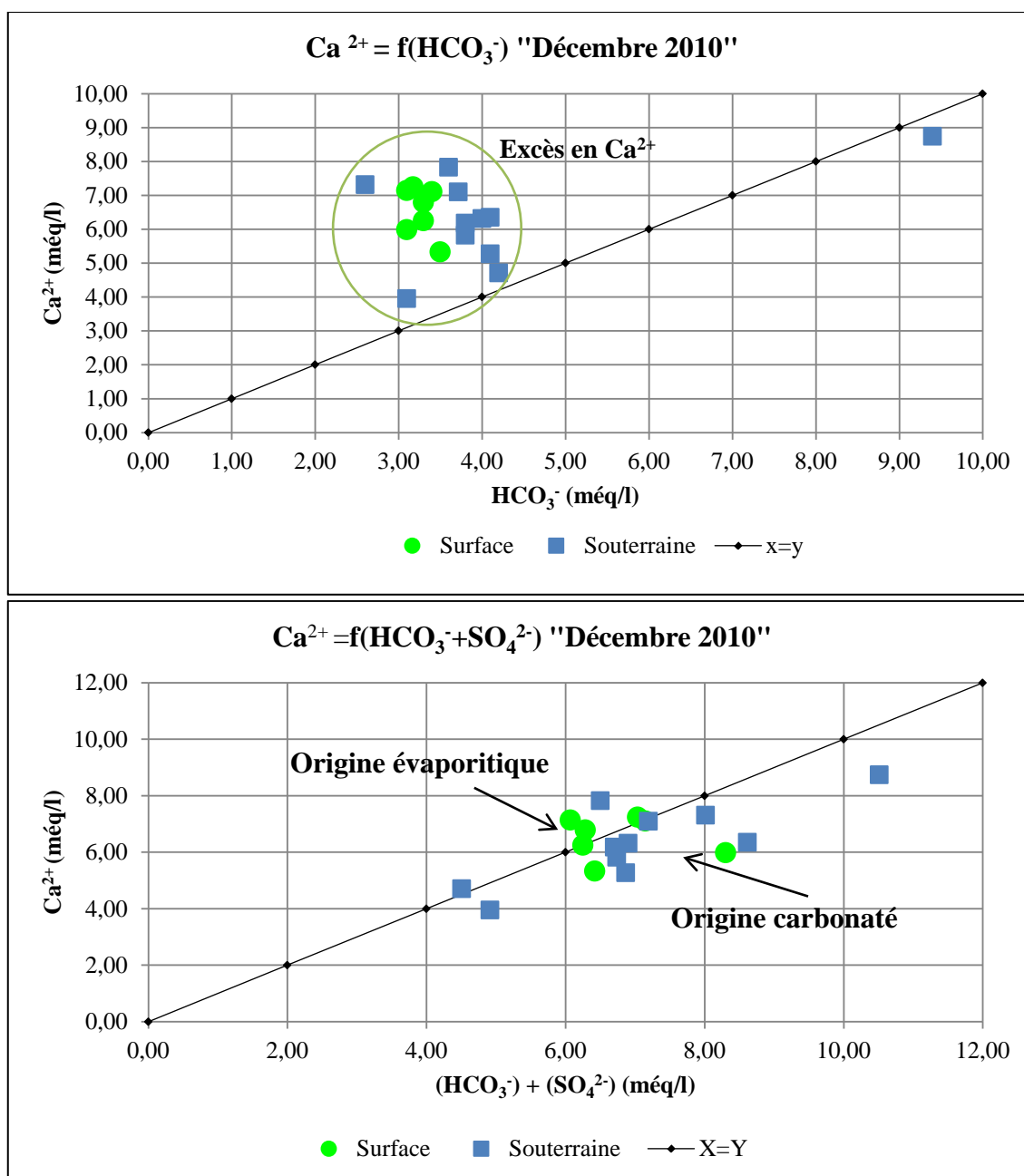


Figure (V.32) : Détermination de l'origine du calcium - Décembre 2011-

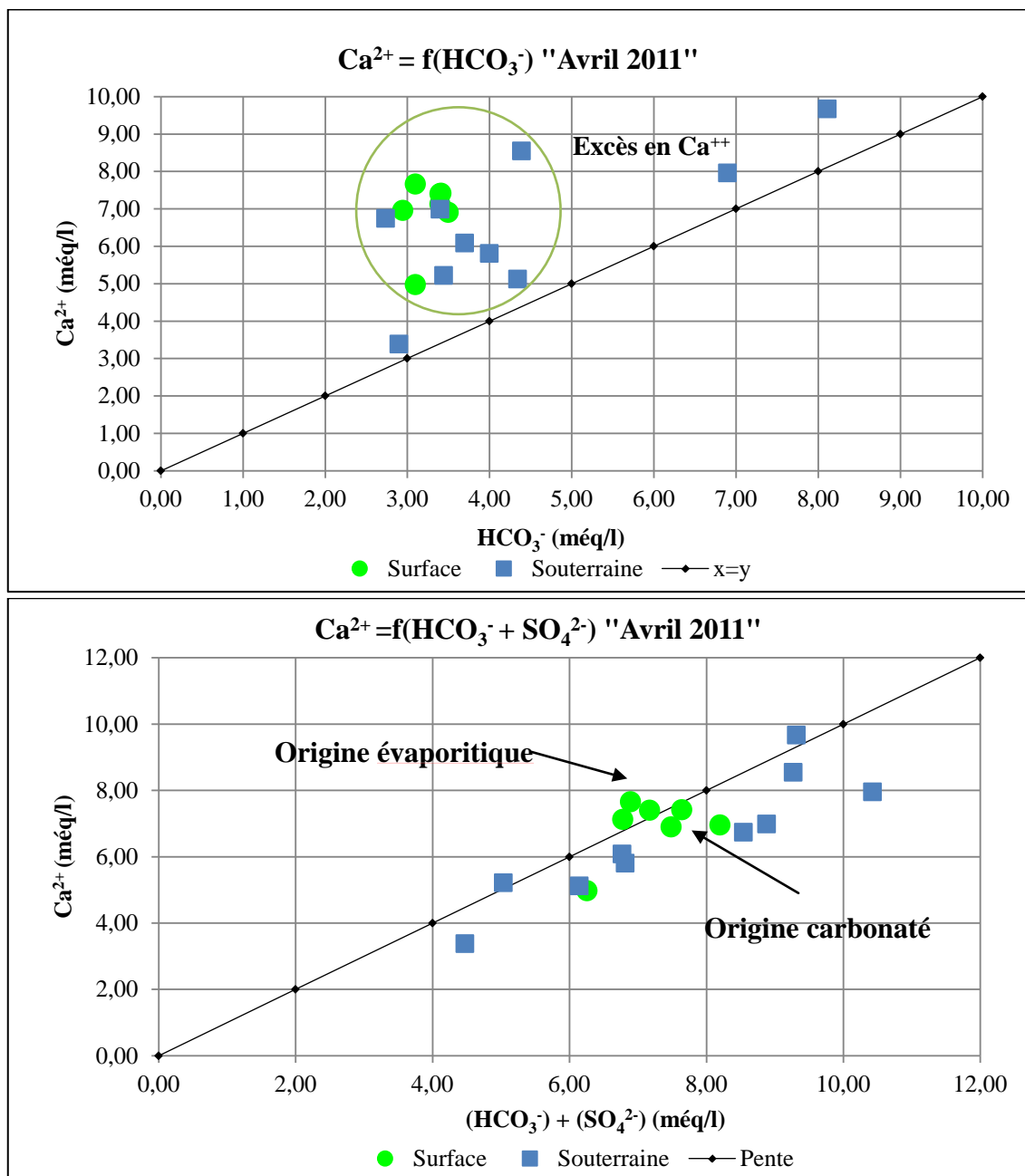


Figure (V.33) : Détermination de l'origine du calcium -Avril 2010-

L'analyse des graphes représentant le calcium en fonction des bicarbonates et des sulfates des figures ci-dessus (Figure (V.32) et (V.33)) montre que 23 échantillons sur 35 ont une origine carbonatée soit 65% de l'ensemble des échantillons.

**V.6.1.2. Origine du sodium (Les éléments Na<sup>+</sup> - Cl<sup>-</sup>)**

Dans les eaux naturelles, la présence des deux éléments Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> est attribuée à la dissolution de la halite que l'on rencontre dans les formations triasiques. Cependant, les chlorures comme le sodium peuvent avoir d'autres origines (Naturelles ou anthropiques), pour vérifier l'origine de ces deux éléments on a tracé le diagramme suivant :

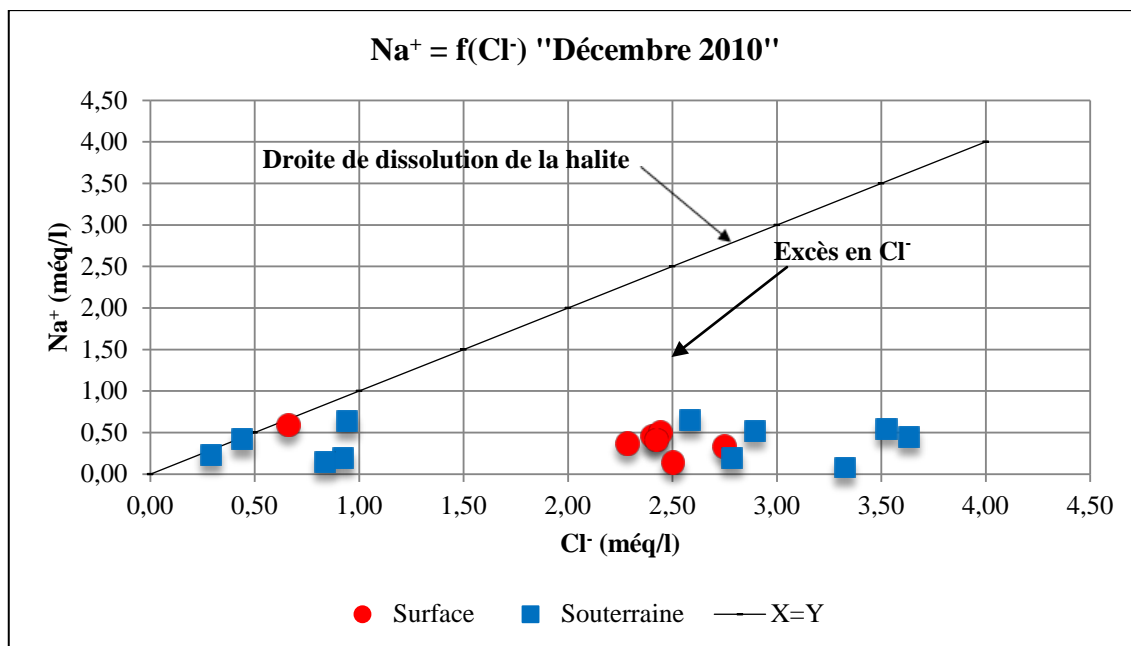


Figure (V.34) : Détermination de l'origine du sodium -Décembre 2010-

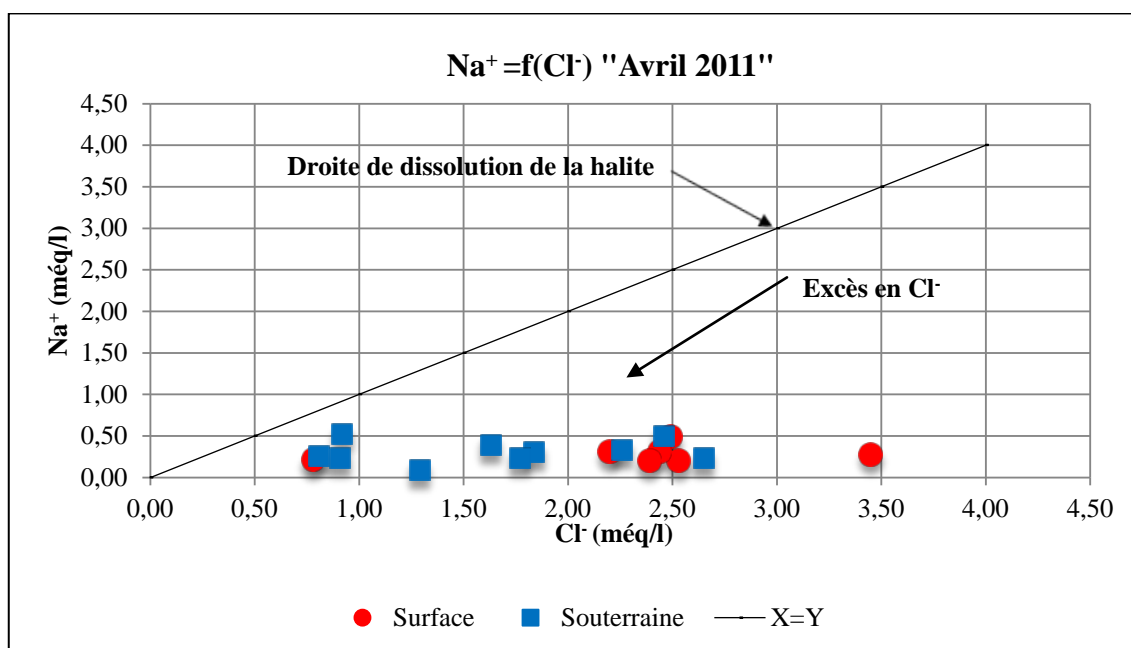


Figure (V.35) : Détermination de l'origine du sodium -Avril 2011-

La représentation graphique de l'évolution du Na<sup>+</sup> en fonction de Cl<sup>-</sup> (Figure (V.34) et (V.35)) a montré un excès des teneurs en Cl<sup>-</sup>, qui s'explique par l'existence d'une autre origine pour les chlorures autre que la halite.

Après avoir fait le point sur les origines des cations, on va essayer de représenter l'évolution des anions.

### V.6.2. Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique (Les éléments $\text{HCO}_3^-$ , $\text{Cl}^-$ et $\text{SO}_4^{2-}$ )

La représentation graphique de la variation des anions en fonction de la conductivité électrique montre l'évolution des bicarbonates en fonction de celle-ci. Pour la première campagne on a la figure (V.36) :

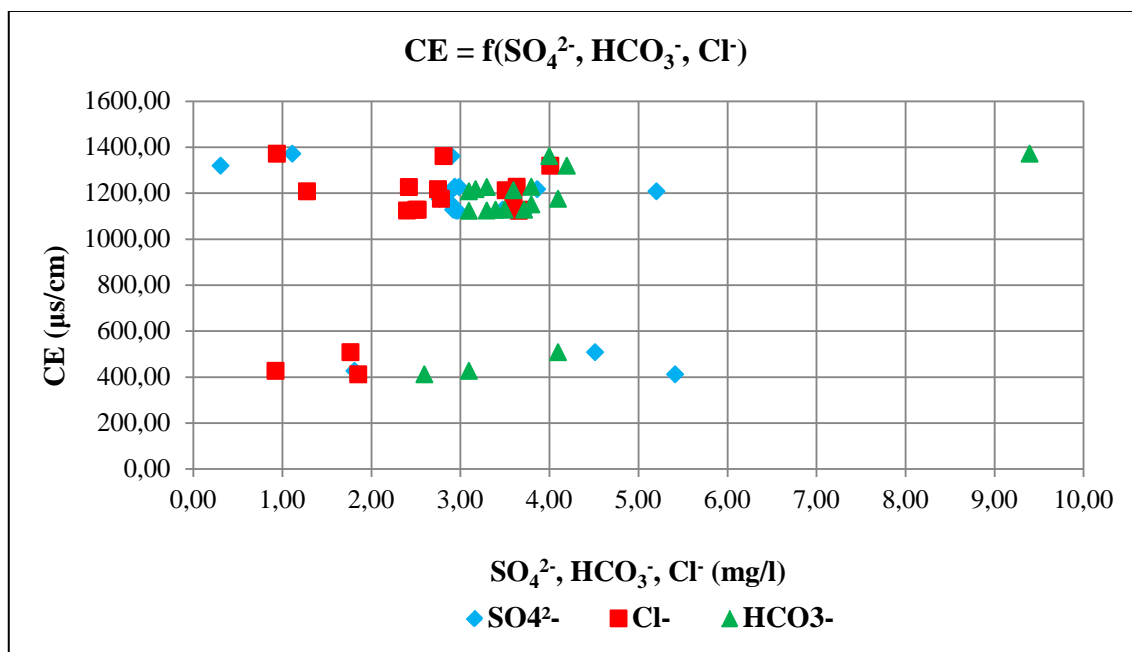


Figure (V.36) : Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique - Décembre 2010-

Pendant la deuxième campagne, les résultats d'analyse sont représentés dans la Figure (V.37)

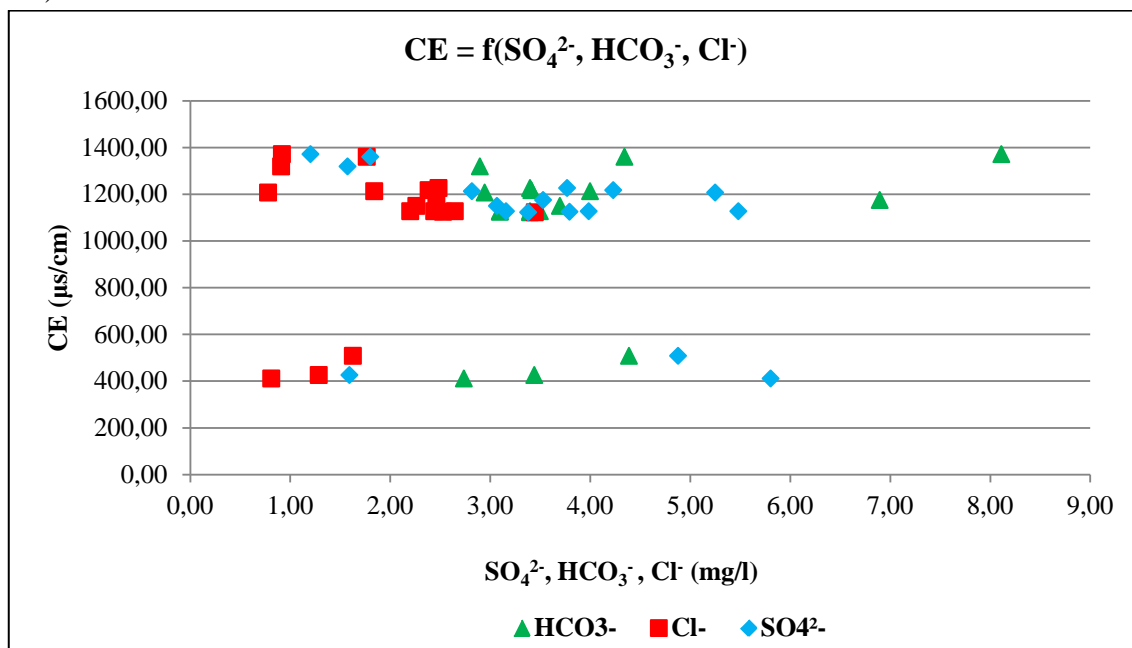


Figure (V.37) : Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique - Avril 2011-

**V.6.3. Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité électrique (Les éléments Cl<sup>-</sup> - SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)**

Ces deux ions sont issus de deux formations différentes, le SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> provient du gypse et le Cl<sup>-</sup> provient probablement d'une pollution anthropique. On a associé l'évolution de ces ions à la conductivité électrique pour mettre en relief la façon selon laquelle ils évoluent.

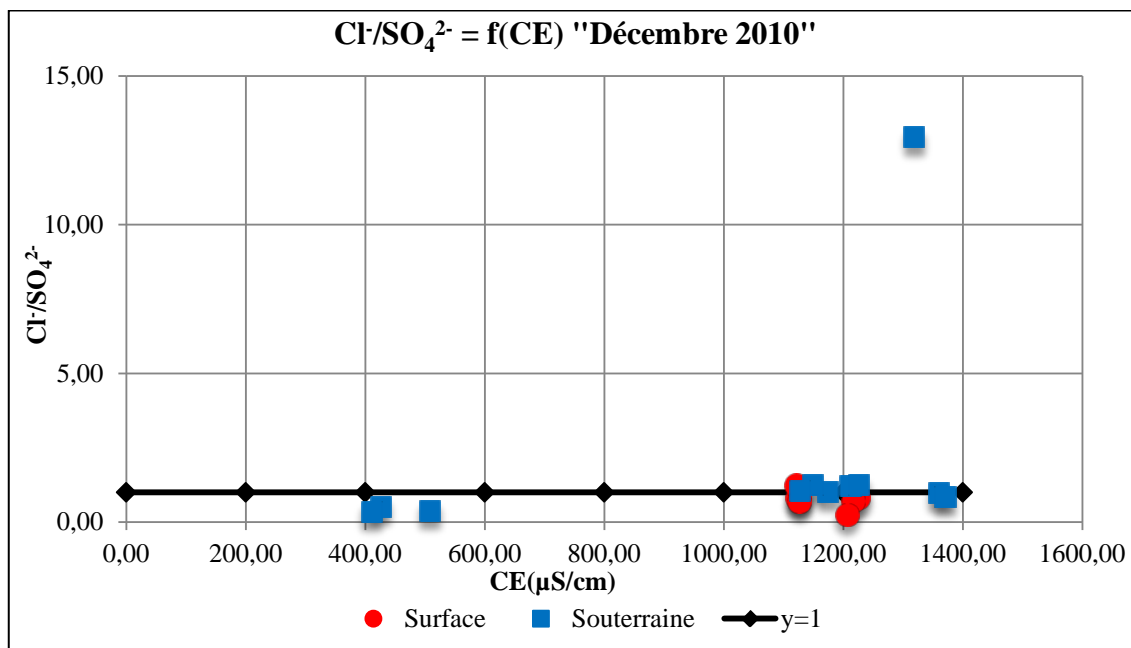


Figure (V.38) : Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité -Décembre 2010-

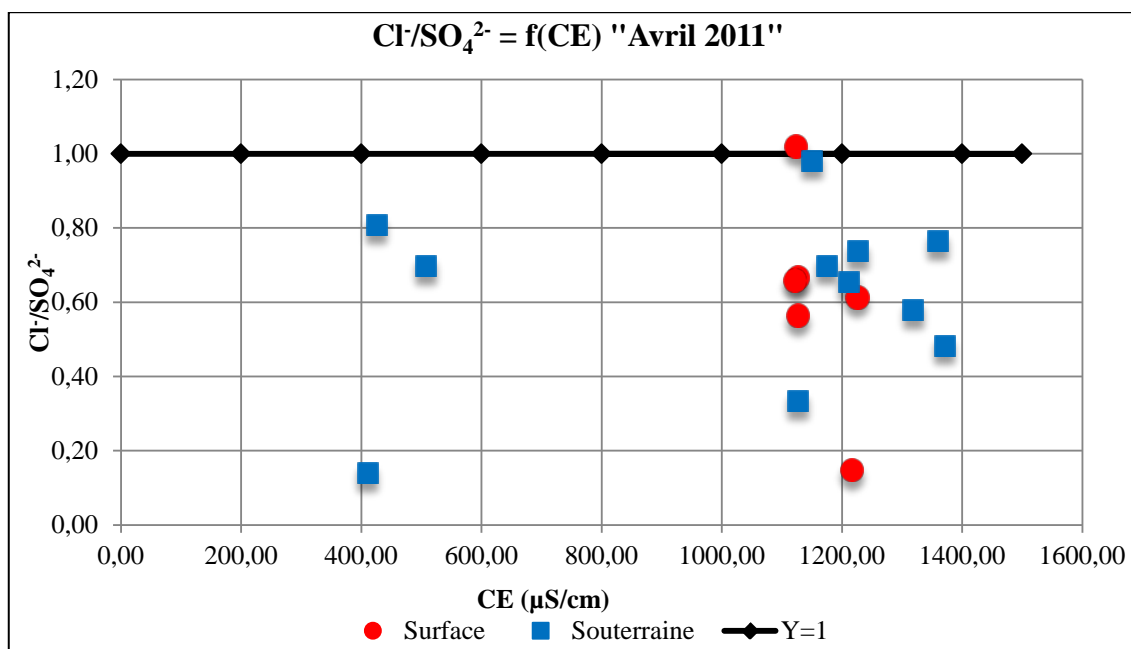


Figure (V.39) : Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité -Avril 2011-



L'interprétation des graphes (Figure (V.38) et (V.39)) a révélé que la majorité des points d'eau présentent un rapport ( $Cl^-/SO_4^{2-}$ ) inférieur à 1, indiquant ainsi la dominance des ions  $SO_4^{2-}$  par rapport à  $Cl^-$ , ce qui confirme le faciès sulfaté calcique (Tableau (V.4) et (V.5)). Quelques points d'eau présentent des valeurs du rapport ( $Cl^-/SO_4^{2-}$ ) supérieures à 1, indiquant l'origine carbonatée (Figure (V.32) et (V.33)).

#### V.6.4. Evolution des nitrates (Les éléments $NO_3^-$ - $Cl^-$ )

Les rejets urbains, qui se déversent dans le cours d'eau sans subir de traitement préalable, sont chargés de matières organiques et produisent des nitrates. Par le processus d'organisation, cette transformation se fait selon les processus décrits dans la figure (V.40). [59]

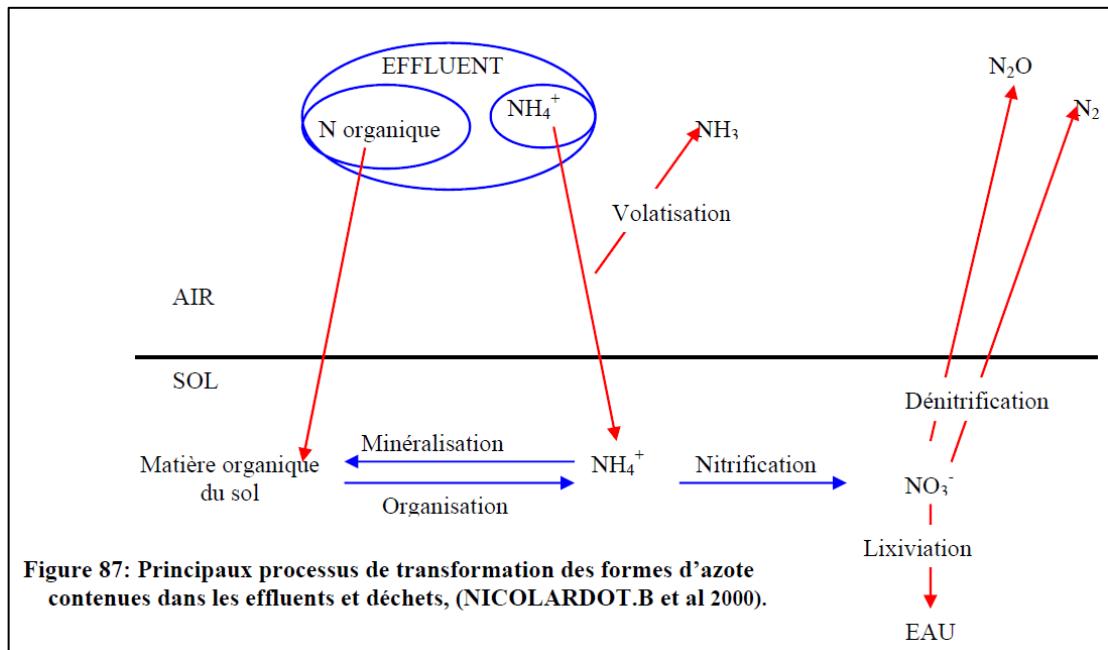


Figure (V.40): Principaux processus de transformation des formes d'azote contenues dans les effluents et déchets

En effet, après l'élaboration de l'évolution des éléments majeurs, on a remarqué une certaine corrélation entre les nitrates et les chlorures (Voir la matrice de corrélation (Tableau (V.7))), où le coefficient de corrélation est de l'ordre de 0,562 pour une population de 35 points d'eau. En d'autres termes, les chlorures peuvent avoir plusieurs origines naturelles et anthropiques (Ecart type 34,27 mg/l, (Tableau (V.6)). On pense qu'une partie des chlorures tire son origine des eaux usées domestiques qui constituent, en même temps une source de nitrates d'origine organique.

#### V.7. Etat de saturation

La dissolution d'un minéral dans l'eau peut être décrite par un état d'équilibre : quand l'eau est en contact avec un minéral, la concentration de la solution augmente pour atteindre un maximum pour des conditions physico-chimiques données. On dit alors que la solution est saturée en ce minéral. L'état de saturation est exprimé par l'indice de saturation. La

concentration d'une substance saturée représente la solubilité du minéral et dépend généralement de la température, du pH et des minéraux associés.

L'état de saturation est généralement exprimé par l'indice de saturation :

$$I_s = \log(K) - \log(PI)$$

Avec,

- K : La constante d'équilibre.
- PI : Le produit ionique.

Trois cas sont possibles :

- $I_s < 0$  : Signifie une sous-saturation d'une solution par rapport à un minéral.
- $I_s = 0$  : Indique un état de saturation.
- $I_s > 0$  : Démontre une sursaturation [42].

La saturation est l'état d'équilibre entre un minéral et une solution, dépendant de la température et surtout du pH.

#### V.7.1. Calcul des indices de saturation

Les indices de saturation en calcite, aragonite, dolomite, gypse, anhydrite et halite ont été calculés au moyen du logiciel hydrochimique PHREEQCI. Les calculs ont été effectués pour trente - cinq échantillons (Tableau (V.5) et (V.6)).

Les figures (V.41) et (V.42) montrent la variation des indices de saturation des minéraux pour les eaux souterraines.

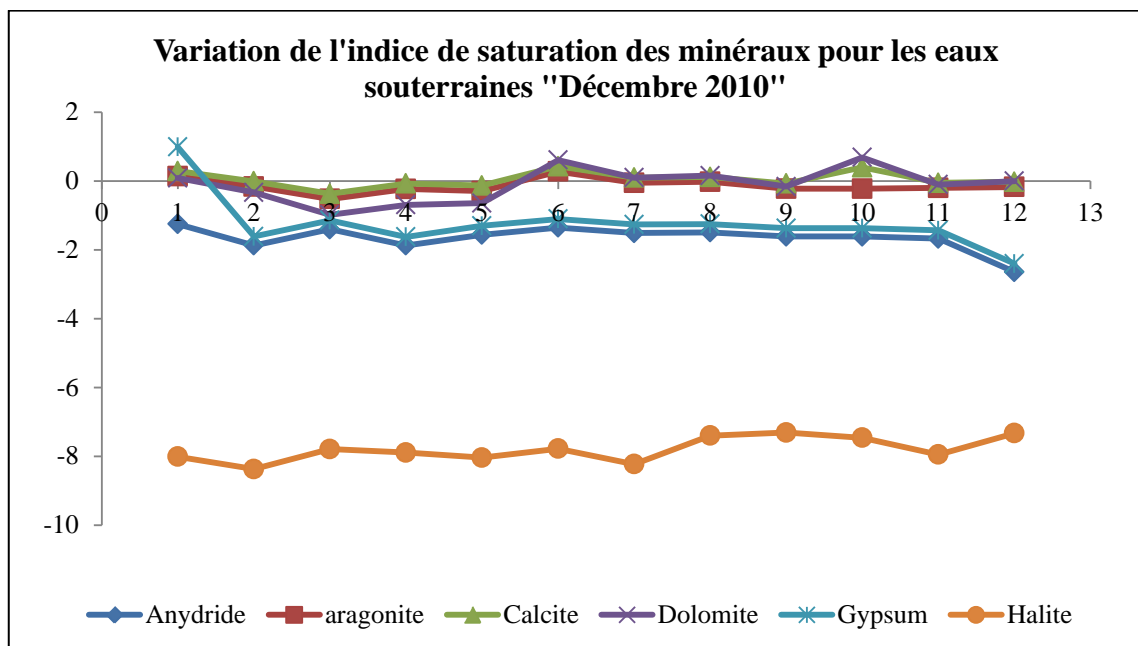


Figure (V.41): Variation des indices de saturation des minéraux des eaux souterraines (Décembre 2010)

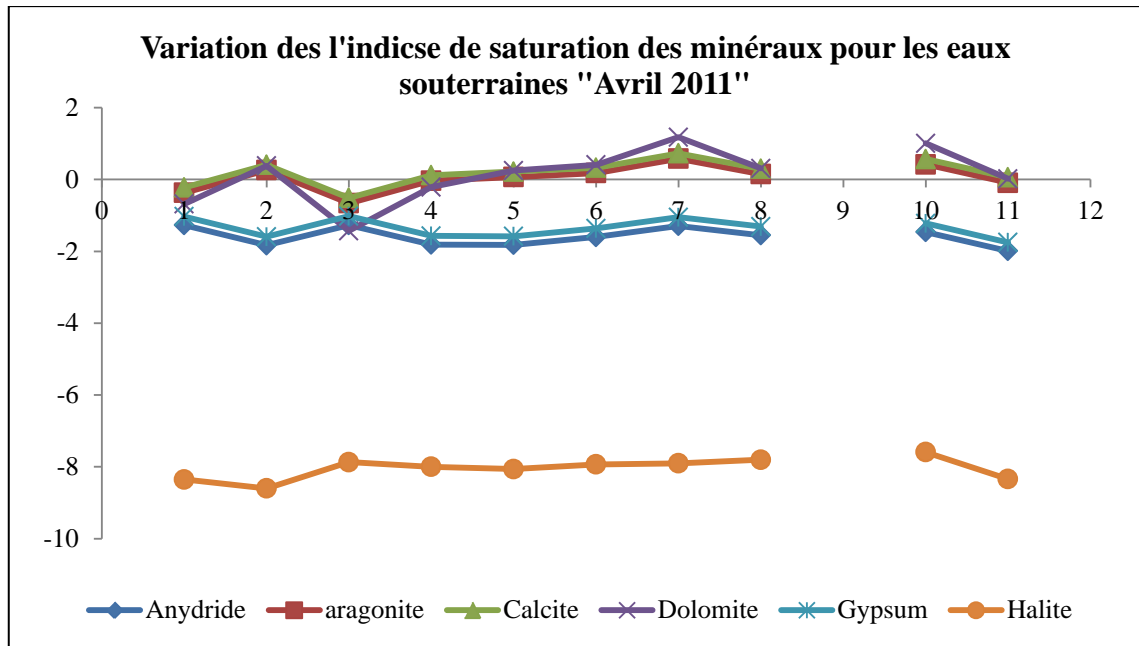


Figure (V.42): Variation des indices de saturation des minéraux des eaux souterraines (Avril 2011)

Pour les eaux de surface, les variations sont représentées dans les figures (V.43) et (V.44) suivantes :

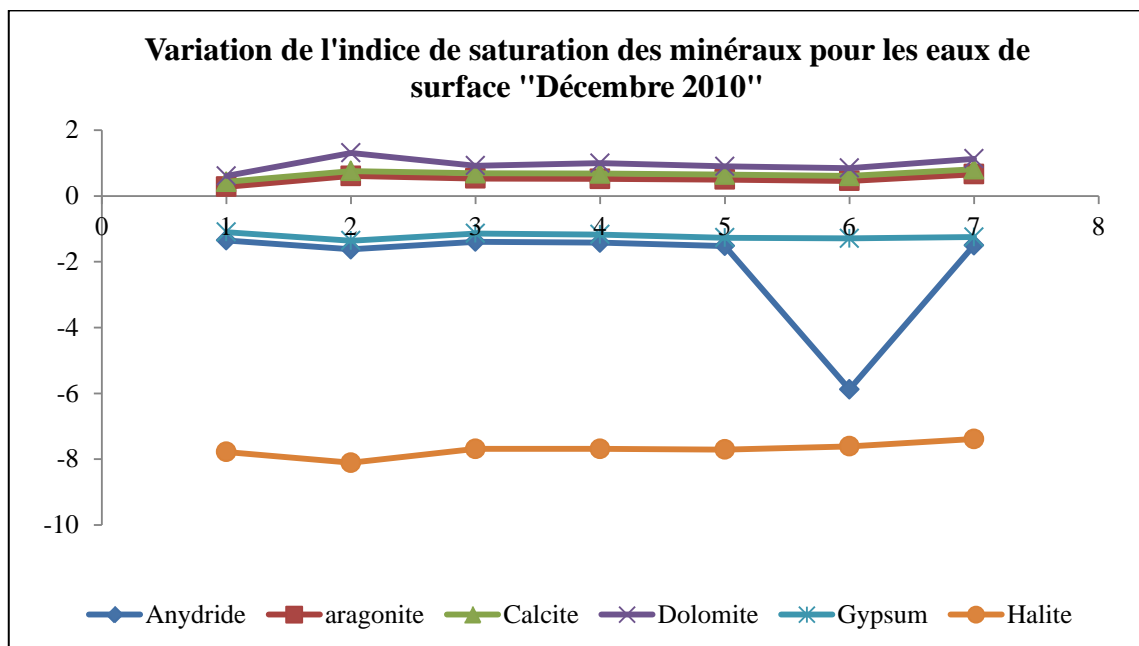


Figure (V.43): Variation des indices de saturation des minéraux des eaux de surface (Décembre 2010)

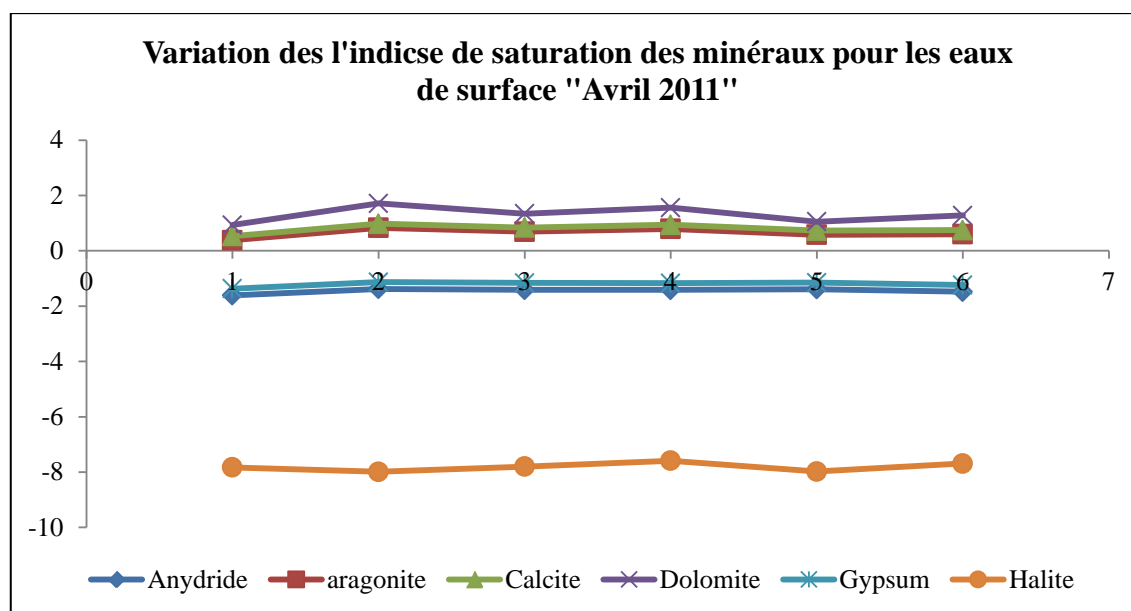


Figure (V.44): Variation des indices de saturation des minéraux des eaux de surface (Avril 2011)

### V.7.2. Influence du type d'aquifère sur le chimisme des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont soumises à des processus physico-chimiques dans l'aquifère tels que la dissolution, la précipitation, l'adsorption, l'échange ionique, l'oxydation, la réduction et des réactions bactériennes. Ces processus physico-chimiques déterminent le faciès chimique de l'eau qui est caractérisé par les concentrations en ions majeurs [53]. Le faciès chimique de l'eau est généralement typique d'un certain environnement géologique et hydrogéologique [56].

Tableau (V.7): Evolution des indices de saturation des minéraux

Station	Faciès	Décembre 2010						Faciès	Avril 2011					
		Minéraux carbonatés			Minéraux évaporites				Minéraux carbonatés			Minéraux évaporites		
		Calcite	Dolomite	Aragonite	Anhydrite	Gypse	Halite		Calcite	Dolomite	Aragonite	Anhydrite	Gypse	Halite
P1	BC	0,1	0,1	-0,05	-1,51	-1,26	-8,23	BC	0,33	0,41	0,18	-1,6	-1,36	-7,93
P2	BC	-0,05	-0,1	-0,2	-1,67	-1,43	-7,95	BC	0,57	1,01	0,42	-1,46	-1,22	-7,59
P3	BC	-0,01	-0,33	-0,16	-1,87	-1,61	-8,37	BC	0,41	0,38	0,26	-1,83	-1,59	-8,6
P4	SC	0,29	0,09	0,14	-1,25	0,99	-8,01	SC	-0,22	-0,68	-0,37	-1,27	-1,03	-8,35
F1	BC	-0,02	0	-0,17	-2,64	-2,4	-7,33	BC	0,06	0,02	-0,09	-1,99	-1,75	-8,34
F2	BC	0,4	0,69	-0,22	-1,61	-1,37	-7,46	BC	-	-	-	-	-	-
F3 (1)	BC	-0,07	-0,16	-0,22	-1,61	-1,37	-7,31	BC	0,3	0,31	0,15	-1,55	-1,31	-7,8
F4	BC	-0,13	-0,64	-0,29	-1,56	-1,3	-8,04	BC	0,22	0,25	0,07	-1,82	-1,58	-8,06
F5	BC	-0,07	-0,69	-0,23	-1,87	-1,62	-7,89	BC	0,12	-0,21	-0,03	-1,81	-1,57	-8
F3 (2)	BC	0,12	0,16	-0,02	-1,49	-1,25	-7,4	BC	0,73	1,18	0,58	-1,29	-1,05	-7,9
F6	BC	-0,37	-0,98	-0,52	-1,4	-1,14	-7,79	BC	-0,51	-1,43	-0,66	-1,27	-1,02	-7,87
S1	BC	0,76	1,31	0,61	-1,62	-1,36	-8,11	BC	0,53	0,93	0,38	-1,61	-1,37	-7,83
S2	BC	0,61	0,85	0,46	-5,88	-1,29	-7,61	BC	0,73	1,05	0,58	-1,39	-1,15	-7,98
S3	BC	0,81	1,13	0,66	-1,5	-1,25	-7,39	BC	0,75	1,28	0,6	-1,48	-1,24	-7,69
S4	BC	0,65	0,9	0,5	-1,52	-1,27	-7,71	BC	0,94	1,56	0,79	-1,41	-1,17	-7,59
S5	BC	0,68	1	0,52	-1,42	-1,17	-7,69	BC	0,84	1,34	0,69	-1,41	-1,16	-7,8
S6	BC	0,69	0,92	0,53	-1,39	-1,14	-7,69	BC	0,98	1,71	0,83	-1,38	-1,13	-7,99
S7	SC	0,43	0,61	0,28	-1,35	-1,1	-7,78	SC	0,38	0,48	0,23	-1,29	-1,06	-8,47

Le calcul des indices de saturation des différents minéraux dans l'eau indique que seuls les minéraux carbonatés ont tendance à atteindre l'équilibre, surtout sous la forme d'aragonite et

en particulier pendant la période des hautes eaux. Par contre, les minéraux évaporitiques sont toujours à l'état de sous-saturation, malgré les fortes concentrations qu'ils acquièrent.

## V.8. Analyse statistique

### V.8.1. Définition

La représentation graphique des éléments chimiques et l'étude des rapports caractéristiques ont montré qu'un grand nombre de paramètres chimiques et physico-chimiques pris individuellement étaient significatifs. Pour expliquer l'évolution du chimisme, la plupart du temps une (Ou plusieurs) liaison plus ou moins forte existe entre ces paramètres. Il est donc apparu intéressant d'essayer de traiter les données statistiquement, en utilisant une méthode d'analyse multidimensionnelle comme l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

L'A.C.P est une méthode statistique essentiellement descriptive dont l'objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum d'information contenue dans un tableau de données. Ce tableau est constitué en lignes par des « individus » (Puits, forage,...) sur lesquels sont mesurées des « variables quantitatives » (Teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  et  $\text{Cu}^{2+}$ ) disposées en colonnes. Le but recherché est de déterminer la structure des variables (familles) ainsi que la répartition de ces dernières [21].

### V.8.2. Principe

Chaque échantillon d'eau d'une campagne de prélèvement constitue une unité statistique. Les différents paramètres soumis à l'analyse constituent les variables qui caractérisent ces unités statistiques. Chacune des deux campagnes analysées au cours de la période (2010, 2011) a donc été traitée statistiquement grâce à l'utilisation du logiciel XLSTAT.

La présente étude porte sur les éléments majeurs, qui influent sur l'évolution de la minéralisation. On a inclus la conductivité électrique, dont l'évolution dépend de cette dernière.

### V.8.3. Résultats et interprétations

Pour observer les individus, on construit les plans à partir des composantes principales les plus importantes et c'est le plan engendré par les axes 1 et 2, car par définition c'est le plan sur lequel le maximum d'information est visible. On examinera d'autres plans, selon la part d'information prise en compte par ces derniers. Les résultats de l'A.C.P sont influencés par l'ordre de grandeur des variables.

Ainsi pour y remédier à cet inconvénient, il est recommandé de donner le même poids aux différentes variables en les réduisant. On réalise ainsi l'A.C.P soit sur des données centrées (Variables de même nature) à partir de la « matrice des variances - covariances » entre variables, soit sur des données centrées réduites, c'est-à-dire des variables de différentes natures « Matrice de corrélations ».

Après l'élaboration des matrices des corrélations et de variances - covariances, il s'ensuit une diagonalisation basée sur :

- Une matrice de « Vecteurs propres » qui contiennent des combinaisons linéaires des (P) variables initiales actives.
- Une matrice de « Valeurs propres » qui représentent les variances des individus sur les axes principaux correspondants.

Pour un axe donné, les variables qui ont les plus forts coefficients (En valeurs absolues) sont celles qui contribuent le plus à la formation de cet axe. Une variable est d'autant mieux représentée sur le plan qu'elle est proche du cercle. Le choix du nombre de composantes est exprimé en fonction des « Valeurs propres » ou « les pourcentages de variation expliqués par chaque composante principale ».

Sur chaque plan retenu, on examine :

- La structure des variables à partir de leurs corrélations avec les axes principaux, représentée par des « Cercles de corrélation ».
- La répartition des individus, à partir de leurs coordonnées sur les axes principaux et d'indices.

#### V.8.4. Application de l'A.C.P aux données chimiques (éléments majeurs) des eaux de l'Oued Djemaa

Le type d'analyse effectuée est une A.C.P centrée réduite qui a été réalisée sur un tableau de données à 9 variables (CE, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et à 35 échantillons prélevés de deux compagnes (Décembre 2010 et Avril 2011). L'interprétation de l'analyse se fera selon l'ordre des informations données par le logiciel (XLSTAT).

##### V.8.4.1. Analyse statistique

Les paramètres statistiques des éléments chimiques sont représentés dans le tableau (V.8) ci-dessous :

Tableau (V.8) : Paramètres statistiques des éléments chimiques

Eléments chimiques	Valeur minimale (mg/l)	Valeur maximale (mg/l)	Moyenne arithmétique	Ecart type
CE	411	1430	1043,714	299,710
Ca <sup>2+</sup>	79,20	193,80	131,333	26,089
Mg <sup>2+</sup>	22,40	62,80	41,707	9,516
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	1,858	17,91	8,239	4,056
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	14,89	278,90	157,864	62,605
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	158,60	573,40	237,71	85,637
Cl <sup>-</sup>	27,65	142,20	80,888	32,581
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	7,929	3,658	2,374

##### V.8.4.2. Matrice de corrélation

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur un tableau de données de huit variables et de trente-cinq individus prélevés au niveau de deux compagnes (Décembre 2010 et Avril 2011).

Tableau (V.9) : Matrice de corrélation des éléments chimiques

	CE	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>
CE	1							
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,364	1						
Cl <sup>-</sup>	0,285	-0,099	1					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,191	-0,405	<b>0,562</b>	1				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0,111	-0,396	0,159	0,077	1			
Ca <sup>2+</sup>	0,288	<b>0,571</b>	0,162	-0,304	<b>0,525</b>	1		
Mg <sup>2+</sup>	0,259	0,325	0,400	0,113	0,416	0,412	1	
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	0,259	<b>0,683</b>	0,074	-0,156	-0,021	<b>0,573</b>	<b>0,486</b>	1

L'examen de la matrice de corrélation indique les corrélations suivantes :

(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> , Ca<sup>2+</sup>), (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> , Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>), (Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup> , Mg<sup>2+</sup>), (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> , Ca<sup>2+</sup>), (Cl<sup>-</sup> , NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et (Ca<sup>2+</sup> , Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>).

#### V.8.4.3. Etude des variables et des individus

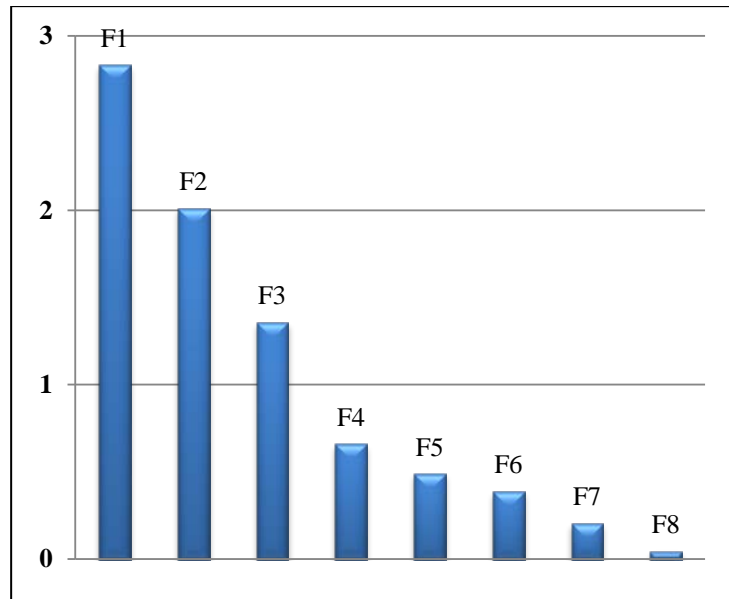
Le traitement a été poussé jusqu'à 2 facteurs. A ce stade 60,567 % de la variance a été exprimé. Les résultats sont résumés dans le tableau (V.10) :

Tableau (V.10) : Pourcentage de la variance exprimée

Axe	F1	F2
Valeur propre	2,832	2,014
Variance (%)	35,397	25,170
Variance cumulée (%)	35,397	60,567

#### V.8.4.5. Analyse de l'espace des variables

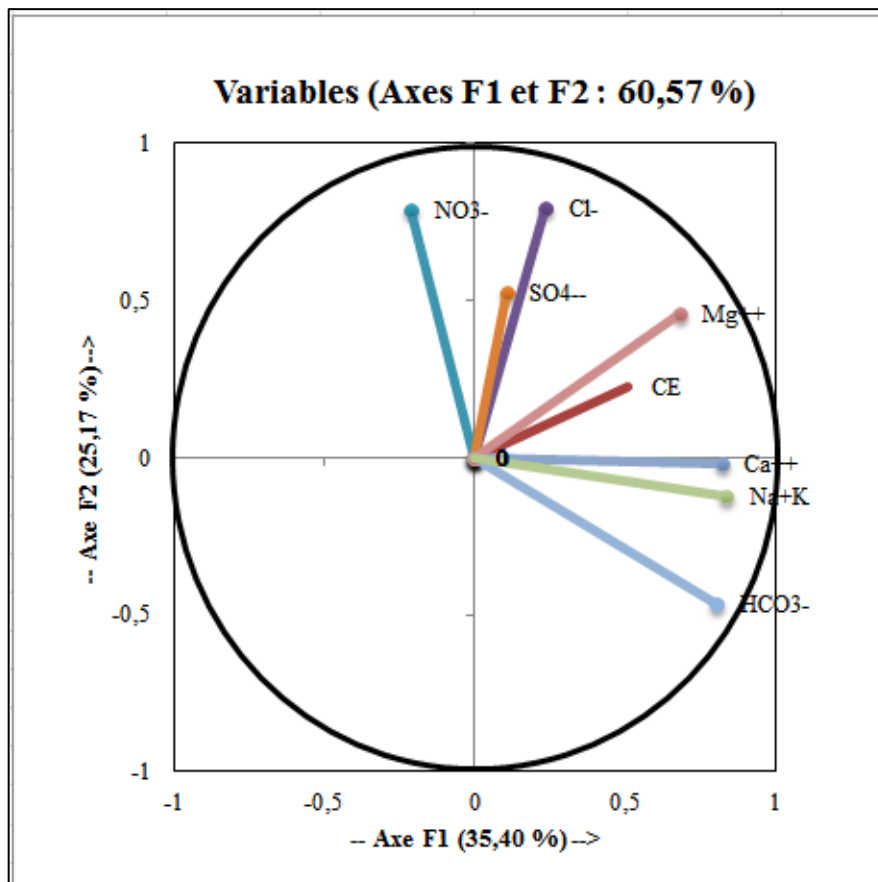
Le schéma qui suit Figure (V.43) montre l'histogramme des valeurs propres.



Figure(V.45) : Histogramme des valeurs propres

Les deux premiers facteurs représentent près de 61% de l'inertie totale

Dans ce dernier schéma, nous allons présenter la projection des variables selon les deux axes F1 et F2.



Figure(V.46) : Espace des variables de l'ACP globale



La projection des variables sur le plan F1-F2 montre trois pôles Figure (V.44). Le facteur F1 représente 35,40 % de la variance, il est déterminé par l'ensemble des cations plus les bicarbonates; Ceci nous permet de dire que F1 est le facteur des eaux d'origine carbonatées. Le facteur F2 vertical exprime 25,17 % de la variance. Il est déterminé par les nitrates, les chlorures et les sulfates.

**Conclusion :**

L'interprétation des diagrammes de PIPER et SCHOELLER-BERKALOFF a montré que les eaux de la plaine alluviale de l'Oued Djemaa sont caractérisées par une dominance des chlorures et des sulfates qui semble être liée à la nature géologique salifère.

L'analyse des résultats fait ressortir que le calcium, le magnésium et les bicarbonates ont des concentrations élevées à proximité des massifs. Cette augmentation est due à l'influence des formations carbonatées telles que les calcaires et les calcaires dolomitiques.

# CONCLUSION GENERALE

La présente étude, qui a porté sur le bassin versant de l'Oued Djemaa, a abouti aux conclusions suivantes :

- L'étude hydrochimique a été réalisée afin de caractériser la qualité des eaux souterraines et superficielles, donc les facteurs naturels et anthropiques qui influent sur cette qualité. Plusieurs modes et outils d'interprétation ont été utilisés (Cartographie, diagrammes, statistiques, informatique, ...etc.), qui ont montré :
  - La présence de quatre faciès chimiques marquant ainsi l'hétérogénéité de la lithologie. En effet, on peut citer le faciès *Bicarbonaté Calcique* caractérisant les eaux provenant des bordures calcaires, le faciès *Sulfaté Calcique* résultant des formations évaporitiques dans la partie Sud de l'aquifère.
  - La répartition spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique de la nappe. La dissolution des formations carbonatées et évaporitiques est à l'origine de cette distribution.

Le suivi de la qualité des eaux dans le temps et dans l'espace a montré l'impact des facteurs climatiques (Les précipitations et l'évaporation) sur la minéralisation des eaux de la nappe. La comparaison des concentrations des éléments chimiques ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ ) qui caractérisent les formations géologiques principales du bassin, a mis en relief la dominance des ions carbonatés ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) et gypsifères ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) par rapport à ceux salifères ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ).

Le calcul des indices de saturation des minéraux carbonatés et évaporitiques a montré que les premiers ont tendance à s'équilibrer avant les seconds, surtout sous la forme d'aragonite et en particulier pendant la première campagne. Par contre, les minéraux évaporitiques sont toujours à l'état de sous-saturation, malgré les fortes concentrations qu'ils acquièrent.

L'analyse statistique a pu montrer que les eaux souterraines, se trouvant en amont de la nappe, sont faiblement minéralisées et celles qui se trouvent en aval sont fortement minéralisées.

Quant à l'aspect environnemental, les investigations sur les sources de pollution ont fait apparaître une petite contamination de celle-ci par des nutriments d'origine agricole (Nitrates, Phosphates) et par les rejets urbains (Chlorures), qui sont déversés sans aucun traitement préalable, ce qui contribue à la dégradation de la qualité des eaux.

Les métaux lourds n'ont pas été traités par les analyses des différentes campagnes d'observation à l'exception du fer qui présente des concentrations significatives à la partie amont du bassin versant.

### **Recommandations**

Les recommandations ci-dessous visent à élucider certains problèmes qui ont été observés, et à proposer des interventions en conséquence :

- Maîtriser le stockage d'eaux et l'utilisation des matières organiques résultant de l'élevage animal.
- Arrêter le déversement direct des rejets urbains et industriels au niveau de l'Oued, en réalisant un traitement préalable de ces effluents avant qu'ils atteignent les Oueds et surveiller en permanence la qualité des eaux.
- Etudier l'emplacement des décharges ménagères des agglomérations en les installant loin des zones vulnérables à la pollution, et ce pour éviter leurs effets sur les ressources hydriques.
- Compléter notre travail par une étude de modélisation des écoulements souterrains pour connaître les mécanismes de transfert des polluants, ce qui peut aider à la protection de la nappe contre la pollution.

Toutes ces sources de pollutions influenceront fortement la qualité des eaux de surfaces de l'Oued.

- Un réseau de surveillance doit être mis pour éviter tout risque sanitaire. Il serait utile de poursuivre les travaux pour compléter l'étude par le dosage des métaux lourds et des substances indésirables pour mieux évaluer la qualité des eaux de surface de l'Oued Djemaa.

REFERENCE  
BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Agence Nationale des Ressources Hydriques. A.N.R.H, 2010.
- [2] AIDOUD A., 2003: Fonctionnement des écosystèmes méditerranéens. Conférence du laboratoire d'Ecologie Végétale. Univ. Rennes 1, 35042, RENNES.
- [3] ALATOU DJ., LEHOUT A., SOUILAH N. & ZEKRI DJ., 2006 : Etude des variations thermiques saisonnière dans les régions Semi-Arides, 5<sup>ème</sup> coll. Inter. Energie, changement et développement durable. Univ. MENTOURI CONSTANTINE, ALGERIE.
- [4] ALEXEEV V., 1980 : Analyse quantitative. 4 Ed. - MOSCOU : Mir, 1980. - 592p.
- [5] AMMARY B., 2007 : Etude géochimique et isotopique des principaux aquifères du bassin Crétacé d'ERRACHIDIA et de la plaine de TAFILALET, Thèse de Doctorat d'état. Univ. MOHAMMED V-AGDAL.
- [6] ANCTIL F., ROUSSELLE J. & LAUZON N., 2005 : Hydrologie: cheminements de l'eau. Éd : Presses inter Polytechnique, ISBN 2553011512, 9782553011511, 317 pages.
- [7] BANAS D. & LATA J-C. 2006 : Les nitrates. Univ. PARIS-Sud ; Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution.
- [8] BAOU A. & SAADI Z., 2005 : Conséquences géographiques et socio-économiques des inondations dans la vallée de l'OURIKA (MAROC), Exemple des crues du 17/08/1995 et du 28/10/1999, Mém. de fin d'études. Univ. CADI AYYAD, MAROC.
- [9] BENDJOUDI H. & Hubert P., 2002 : Le coefficient de compacité de GRAVELIUS: Analyse critique d'un indice de forme des bassins versants, Hydrological Sciences Journal. 47(6) 921-930.
- [10] BENSEGHIR A., 2006 : Contribution à l'étude de l'état nutritionnel par la méthode du diagnostic foliaire de trois variétés d'abricotier (*Prunus armeniaca* L.) en zone Aride (Commune de DOUCEN - W. BISKRA). Mém. d'Ing. Univ. BISKRA (ALGERIE).
- [11] BENTEKHICI N. et ZEBBAR Z-d., 2008: Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physiques d'un bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux (Bassin versant d'Oued El MALEH, Nord-Ouest d'ALGERIE). 1ère Conférence International sur le Web et l'Information Technologie. Sidi Bel Abbes, ALGERIE.
- [12] BONTOX J., 1983 : Introduction à l'étude des eaux douces Ed CEBEDOC, BELGIQUE.
- [13] BOUANANI A., 2011 : Etude de quelques sous bassins de la TAFNA (NW- ALGERIE). Thèse de Doctorat d'état en géologie appliquée : Univ. ABOU BEKRBELKAID TLEMENEN, ALGERIE.

- [14] BOUGHANI S. & BOUSSAA W., 2010 : Contribution à l'étude hydrochimique des eaux de l'Oued Djemaa-Wilaya de BEJAIA, Mém. d'Ing. d'état en Ecologie et Environnement. Univ. ABDERAHMANE MIRA de BEJAIA.
- [15] BOU KHEIR R. & MICHEL-CLAUDE G., 2002 : Utilisation d'une classification structurale OASIS pour la cartographie de la densité de drainage dans une région représentative du LIBAN. Conseil National de la Recherche Scientifique Libanais/Centre National de Télédétection, Institut National Agronomique PARIS-GRIGNON, France.
- [16] BOUMESSENEGH A., 2007: Les inondations dans la ville de BISKRA, Causes et Impacts. Mém. de Magister. Univ. BISKRA.
- [17] Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2007: Méthode d'analyse : Détermination de l'alcalinité totale par titrage à l'acide nitrique, du pH et de la conductivité dans l'eau : Méthode avec un tritrateur automatique, Éd 2007.
- [18] CHEVALLIER, P. & RODIER JEAN A. 1996 : L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement. Publication n ° UK.IAHS 238ISBN 0-947571-99-X. International Association of Hydrological Sciences, FRANCE.
- [19] Collectif AFNOR , 1999: La qualité de l'eau. Ed. AFNOR, PARIS, Tome 1.
- [20] DESJARDINS R. 1988: Le traitement des eaux, 2<sup>ème</sup> Edition MONTREAL, CANADA.
- [21] DIB I., 2010 : L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de GADAINA-AIN YAGHOUT (Est Algérien), Thèse de Magister en Hydraulique. Univ. HADJ LAKHDAR BATNA.
- [22] Direction de la Planification et de l'aménagement de territoire, Annuaire statistique de la Wilaya de BEJAIA, Résultats D.P.A.T. 2008.
- [23] Direction de l'environnement 2010.
- [24] Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de BEJAIA. D.H.W.2010.
- [25] Direction du Service Agricole : Etat d'exploitation des huileries. Annuaire de la Wilaya de BEJAIA, Résultats D.S.A. 2010.
- [26] DORE M., 1989 : Chimie des oxydants, et traitement des eaux, Ed LAVOISIER.
- [27] EL ASSLOUJ J., KHOLTEI S., EL AMRANI N. et HILALI A-R, 2007 : Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des MZAMZA, au voisinage des eaux usées. Afrique SCIENCE 03(1) 109 – 122, ISSN 1813-548X.

- [28] ENAC/ISTE/HYDRAM HYDROTHERQUE 2003 : Base de données d'exercices en Hydrologie. École Polytechnique Fédérale de LAUSANNE.
- [29] ENAC/ISTE/HYDRAM HYDROTHERQUE, 2003 : Délimitation d'un bassin versant et calcul de ses caractéristiques morphologiques – Application au bassin du Parimbot à Eschiens (FR, SUISSE). École Polytechnique Fédérale de LAUSANNE.
- [30] FRESENIUS W., SCHNEIDER W., BÖHNKE B. & PÖPPINGHAUS K., 1990 : Technologie des eaux résiduaires – Production, collecte, traitement et analyse des eaux résiduaires, Institut Fresenius GmbH Taunusstein-Neuhof, Forschungsinstitut für Wassertechnologie an der RWTH Aachen (FiW), Ed SPRINGER-VERLAG BERLIN, 1137 pages.
- [31] GAAGAI A., 2009 : Etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de BABAR sur Oued El ARAB région Est de l'ALGERIE. Mém. de Magistère en hydraulique, Univ. de BATNA.
- [32] GOUAIDIA L., 2008 : Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de MESKIANA Nord-Est Algérien. Thèse Doctorat en sciences. Univ. BADJI MOKHTAR-ANNABA.
- [33] HADJ-SAID S., 2007: Contribution à l'étude hydrogéologique d'un aquifère en zone côtière : Cas de la nappe de GUERBES. Thèse de Doctorat en Hydrogéologie. Univ. BADJI MOKHTAR-ANNABA.
- [34] HAMGA W. & BELLACHE D., 2010 : Procédés d'amélioration de la qualité physico-chimique de l'eau industrielle de l'unité DANON DJURDJURA, Mémoire d'Ing. en génie des procédés, Univ. ABDERAHMANE MIRA de BEJAIA.
- [35] HAOUES C., 2008 : Evaluation par analyse multicritères du risque d'érosion dans la vallée de l'oued LABIOD (Approche systémique). Mémoire de Magister en aménagement du territoire. Univ. Colonel El HADJ LAKHDAR de BATNA.
- [36] HEBERT S. & LEGERE S., 2000 : Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petit cours d'eau. QUEBEC.
- [37] HINGRAY B., PICOUET C. & MUSY A., 2009: Hydrologie 2 - Une science pour l'ingénieur, Volume 2.ÉditeurPPUR presses polytechniques, 2009ISBN2880747988, 9782880747985. 600 pages.
- [38] HUGGENBERGER P., SIEGENTALER C. & STAUFFER F., 1988: Grundwasserströmung in Schottern; Einfluss von Ablagerungsformen auf die Verteilung der Grundwasserfliessgeschwindigkeit. Wasserwirtschaft, 78/5: 202-212.



- [39] International Organization for Standardization, 1986 : Qualité de l'eau, Dosage du phosphore, Partie 1 : Dosage Spectrométrique à l'aide du molybdate d'ammonium, Partie 1, 22 pages. Ed: 1 MONOLINGUE.
- [40] ISL/LEM, 2007 : Protection du couloir KHERRATA SOUK EL TENINE contre les crues de l'oued AGRIOUN, Mission C : Etude hydrologique. Bureau d'ingénieurs Conseils .
- [41] ISL/LEM, 2007 : Schéma de réalisation dynamique des crues de la LOIRE dans le département de la haute LOIRE, étape A2 : Efficacité hydraulique des sites. Rapport 2007. Bureau d'ingénieurs Conseils.
- [42] JÄCKLI H. 1970: Kriterien zur Klassifikation von Grundwasservorkommen. *Eclogae Geol. Helv.*, 63/2: 389-434.
- [43] KISANGALA M., 2008: Analyse des paramètres morphométriques, climatologiques et hydrométriques du bassin du KASAÏ, dans sa partie CONGOLAISE. Mém. de Diplôme d'Etudes Approfondies. Univ. KINSHASA.
- [44] LABORDE J.P., 2000: Eléments d'hydrologie de surface. Univ. de NICE-SOPHIA ANTIPOLIS, Centre National de la Recherche Scientifique, Ed 2000.
- [45] LAPEGUE P. & RIBSTEIN P., 2006 : La qualité et les analyses d'eau : Action contre la Faim Espagne au Mali. Master 2 en Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie. Univ. Pierre et Marie Curie, École des Mines de Paris & École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts.
- [46] LE COQE R., 1967 : Manuel d'analyse alimentaire et d'expertises usuelles. DOIN, PARIS.
- [47] LO R. & EL MABROUK S., 2003: Etude hydrologique du bassin versant de la commune de BAHO. INP ENSEEIHT.
- [48] MADET N. & TEISSIER T., 2004: Chimie analytique instrumentale, Notions de Spectrophotométrie UV-Visible, Licence IUP SIAL. Univ. de CRETEIL-PARIS XII
- [49] MATTHESS G., 1973: Die Beschaffenheit des Grundwassers. Lehrbuch der Hydrogeologie. Band 2. Gebr.Borntraeger. Stuttgart
- [50] MAZA, M., BENHAMICHE NADIR., HAMDI L., SAOU A., GRABA M. & OULEBSIR F. 2010 : Les ressources en eau, enjeu du développement : Cas de l'oued Djemaa Wilaya de BEJAIA, Université A. MIRA de BEJAIA. Rapport 2010.

- [51] MEHEMAI F., 2009 : Essai de modélisation de l'écoulement et risques d'inondation dans le piémont Nord-Est des AURES, approche géosystémique. Mém. de Magister en aménagement des milieux physiques. Univ. de BATNA.
- [52] MEMOTEC, 2007 : Le problème de la turbidité dans la production d'eau destinée à la consommation humaine. [www.gls.fr](http://www.gls.fr).
- [53] MERKEL B. & PLANER-FRIEDRICH B., 2008: Groundwater Geochemistry - A Practical Guide to Modeling of Natural and Contaminated Aquatic Systems. ISBN: 978-3-540-74667-6. 2<sup>nd</sup>. Ed.
- [54] MORIN N., 1994: Qualité de l'eau, d'irrigation, GOLF MANAGEMENT.
- [55] MOUNI L., 2000 : Etude et caractérisation physico-chimique des rejets dans l'Oued SOUMMAM. Thèse de Magistère en Génie des Procédés. Univ. de BEJAIA ; 149 pages.
- [56] MOUTIN T., JOUANDET M.P. & BEKER B., 2008 : Travaux pratiques de chimie des eaux.
- [57] MOUTIN T., 2009: Carbon and phosphate incorporation rates of microbial assemblages in contrasting environments in the Southeast Pacific Author. Journal: Marine ecology. Progress series (Halstenbek) ISSN: 0171-8630. 375 Page: 53 DOI: 10.3354/meps07765
- [58] MUSY A. & HIGY C. 2004: Hydrologie: Une science de la nature. Presses Polytechniques et Univ ROMANDES, 326 pages.
- [59] NICOLARDOT B. et al, 2000: Disponibilité en azote des effluents urbains, agro-industriels et issus d'élevage, Dossier de l'environnement de l'INRA N°25.
- [60] Office National de la Météorologie de SETIF.O.N.M. 2010.
- [61] PHILLIPS O. M. 1991: Flow and Reactions in Permeable Rocks, CAMBRIDGE University Press. CAMBRIGDE.
- [62] PI NTA M., 1954 : Quelques aspects analytiques de la spectrophotométrie de flamme, principe du montage de la source d'émission, récepteurs photoélectriques possibles, précautions à prendre dans les analyses en série, applications analytiques de la méthode, Photométrie de flamme, laboratoire de spectrographie de l'O. R. S O. M.1954.
- [63] PUIL C., 1998 : La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration. Mém. D.U.E.S.S. "Eau et Environnement", D.E.P. Univ. Picardie, Amiens, 62 pages.

- [64] RAMADE F., 1984 : Elément d'écologie; écologie fondamentale ". Ed : MAC GRAW-HILL. PARIS.
- [65] RODIER J., BEUFFE H., BOURNAUD M. & BROUTIN J.-P., 1984 : L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 7<sup>ème</sup> Ed : DUNOD, PARIS. Année de publication : Cop.1984 Importance : VIII-1365pages. ISBN/ISSN/EAN : 978-2-04-015615-2.
- [66] RODIER J., BAZIN C., BROUTIN J-P. CHAMBON P. & RODI L., 1996: L'analyse de l'eau : Eaux naturelles eaux résiduaires eaux de mer, 8<sup>ème</sup> Ed DUNOD, PARIS. Année de publication : 1996 Importance : XLVII-1383 Pages. ISBN/ISSN/EAN : 978-2-10-002416-2.
- [67] RODIER J., LEGUBE B., MERLET N. & Coll, 2009 : L'analyse de l'eau : Eaux naturelles eaux résiduaires eaux de mer, 9<sup>ème</sup> Ed DUNOD, PARIS. 1526 Pages. ISBN 13 : 9782100072460
- [68] SALGHI R., 2006 : Cours d'analyses physico-chimique des denrées alimentaires, AGADIR
- [69] SCHÜREN M., 2000 : Détermination des paramètres hydrauliques et hydrochimiques d'un aquifère alluvial dans une vallée alpine (Valais, SUISSE), Thèse de Doctorat d'état Univ. NEUCHATEL.
- [70] Station météorologique sise à l'aéroport de BEJAIA, 2010.
- [71] STAUB M., 2007 : Amélioration de la compréhension des phénomènes hydrologiques dans un bassin versant du Sud-Est Asiatique sous régime de MOUSSON. Mém. d'Ing de l'ENGEES et du diplôme de Master recherche de l'INPL. Ecole nationale du génie de l'eau et de l'environnement de STRASBOURG et institut national polytechnique de LORRAINE.
- [72] STEWART PH., 1968 : Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique quelques réflexions. Bull. Soc, hùt. Hat, Afr. N Alger. 59 : 23-36.
- [73] TARDAT-HENRY M., 1984 : Chimie des eaux, Ed DOING.
- [74] TARDAT-HENRY M. & PAUL-BEAUDRY J., 1984 : Chimie des eaux, Ed. Le GRIFFON D'ARGILE.
- [75] THOMAS O., 1995 : Métrologie des eaux résiduaires, Ed. CEBE DOSPOL.
- [76] VILAGENESES, R., 2003 : Eau, environnement et santé publique ; introduction à l'hydrologie, 2<sup>ème</sup> Ed (Editions médicales internationales), LAVOISIER.

# ANNEXES

Tableau (1) : Répartition des altitudes en fonction de la surface

Tranche d'altitude	$S_i$ (km <sup>2</sup> )	$\sum S_i$ (km <sup>2</sup> )	$S_i/S_t$ (km <sup>2</sup> )	$S_i/S_t$ (%)	$\sum S_i/S_t$ (%)	$H_{moy}$ (m)	$S_i \times H$ (km <sup>3</sup> )
					0	1698	
<b>1698-1250</b>	20,68	20,68	0,11	11,82	11,82	1474	30482,32
<b>1250-1100</b>	34,89	55,57	0,19	19,94	31,77	1175	40995,75
<b>1100-1000</b>	25,45	81,02	0,14	14,55	46,32	1050	26722,5
<b>1000-900</b>	30,64	111,66	0,17	17,51	63,84	950	29108
<b>900-750</b>	14,08	125,74	0,08	8,05	71,89	825	11616
<b>750-600</b>	19,8	145,54	0,11	11,32	83,21	675	13365
<b>600-450</b>	12,29	157,83	0,07	7,02	90,24	525	6452,25
<b>450-300</b>	9,82	167,65	0,05	5,61	95,85	375	3682,5
<b>300-0</b>	7,25	174,9	0,04	4,14	100	150	1087,5
							163511,82

Tableau (2) : Classification d'ORSTOM

Classe	Type de relief	Intervalle de $D_s$
R1	Relief très faible	05 à 10m
R2	Relief faible	010 à 25m
R3	Relief assez faible	025 à 50m
R4	Relief modéré	050 à 100m
R5	Relief assez fort	100 à 250m
R6	Relief fort	250 à 500m
R7	Relief très fort	500 à 750m

Tableau (3) : Variation d'altitude du cours d'eau de l'Oued Djemaa

Longueur du cours d'eau	Altitude
0	0
2,83	11
5,27	41
10,2	56
11,2	68
13,53	112
19,93	210
23,18	281
24,08	283
28,48	365
29,84	388
33,39	500
36,39	613
38,34	753
39,29	1149

Tableau (4) : Répartition générale des terres

Commune	S.A.U. ha	Packages Et Parcours	Terres Improduc. Des Exploit.	Superf. Forestières	Terres non affectées à l'Agriculture
TICHY	938	486	10	2692	1540
BOUKHLIFA	1606	1811	60	6808	1353
AMIZOUR	8621	329	164	760	1062
BARBACHA	3587	860	20	2856	1054
KENDIRA	1839	450	15	2040	212

Tableau (5) : Répartition de la population du bassin versant de l'Oued Djemaâ

Commune	Population (Hab)	Superficie (km <sup>2</sup> )	Densité (Hab / km <sup>2</sup> )
TICHY	16 546	56,66	292
BOUKHLIFA	11 864	116,38	102
AMIZOUR	39 834	109,36	364
BARBACHA	22 947	83 ,77	274
KENDIRA	9 513	45 ,56	209
AOKAS	17039	27 ,87	611

Tableau (6) : Unités industrielles du secteur public

Noms des unités	Produits capacités initiales installées	Effectifs
SOCERCA société des céramiques et carreaux sol AMIZOUR	Carreaux sols (30 x30) :800.000 m <sup>2</sup> / an	<b>176</b>
Laiterie domaine -	Lait pasteurise conditionne : 50.000 l/j Lait fermenté : 5.000 l/j	<b>55</b>

Tableau (7) : Principales entreprises du secteur des PME / PMI (prive)

Nom de l'unité	Produits et services(t/ an)	Employée	Capacité (t/an)
Nouvelle briqueterie nbs zac AMIZOUR	Briques creuses 50.000	102	40.176

Tableau (8) : Producteurs d'agrégats

Nom de l'exploitant	Statut juridique	Localisation administrative
-	SARL	AOKAS

Tableau (9): Principales huileries dans la région d'étude

Commune	Localité	Type d'huilerie	Lieu de rejet	Impact sur la ressource	Mesures prises
<b>AOKAS</b>	TALA OUGHANIME	Traditionnelle	Champs privé	Neant	–
	TALA KHALED	Automatique	Rejet vers l'Oued	Risque de pollution de la nappe	Mis en demeure
	TABELLOUT	Traditionnelle	Champs privé	Neant	–
<b>TICHY</b>	TAHELKETS	Traditionnelle	Champs privé	Neant	
	TAHELKETS	Traditionnelle	Champs privé	Neant	
<b>BOUKHLIFA</b>	TAGMA	Traditionnelle	Champs privé	Neant	–
<b>AMIZOUR</b>	IGHIL IAALOUANENE	Traditionnelle	Terrain privé		Les propriétaires sont mis en demeure
	MERDJ OUAMENE	Semi-automatique	Ravin		
	MERDJ OUAMENE	Semi-automatique	Terrain privé		
	AFRA	Traditionnelle	Terrain privé		
	TAHAMAMT	Semi-automatique	Terrain privé		
	BOUDELSEN	Traditionnelle	Terrain privé		
	TADERT TAMOKRANT	Semi-automatique	Terrain privé		
<b>BARBACHA</b>	AIT SIDI ALI	Automatique	Terrain privé		Les propriétaires sont mis en demeure
	AIT SIDI ALI	Traditionnelle	Terrain privé		
	BARBACHA centre	Traditionnelle	Terrain privé		
	KHELLIL	Traditionnelle	Terrain privé		
	KHELLIL	Traditionnelle	Terrain privé		
	AMARAT	Traditionnelle	Terrain privé		
	TAZIBT EL HAD	Traditionnelle	Terrain privé		
	BOUGHIDEN	Traditionnelle	Terrain privé		
<b>KENDIRA</b>	AGUEMOUN	Semi-automatique	Ravin		Les propriétaires sont mis en demeure
	TALA N'ZEKA	Traditionnelle			
	BAYOU	Traditionnelle	Terrain privé		

Tableau (10) : Occupation des sols par commune

	Occupation des sols (hectare)								
	Céréales	Légumes	Fourrage	Agrumes	Cultures Maraichère.	Vigne de Table	Olive	Figuier	Cculture Industrielle
<b>TICHY</b>	10	20	70	9	115	3	150	111	0
<b>BOUKHLIA</b>	14	33	121	48	329	6	190	45	0
<b>AOKAS</b>	10	0	155	55	180	12	391	200	0
<b>AMIZOUR</b>	1020	55	1520	416	254	300	2308	480	25
<b>BARBACHA</b>	140	50	520	0	42	4	327	1500	0
<b>KENDIRA</b>	40	6	262	1	24	5	337	794	0

Tableau (1) : Les normes de qualité de l'eau de source et de puits journal officiel de la république Algérienne N°51 20 Août 2000

Caractéristiques	Unité	Concentration
pH	Unité pH	6.5<pH<8.5
Conductivité (à 20°C)	µs/cm	Au maximum 2800
Chlorures	mg/l	200 à 500
Sulfate	mg/l	400
Bicarbonates	mg/l	250
Phosphate	mg/l	0,4
Nitrates	mg/l	50
Fer	mg/l	0,3
Calcium	mg/l	100
Potassium	mg/l	20

Tableau(2) : Les normes de qualité de l'eau potable selon (O.M.S).

Paramètre	Unité	OMS
pH	Unité pH	6.5-9
Conductivité	µs/cm à 20°	-
Oxydabilité	mg d'O2 /l	5
Dureté total	°F	50
Calcium	mg/l	-
Magnésium	mg/l	-
Alcalinité	°F	50
Chlorures	mg/l	250
Sulfates	mg/l	400
Nitrates	mg/l	40
Nitrites	mg/l	3
Fer	mg/l	0.3



*Tableau(3) : Les normes françaises de l'eau potable*

<b>Substances</b>	<b>Teneurs limites maximum (mg/l)</b>
Minéralisation totale	1000
Chlorures en Cl	250
Sulfates en SO <sub>4</sub>	350
Nitrates en N	10
Nitrates en NO <sub>3</sub>	44
Magnésium	125
Dureté 30 °français	traces
Fer en Fe	0.2

Tableau (1) : Mode d'échantillonnage

<b>Elément analysé</b>	<b>Récipient</b>	<b>Conservateur à utiliser</b>	<b>Volume minimum du prélèvement (ml)</b>	<b>Température de conservation (°C)</b>	<b>Effectuer la mesure avant</b>
<b>Odeur, couleur et saveur</b>	V	0	500	4	24 h
<b>pH</b>	P ou V	Mesure in situ de préférence	-	4	24 h (obs)
<b>Conductivité</b>	P ou V	Mesure in situ de préférence	100	4	24 h (obs)
<b>Turbidité</b>	P ou V	-	100	4	24 h (obs)
<b>Oxygène dissous</b>	Vb	Mesure in situ de préférence	300	4	24 h (obs)
<b>Dureté</b>	P ou V	Acide nitrique	100	-	1 mois
<b>Calcium</b>	V	Acide nitrique	800		Plusieurs mois
<b>Magnésium</b>	V	Acide nitrique	800	-	Plusieurs mois
<b>Acidité-Alcalinité</b>	P ou Vb	-	200	4	24 h (obs)
<b>TA-TAC-TH</b>	P ou V	Mesure in situ de préférence	200	4	24 h (obs)
<b>Chlorures</b>	P ou V	-	100	-	15 jours
<b>Sulfates</b>	P ou V	-	200	4	7 jours
<b>Nitrates</b>	P ou V	-	-	4	48 h
<b>Phosphates</b>	P ou V	-	100	4	48 h
<b>Potassium</b>	V	Acide nitrique	800	-	Plusieurs mois

P: Polyéthylène

V: Verre

Vb: Verre borosilicaté

Obs : Obscurité

Tableau (2) : Préparation des solutions

<b>1 Chlorure</b>		
<b>Méthode de MOHR</b>		
<b>Réactifs :</b>		
• Solution de nitrate d'argent 0,01N :		
Nitrate d'argent		1,6987g
Eau distillée	qsp	1000ml
• Solution de chromate de potassium à (10%) :		
Chromate de potassium		10 g
Eau distillée	qsp	100 ml
<b>2 Bicarbonate</b>		
<b>Réactifs :</b>		
• Solution d'acide chlorhydrique à 1N		
• Solution d'acide chlorhydrique à 0,1N		
HCl à 1N		100ml
Eau distillée	qsp	1000ml
<b>3 Calcium</b>		
<b>Méthode : Dosages complexométrique</b>		
<b>Réactifs :</b>		
• Solution d'EDTA à 0,02N		
Na <sub>2</sub> EDTA		3,725g
Eau distillée		1000ml
• Solution d'hydroxyde de sodium 2N		
NaOH en pastille		80g
Eau distillée		1000ml
• Solution tampon ammoniacale pH 10,1		
Chlorure d'ammonium (NH <sub>4</sub> Cl)		67,5g
NH <sub>4</sub> OH à 25%		570ml
Eau distillée	qsp	1000ml
• Murexide		
<b>4 Magnésium</b>		
<b>Méthode : Dosages complexométrique</b>		
<b>Réactifs :</b>		
• Solution d'EDTA à 0,02N		
Na <sub>2</sub> EDTA		3,723g
Eau distillée	qsp	1000ml
• Solution d'oxalate d'ammonium (50g/l)		
• Solution tampon ammoniacale pH 10		
NH <sub>4</sub> Cl		16,9g
NH <sub>4</sub> OH à 25%		143ml

• Indicateur de noir-EriochromeT 1/200	
<b>5 Sodium</b>	
<b>Méthode (Photomètre de flamme)</b>	
<b>Réactifs :</b>	
Acide nitrique.	
• Solution étalon de sodium à (1 g/l) :	
Chlorure de sodium pur déshydraté	2,542 g
Eau désionisée q.s.p.	1000 ml
<b>6 Potassium (Photomètre de flamme)</b>	
<b>Méthode</b>	
<b>Réactifs :</b>	
Acide nitrique.	
• Solution étalon de potassium à (1 g/l) :	
Chlorure de potassium déshydraté	1,907 g
Eau désionisée q.s.p	1000 ml
<b>7 Nitrate</b>	
<b>Méthode au salicylate de sodium</b>	
<b>Réactifs :</b>	
• Solution de salicylate de sodium à 0,5% à renouveler toutes les 24 heures.	
salicylate de sodium	0,5
Eau distillée qsp	100ml
• Acide sulfurique concentré (d=1,84).	
• Solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium :	
Hydroxyde de Sodium	400 g
Tartrate double de sodium et de potassium	60 g
Eau distillée	1000ml
Faire dissoudre les sels dans de l'eau. Laisser refroidir et compléter à 1000ml A Conserver dans un flacon en polyéthylène.	
• Solution mère étalon d'azote nitrique à 0,1 mg/l :	
Nitrate de potassium anhydre	0,722 g
Eau distillée qsp	1000ml
Chloroforme (Pour conserver)	1 ml
• Solutions fille étalon d'azote nitrique à 0,005g/l Amener 50 ml de la solution mère à 1000 ml de l'eau distillée.	
<b>8 Sulfate</b>	
<b>Méthode par spectrophotomètre UV</b>	
<b>Réactifs :</b>	
• Solution stabilisante acide : Dans une solution de 30 ml de HCl concentré. Dans 300ml d'eau distillée,	

dissoudre 75g de NaCl, ajouter 100 ml d'alcool (Ethanol à 95% ou alcool isopropylique) puis 50ml de glycérine.	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Chlorure de baryum <math>BaCl_2</math>, de pureté garantie.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Solution étalon de sulfate : Dissoudre 1,479g de <math>Na_2SO_4</math> anhydre dans l'eau distillée. Ajuster à 1ml .cette solution à 1000mg/l de sulfate. par dilution, on peut préparer une solution à 100 mg/l.</li> </ul>	
<b>9 Phosphate</b>	
<b>Méthode au molybdate d'ammonium</b>	
<b>Réactifs :</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Solution mère de phosphate Dissoudre 0,07165 g d'hydrogénophosphate de potassium sec (<math>KH_2 PO_4</math>) dans 10ml d'eau distillée (Dans un bêcher, transférer la solution dans une fiole jaugée de 100ml de <math>CHCl_3</math>).</li> </ul>	
- Solution standard de phosphate :	
Solution mère de phosphate	1 ml
Eau déshuilée	100 ml
- Solution d'acide molybdate :	
Acide sulfurique concentré	25 ml
Eau distillée qsp	40 ml
(1) Ajouter l'acide sulfurique à l'eau distillée, laisser la solution refroidir	
Molybdate d'ammonium $(NH_4)_6 ,MO_7 O_{24},4H_2O$	2,5 g
Eau distillée qsp	7,5 ml
(2) Dissoudre le molybdate d'ammonium dans l'eau distillée. Mélanger les solutions (1) et (2). Laisser refroidir, diluer à 100ml.	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Solution de chlorure stanneux</li> </ul>	
Chlorure stanneux ( $Sn Cl_2, 2H_2O$ )	0,25 g
Glycérol	10 ml
Chauffer le mélange dans un bain marie jusqu'à dissolution complète du stanneux.	

Tableau (3) : Courbe d'étalonnage du potassium

<b>Concentration (mg/l)</b>	0	0,5	1	2	4
<b>Absorbance (%)</b>	0	0,009	0,015	0,030	0,056

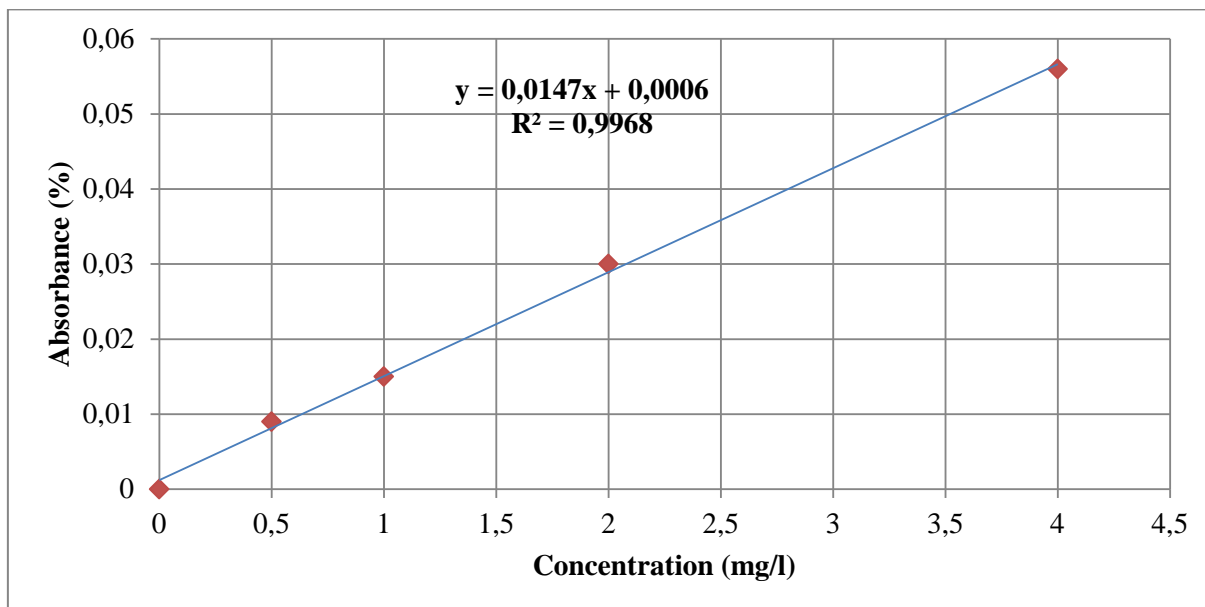


Figure (1) : Courbe d'étalonnage du potassium

Tableau (4) : Etablissement de la courbe d'étalonnage du sodium

<b>Concentration (mg/l)</b>	0	10	30	50	70	100
<b>Absorbance (%)</b>	0,01	0,08	0,22	0,39	0,52	0,74

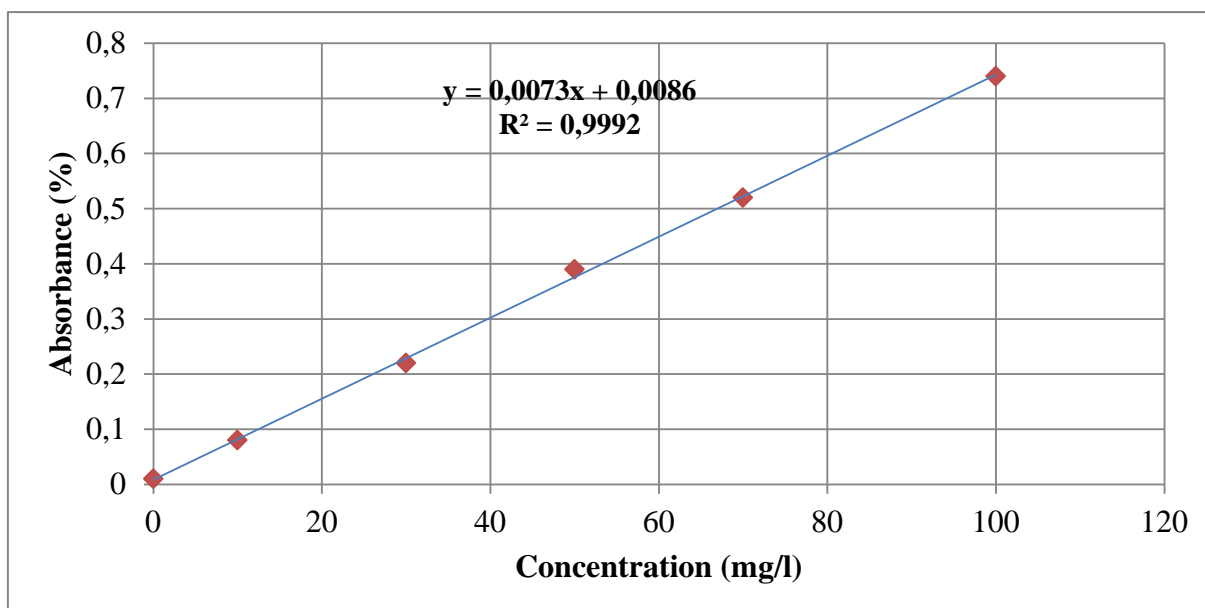


Figure (2) : Courbe d'étalonnage du sodium

Tableau (5): Etablissement de la courbe d'étalonnage des nitrates

<b>Concentration (mg/l)</b>	0	0,5	1,5	3	5	8
<b>Absorbance (%)</b>	0	0,070	0,225	0,401	0,612	0,956

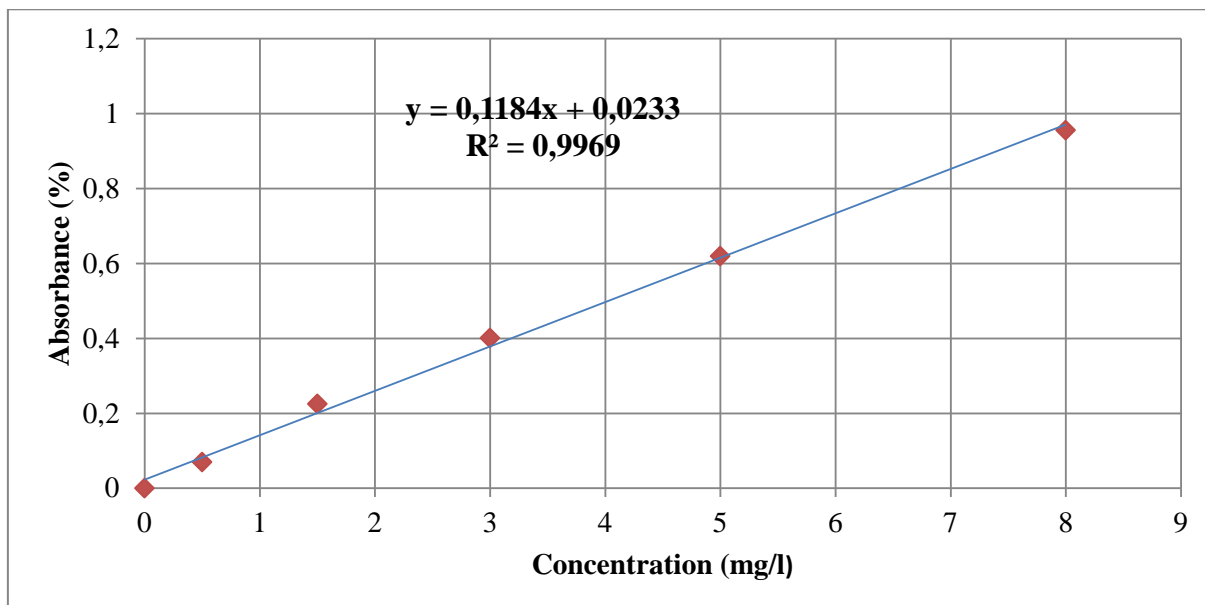


Figure (3) : Courbe d'étalonnage des nitrates

Tableau (6) : Etablissement de la courbe d'étalonnage des sulfates

<b>Concentration (mg/l)</b>	0	50	100	150	200	250	300
<b>Absorbance (%)</b>	0	0,232	0,334	0,520	0,650	0,802	0,943

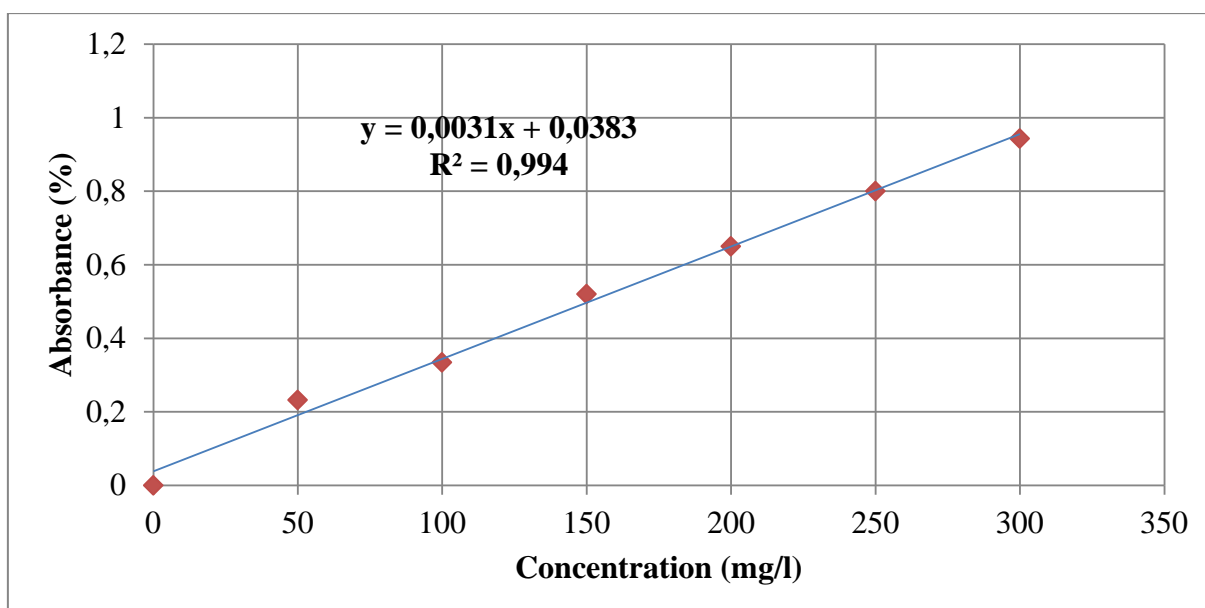


Figure (4) : Courbe d'étalonnage des sulfates

Tableau (7): Etablissement de la courbe d'étalonnage des phosphates

<b>Concentration (mg/l)</b>	0	0,1	0,2	0,3	0,4
<b>Absorbance (%)</b>	0	0,06	0,11	0,161	0,214

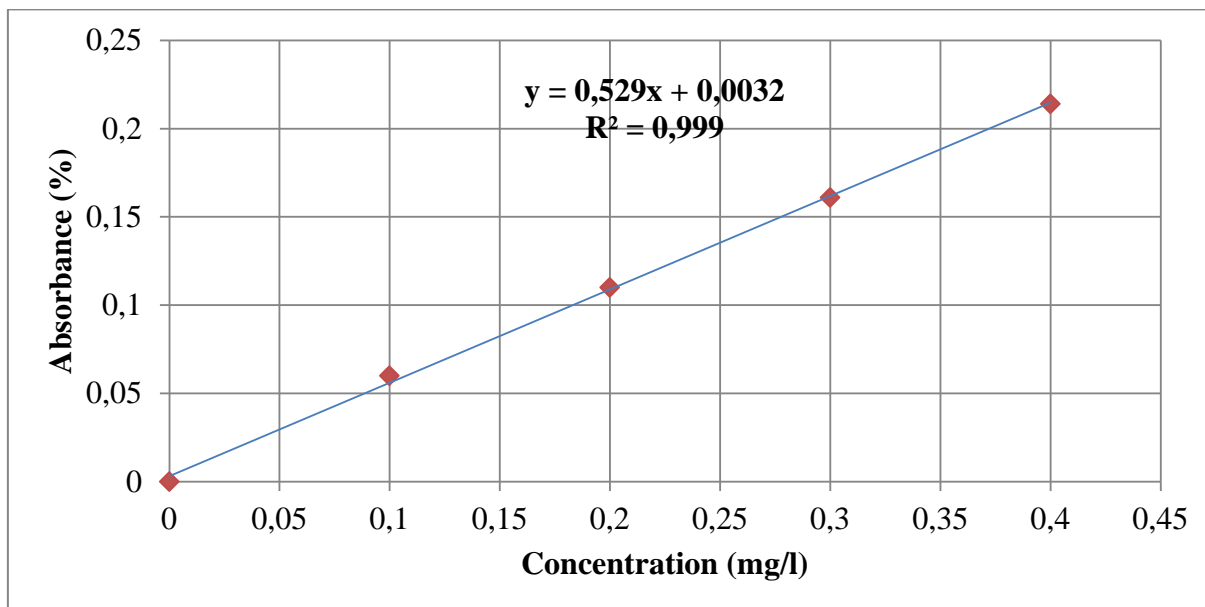


Figure (5): Courbe d'étalonnage des phosphates

Tableau (8): Convertisseur des valeurs affichées pour la DBO<sub>5</sub>

<b>Volume de l'échantillon à prendre (ml)</b>	<b>Gamme de mesure (mg/l)</b>	<b>Facteur</b>
432	0 - 40	1
365	0 - 80	2
250	0 - 200	5
164	0 - 400	10
97	0 - 800	20
43,5	0 - 2000	50



### Résumé

La présente étude porte sur l'hydrochimie du bassin versant de l'Oued Djemaa, situé à l'extrémité Nord - Est de BEJAIA. Il couvre une superficie d'environ 175 km<sup>2</sup> qui s'étend de KENDIRA jusqu'à la plaine littorale de BEJAIA à l'aval. Le choix de ce thème de recherche a été guidé par le souci de mieux comprendre les caractéristiques physico-chimiques, ainsi que les questions d'ordre environnemental, à savoir la présence de polluants et leurs origines. Nous avons ainsi pu étudier l'évolution des paramètres physico-chimiques au cours de deux campagnes d'échantillonnages. L'analyse hydrochimique a été réalisée dans 18 stations réparties sur l'ensemble du bassin versant de l'Oued Djemaa. Ces analyses ont concerné les concentrations en éléments majeurs et quelques éléments polluants tels que le phosphate et le fer. L'interprétation de ces données a révélé ce qui suit :

- La dominance de deux faciès chimiques, à savoir : Le faciès *Bicarbonaté Calcique* et le faciès *Sulfaté Calcique*.

- La répartition spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique de la nappe. Quant à l'aspect environnemental, les investigations sur les sources de pollution ont fait apparaître la présence de quelques polluants, tirant leurs origines des activités agricoles et des rejets urbains.

**Mots clés :** Hydrochimie, bassin versant de l'Oued Djemaa, campagnes d'échantillonnages, faciès, pollution.

### Abstract

This study focuses on the hydrochemistry of the catchment area of Oued Djemaa, located at the north end - Eastern BEJAIA. It covers an area of about 175 km<sup>2</sup> extending from KENDIRA up to the coastal plain of BEJAIA downstream, along the Mediterranean.

The choice of this research theme has been guided by the need to better understand the physico-chemical characteristics, and environmental issues, namely the presence of pollutants and their origins. We were able to study the evolution of physicochemical parameters during two sampling campaigns. Hydrochemical analysis was performed in eighteen stations located throughout the watershed of Oued Djemaa. These tests were recorded for concentrations of major elements and some elements pollutants such as phosphate and iron. The interpretation of these data revealed the following:

- The dominance of two chemical facies, namely the Calcium Bicarbonate facies and the Calcium sulphate.

- The spatial distribution of chemical elements confirmed that the origin of these facies is strongly related to the lithology of the aquifer.

As for the environmental aspect, the investigations of pollution sources have revealed the presence of some pollutants, taking their origin in agricultural activities and urban waste.

**Key words:** Hydrochemistry, catchment area of Oued Djemaa, sampling campaigns, facies, pollution

### ملخص

هذه الدراسة تتركز أساسا على هيدروكيمياء حوض مصب وادي جمعة الذي يقع في أقصى شمالي شرق بجاية. يغطي هذا الأخير مساحة معتبرة، تقدر بحوالي 175 كم<sup>2</sup>. يمتد هذا الأخير من كنديرة جنوبا ليصل إلى السهل الساحلي لبجاية، على امتداد البحر الأبيض المتوسط. إن الحاجة إلى فهم الخصائص الفيزيائية والكيميائية، والقضايا البيئية، ومنها على سبيل المثال، وجود الملوثات ومصادرها أدى إلى إختيار هذا الموضوع بحث. وقد تمكننا من دراسة العناصر الفيزيائية والكيميائية خلال حملتين لأخذ العينات كما تم إجراء تحاليل فيزيوكيميائية في 18 محطة منتشرة في جميع أنحاء الحوض. وقد تمت هذه التحاليل على العناصر الرئيسية وبعض الملوثات مثل الحديد والفوسفات وكشف تفسير هذه البيانات ما يلي:

- هيمنة وجهين كيميائيين وهما كربونات الكالسيوم، وسلفات الكالسيوم. كما أكدت كذلك وجود ارتباطا قويا بين هذه الوجوه والخصائص الحجرية لطبقة المياه الجوفية. وفيما يتعلق بالجانب البيئي، فقد تم التحقق من وجود بعض الملوثات، و يتمثل مصدرها الأساسي في الأنشطة الزراعية والنفايات في المناطق الحضرية

**كلمات مفاتيح :** هيدروكيمياء، حوض مصب وادي جمعة، حملتين لأخذ العينات، وجهين كيميائيين عوامل ملوثة.