

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES
AGRONOMIQUES



DOMAINE : SCIENCE DE LA NATURE
ET DE LA VIE
FILIERE : SCIENCE AGRONOMIQUE
OPTION : PRODUCTION VEGETALE

N° :

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : M^{elle} HEMICHE MARWA

M^{elle} HICHAR RAWDHA

M^{elle} HOUICHI IMANE

Intitulé

Contribution à l'étude de la contamination des
eaux souterraines à usage agricole par les
nitrates dans la plaine de Bousàada
(Sud-Est Algérien)

Soutenu devant le jury composé de :

Mme. MEZRAG F.	M.C.A	Université de M'sila	Président
M ^r . AMROUNE A.	M.A.A	Université de M'sila	Rapporteur
Mme. TIR C.	M.A.A	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2017/2018

Remerciements

Au début, nous remercions Allah de nous avoir donnés la force, la santé et la volonté afin d'accomplir ce mémoire.

*Nous tenons très sincèrement à remercier notre promoteur **Mr.AMROUNE Abdelouahab** d'avoir accepté de nous encadrés. Nous tenons aussi de lui remercier pour ses orientations, ses observations et sa patience, ainsi que son suivi tout le long de notre travail*

Nous avons l'honneur que le jury soit présidé par Mme.MEZRAG Fadila et Melle TIR Chafia d'avoir accepté d'examiner ce travail.

En fin nous remercions chaleureusement toutes les enseignants qui ont veillés sur notre formation et toutes celles qui ont participées de près ou de loin par leurs aides et soutiens à élaborer ce mémoire dans les meilleures conditions.

DEDICACES

*Au nom d'Allah, qui nous a éclairé les chemins du savoir et de la sagesse,
Je dédie ce mémoire à : Mes très chers parents Qui n'ont jamais cessé de me
soutenir pour que je puisse finir mes études et avoir une bonne formation et à qui
je voudrais exprimer mes affections et mes gratitudes. Merci encore mille fois.*

A ma grande mère

À mon plus cher Mari ABD ELHALIM

Mes très chers frères Alaeddine et Tarek et sa petite fille Marame

À Mes très chères sœurs Ibtissame et Zinebe

Et mes belles soeurs Somaia et Ratiba et leurs enfants

Loaye et Ranime

A toute ma famille À ma deuxième famille BRIKAT

*Tous mes amis et tous ceux qui me sont chers : Maryeme ,Manel, Fatima, Ibtissame
et Nowara*

*Tous les collègues de la promotion de production végétale : 2017-2018 qu'ont
partagé avec moi les longues années d'étude*

*A tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin et m'ont souhaité toujours la
réussite et le bonheur.*

HICHAR RAWDHA

DEDICACE

*Je m'incline devant Dieu tout puissant qui m'a ouvert la porte du savoir et m'a aidé
la franchir.*

Je dédie ce modeste travail :

Mes chers parents, pour leur endurance et leurs sacrifices sans limites

Mes frères et soeurs, en reconnaissance de leur affection toujours constante

Tous mes proches

Mes amis

Mes camarades de promotion

*Tous mes enseignants surtout Mr AMROUNE.A pour encadrement tous ceux qui
m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire*

HOUICHI IMANE

DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à :
A mes très chers parents
A mes très chères sœurs
A ma grande famille
A tous mes amis
Et à tous ce qui m'ont enseigné
A tous ceux qui m'aiment et que j'aime
A vous.*

HEMICHE MARWA

Sommaire

	Page
Sommaire	i
Liste des abréviations	vii
Liste des figures	ix
Liste des tableaux	xii
Introduction générale	01
Partie I. Synthèse bibliographique	
1.1 Introduction	03
1.2 Ressources en Eau	03
1.2.1. Définition	03
1.2.2. Cycle de l'eau	03
1.2.2.1. Les eaux de pluie	04
1.2.2.2. Les eaux superficielles	04
1.2.2.3. Les eaux souterraines	05
1.2.2.3.1. Nappes phréatiques	05
1.2.2.3.2. Nappes captives	05
1.2.3. Usage de l'eau	06
1.2.4. Ressources hydrauliques	06
1.3. L'irrigation en Algérie	07
1.3.1. Superficie Irriguée	08
1.3.2. Caractéristiques des eaux d'irrigation	08
1.3.3. Qualité des eaux souterraines	10
1.4. Pollution des eaux	10
1.4.1. Définition	10
1.4.2. Sources de pollution	10
1.4.2.1. Pollution ponctuelle	10
1.4.2.1.1. Pollution urbaine	10
1.4.2.1.2. Pollution industrielle	11
1.4.2.2. Pollution diffuse	11
1.4.2.2.1. Pollution agricole	12
1.4.2.2.2. Pollution atmosphérique	12
1.4.3. Les principaux polluants des eaux	12

1.4.3.1. Les matières en suspension	12
1.4.3.2. Les matières organiques	12
1.4.3.3. Matières fertilisantes	13
1.4.3.4. Polluants métalliques et les polluants chimiques persistants	13
1.4.3.5. Les sels minéraux	13
1.4.3.6. Polluants microbiologiques de l'eau	13
1.4.4. Lutte contre la pollution (prévention à la pollution)	13
1.5. L'azote	14
1.5.1. Différentes formes de l'azote	14
1.5.1.1. Gazeuse	14
1.5.1.2. Minérale	14
1.5.1.3. Organique	14
1.5.2. Cycle de l'azote	14
1.5.2.1. Minéralisation	14
1.5.2.1.1. Ammonification	15
1.5.2.1.2. Nitrification	15
1.5.2.1.3. Nitritation	15
1.5.2.1.4. Nitratisation	16
1.5.2.2. Immobilisation	16
1.5.2.2.1. Dénitrification	16
1.5.2.2.2. Absorption de l'azote par les plantes	16
1.5.2.2.3. Phénomène de volatilisation	16
1.5.3. Nitrates	16
1.5.3.1. Composition chimique	16
1.5.3.2. Origine des nitrates	17
1.5.3.2.1. Nitrates provenant de l'agriculture moderne	17
1.5.3.2.2. Nitrates d'origine domestique	18
1.5.3.2.3. Nitrates d'origine animale.....	18
1.5.3.2.4. Nitrates d'origine industrielle	18
1.5.4. Effet de nitrate	18
1.5.4.1. Effets connus sur la santé humaine	18
1.5.4.1.1. Risque de méthémoglobinémie	18
1.5.4.1.2. Risque carcinogène	19
1.5.4.2. Sur les plantes	19

1.5.4.3. Sur les animaux	19
1.5.4.4. Sur les eaux naturelles	19
1.5.5. Contamination des eaux par les nitrates en Algérie	20

Partie II. Matériels et méthodes d'étude

Chapitre 1. Etude du milieu physique

2.1.1. Situation géographique	21
2.1.1.1. Caractéristiques géographiques	21
2.1.1.2. Aperçu socio-économique	22
2.1.1.2.1. Habitat	22
2.1.1.2.2. Agriculture	22
2.1.1.3. Géomorphologie	22
2.1.1.4. Réseau hydrographique	22
2.1.1.5. Sol	23
2.1.1.6. Végétation	24
2.1.1.7. Géologies	24
2.1.1.7.1. Secondaire	24
a- Trias	24
b- Jurassique	25
c- Crétacé supérieur	25
c-1 Cénomanién	25
2.1.1.7.2. Tertiaire	25
2.1.1.7.3. Quaternaire	25
a- Terrains de chott	25
b- Dunes	26
c- Cônes de déjections	26
2.1.1.7.4. Hydrogéologie	26
2.1.1.7.5. Interprétation de la colonne litho-stratigraphique	27
2.1.1.8. Conclusion	28
2.1.3. Climat et caractérisations météorologiques	28
2.1.3.1. Zone d'étude et son équipement	28
2.1.3.2. Températures	28
2.1.3.3. Précipitation	29
2.1.3.4. Interprétation de la carte pluviométrique	31

2.1.3.5. Vent	31
2.1.3.6. Evapotranspiration potentielle (ETP)	32
2.1.3.7. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)	34
2.1.3.7.1. Méthode de TURC	34
2.1.3.7.2. Méthode de Wundt	34
2.1.3.7.3. Méthode de P. Verdeil (1988)	35
2.1.4. Etude du climat de la région	36
2.1.4.1. Indice de D. MARTONNE	36
2.1.4.2. Le diagramme de L. EMBERGER	37
2.1.4.3. Diagramme Ombrothèrmique de Gaussen et Bagnouls	38
2.1.4.4. Méthode de THORNTHWAITE	39
2.1.4.4.1. Le bilan hydrique	40

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

2.2. échantillonnage	42
2.2.1. Stratégie de prélèvement	42
2.2.2. Etude des paramètres physiques	43
2.2.2.1. Température	43
2.2.2.2. Mesure de potentiel en hydrogène (pH).....	44
2.2.2.3. Mesure de la conductivité électrique (CE).....	44
2.2.2.4. Détermination de Résidu sec (R.s)	44
2.2.3. Etude des paramètres chimiques	45
2.2.3.1. Dosage volumétrique de chlorure (Cl).....	45
2.2.3.2. Dosage colorimétrique des sulfates (SO ₄)	45
2.2.3.3. Dosage colorimétrique du nitrate (NO ₃).....	45
2.2.3.4. Dosage volumétrique du calcium (Ca).....	46
2.2.3.5. Dosage volumétrique du magnésium (Mg).....	46
2.2.3.6. Potassium	47
2.2.3.7. Dosage volumétrique de carbonates et bicarbonates	47

Partie III. Résultats et discussions

3.1. caractéristiques physico chimiques	48
3.1.1. Etudes des paramètres physiques	48
3.1.1.1. La température	50
3.1.1.2. Le potentiel hydrogène (pH)	50
3.1.1.2.1. Equilibres calco-carboniques	51

3.1.1.3. La conductivité	52
3.1.1.4. La dureté totale	53
3.1.1.5. Résidus secs	53
3.1.2. Etude des paramètres chimiques	54
3.1.2.1. Le calcium	55
3.1.2.2. Magnésium	56
3.1.2.3. Le sodium	56
3.1.2.4. Le potassium	57
3.1.2.5. Chlorures	58
3.1.2.6. Les sulfate	58
3.1.2.7. Les bicarbonates	59
3.1.2.8. Les nitrate	60
3.1.2.8.1. Contamination des eaux souterraines par les nitrates.....	61
3.2. Indice d'échange de base i.e.b	63
3.3. Etude des rapports caractéristique des éléments dominants	63
3.3.1. Origine des éléments $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$	63
3.3.2. Origine du Calcium	64
3.4. Faciès chimique des eaux	65
3.4.1. Diagramme de Schoeller-Berkaloff	65
3.4.2. Diagramme de Piper	71
3.5. Aptitude de l'eau à l'irrigation	74
3.5.1. Salinité	75
3.5.2. Infiltration	75
3.5.2.1. Eaux peu salées	76
3.5.2.2. Eaux à forte teneur en sodium	76
3.5.2.2.1. Classification de Richards	76
3.6.3. Etude de la toxicité des végétaux	77
3.6.3.1. Sodium	78
3.6.3.1.1. Classification de Wilcox	78
3.6.3.2. Chlore	80
3.7. Qualité globale des eaux souterraines de la région de Bousàada	80
3.7. Alcalinité résiduelle des eaux.....	81

3.8. Indice de perméabilité.....	81
3.9. Analyse en Composantes Principales (A.C.P).....	83
3.9.1. Application de l'A.C.P aux données chimiques des eaux de la plaine de M'Sila...	83
3.9.2. Analyse statistique.....	83
3.9.3. Matrice de corrélation.....	84
3.9.4. Etude des variables et des individus.....	84
Conclusion générale	87
Recommandations	88
Références bibliographiques	89
Annexes	

Liste d'abréviation

(dS/m) : Decisiemens per mètre.

(mg/litre) : Milligramme par litre.

AEP : Alimentation en eau potable

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydraulique.

Ca (NO₃)₂ : Nitrate de calcium.

CaCO₃ : Carbonate de calcium.

Ca²⁺: Calcium.

CaSO₄: Gypse.

CE : Conductivité électrique.

CEC : Capacité d'échange cationique.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

CO₃ : Trioxyde de carbone.

D/C : double concentration.

DBO : Demande biologique en oxygène.

DCO : Demande chimique en oxygène.

ETP : Evapotranspiration potentielle.

ETR : Evapotranspiration réelle.

Fe: fer

Fe S: pyrite

H₂O: Eau

HCO₃⁻ : Bicarbonates.

K: Potassium.

KCl : Chlorure de potassium.

KNO₃ : Nitrate de potassium.

N : Azote.

N- NO-3 : Azote nitrique .

Na⁺ : Sodium .

NaCl : Sel de sodium .

NaNO3 : Nitrate de sodium.

NH3: Ammoniac.

NH4⁺ : Ammonium .

NH4NO3 : Nitrate d'ammonium .

NO2⁻ : Nitrite .

NO3⁻ : Nitrate .

NPP : Nombre Plus Probable.

O : Oxygène .

OMS : Organisation Mondiale de la Santé .

P : Phosphore .

P : Précipitation (mm) .

pH : Potentiel Hydrogène .

RAS : Ration d'Absorption du Sodium .

RFU : Réserve facilement utilisable .

S/C : Simple concentration .

SAU : Surface agricole utile .

SIG : Système d'information géographique .

STEP : Station d'épuration des eaux usées

T : Température (°C) .

Liste des figures

	Page
Figure 01. Cycle de l'eau	04
Figure 02. Les pollutions par l'urbanisme.....	11
Figure 03. Les pollutions produites par l'industrie.....	11
Figure 04. Cycle de l'azote dans le sol	15
Figure 05. Situation géographique de Bousàada	21
Figure 06. Carte pédologique de la zone d'étude	24
Figure 07. Carte géologique de la zone d'étude	26
Figure 08. température moyenne mensuelle de la région de Bousàada durant la période (1994-2016)	29
Figure 09. précipitation moyenne mensuelle en (mm) de la région de Bousàada durant la période (1994-2016).....	30
Figure 10. Carte pluviométrique de la zone de Bousàada	31
Figure 11. variation des vitesses moyennes mensuelles en (m/s) de la région de Bousàada durant la période (1994-2016)	32
Figure 12. Evapotranspiration de la station de Bousàada durant la période (1994- 2016)	34
Figure 13. Abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE	35
Figure 14. Abaque de VERDEIL	36
Figure 15. Indice de D. MARTONNE	37
Figure 16. Diagramme d'Emberger	38
Figure 17. Diagramme ombrothémique de Gaussen et Bangoulas	39
Figure 18. Bilan hydrique de la station Bousàada selon Thornthwaite.....	41
Figure 19. Variation des températures des eaux de la plaine de Bousàada	50
Figure 20. Variation des pH des eaux de la plaine de Bousàada	51
Figure 21. Variation des conductivités des eaux de la plaine de Bousàada.....	52
Figure 22. Variation de la dureté totale des eaux de la plaine de Bousàada.....	53
Figure 23. Variation de résidu sec des eaux de la plaine de Bousàada	54

Figure 24.	Distribution des concentrations en Calcium des eaux de la plaine de Bousàada	56
Figure 25.	Distribution des concentrations en Magnésium des eaux de la plaine de Bousàada	56
Figure 26.	Distribution des concentrations en sodium des eaux de la plaine de Bousàada	57
Figure 27.	Distribution des concentrations en potassium des eaux de la plaine de Bousàada	57
Figure 28.	Distribution des concentrations en Chlorures des eaux de la plaine de Bousàada	58
Figure 29.	Répartition des concentrations en sulfates des eaux de la plaine de Bousàada	59
Figure 30.	Répartition des concentrations en bicarbonates des eaux de la plaine de Bousàada	60
Figure 31.	Variation des concentrations en nitrates des eaux de la plaine de Bousàada	60
Figure 32.	Variation des concentrations en nitrates des eaux de la plaine de Bousàada de la campagne de 2017	62
Figure 33.	Comparaison de deux cartes de variation des concentrations en nitrate des eaux de la plaine de Bousàada des campagnes (2017-2018).	62
Figure 34.	Origine des éléments Na^+ et Cl^-	64
Figure 35-a.	Origine du Ca^{+2} en fonction de $\text{Ca}^{++} = f(\text{HCO}_3^-)$	64
Figure 35-b.	Origine du Ca^{+2} en fonction de $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{--})$	65
Figure 36-a.	Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de Bousàada	67
Figure 36-b.	Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de Bousàada	68
Figure 36-c.	Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de Bousàada	69
Figure 36-d.	Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de Bousàada	70

Figure 37-a.	Diagramme de PIPER pour les eaux de la plaine de Bousàada	72
Figure 37-b.	Diagramme de PIPER pour les eaux de la plaine de Bousàada	73
Figure 37-c.	Diagramme de PIPER pour les eaux de la plaine de Bousàada	74
Figure 38.	Diagramme du SAR	77
Figure 39.	Classification de l'eau d'irrigation des forages selon le diagramme de Wilcox	79
Figure 40.	Histogramme de l'état de qualité des eaux souterraines étudiées.....	81
Figure 41.	Diagramme d'indice de perméabilité	82
Figure 42-a.	Plan des facteurs F1/F2.....	85
Figure 42-b.	Plan des facteurs F2/F3.....	86

Liste des tableaux

		Page
Tableau 01.	Répartition des ressources en eau en Algérie	06
Tableau 02.	Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du Pays	07
Tableau 03.	Répartition spatial des eaux de surface	07
Tableau 04.	Les normes de qualité des eaux d'irrigation	09
Tableau 05.	Température moyenne mensuelle de la région de Bousàada durant la période (1994-2016)	29
Tableau 06.	Tableau 08. Précipitation moyenne mensuelle de la région de Bousàada durant la période (1994-2016).	30
Tableau 07.	Des vitesses moyennes mensuelles en (m/s) de la région de Bousàada durant la période (1994-2016)	32
Tableau 08.	Calcul de l'ETP de la Station de BOU SAADA selon C.W.Thornthwaite.....	33
Tableau 09.	Bilan hydrique de la station BOUSAADA (méthode de Thornthwaite) ..	40
Tableau 10.	Conditions de conservation de prélèvement.....	43
Tableau 11-a.	Paramètres physiques mesurés sur terrain.....	49
Tableau 11-b.	les paramètres physiques	49
Tableau 12.	L'agressivité ou l'incrustante de l'eau.....	51
Tableau 13.	Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité.....	52

	Résultats des cations.....	54
Tableau 14.	Résultats des anions.....	55
Tableau 15.	Faciès chimiques des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF.....	66
Tableau 16.	Classification des eaux souterraines selon PIPER.....	71
Tableau 17.	Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation	
Tableau 18.	(Salinité).	75
Tableau 19.	Baisse de rendements de certaines cultures en relation avec la salinité de l'eau d'irrigation	75
Tableau 20.	Résultats obtenus après interprétation du diagramme de Richards.....	76
Tableau 21.	Directives concernant la qualité de l'eau d'irrigation (Toxicité spécifique de certains ions)	78
Tableau 22.	Résultats de l'utilisation du diagramme de WILCOX.....	79
Tableau 23.	Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux souterraines.....	80
Tableau 24.	Distribution des valeurs de RSC.....	81
Tableau 25.	Paramètres statistiques des éléments chimiques des eaux souterraines.....	83
Tableau 26.	Matrice de corrélation.....	84

Introduction

Introduction générale

L'eau est un élément de base pour la vie sur la planète Terre, c'est la raison pour laquelle l'homme a tenté de maîtriser cette ressource primordiale. Malheureusement, depuis quelques décennies l'action de l'homme dégrade de plus en plus l'environnement. L'eau peut être rare en certains endroits principalement dans les zones arides et semi arides, ou tout simplement en qualité médiocre en d'autres endroits (**Gouaidia, 2008**).

Partout dans le monde, la pression sur les ressources en eau et en particulier sur les ressources en eau souterraines est à la hausse, principalement en raison de la demande croissante et la dégradation de la qualité de l'eau. L'accès généralisé à l'eau potable, l'irrigation, l'expansion urbaine, le développement industriel sont autant des facteurs qui augmentent ces pressions (**Nouayti, 2015**).

La plaine de Boussaâda (Sud-est de l'Algérie) est célèbre par son climat aride très sévère, une forte évapotranspiration et une salinisation des sols qui ne cesse d'augmenter. L'extension de l'agriculture irriguée, une forte sécheresse depuis deux décennies et une industrialisation assez forte ont contraint les agriculteurs à utiliser les eaux souterraines comme source d'irrigation. (**Atmani et Baza, 2017**).

La présente étude a pour objectifs d'améliorer les connaissances sur la chimie des eaux dans une région aride bordé au Nord par un lac salé et des formations carbonatées à l'Ouest et caractérisée par une agriculture intensive. De plus, d'identifier et comprendre les processus de la contamination de ces eaux par les nitrates, et d'évaluer l'impact de cette pollution sur la qualité des eaux souterraines destinées à l'irrigation dans la plaine de Bousaada sur la base des procédées analytiques et statistiques.

Pour atteindre cet objectif, ce travail est scindé en trois parties : La première partie consiste à faire :

- Une analyse bibliographique, permettant de définir les différents ressources en eau, les principaux éléments présents dans l'eau en particulier les nitrates et ses influences sur les êtres vivants et les différentes types de pollution.

La deuxième partie consiste à présenter la stratégie de prélèvement des échantillons, les méthodes d'analyse physico-chimiques utilisées au laboratoire, il s'agit de :

- La présentation du cadre naturel comprenant la localisation géographique, le cadre climatique et le contexte géologique.

La troisième partie, s'intéresse à :

- Une étude hydrochimique, qui nous permet de déterminer la qualité chimique des eaux, l'évolution des principaux éléments chimique, les principaux types de faciès, évaluer l'aptitude des eaux de la plaine de bousàada à l'irrigation.

Finalement nous donnerons une conclusion générale de ce travail, dans laquelle, nous mettrons en évidence les résultats auxquels nous avons abouti, avec proposition des solutions adéquates pour préserver cette ressource.

Partie I

Synthèse bibliographique

1.1.Introduction

Généralement, il est bien admis que l'eau dans la nature est rarement pure car différents éléments peuvent altérer sa constitution de base par diffusion, dissolution ou par un simple mélange. La composition de l'eau dépend de l'environnement dans lequel elle se trouve sous forme d'un processus d'écoulement ou d'un stockage. Ainsi, une eau est identifiée par ses propres caractéristiques physico-chimiques telles que la dureté, la salinité et le pH. Les éléments qui se mélangent à l'eau lui confèrent un chimisme particulier traduisant certaines propriétés ou spécificités intrinsèques au trajet suivi par l'eau. L'eau traverse des couches de terrains perméables, ce qui entraîne une augmentation de la minéralisation par lessivage des roches, notamment ceux à nappes libres. Cette situation donne lieu à des atteintes graves à la qualité de l'eau par contamination verticale (**Chaoui, 2007**).

Les eaux souterraines, constituent une ressource de qualité généralement meilleure par rapport à celle des eaux de surface. La vulnérabilité des systèmes aquifères situés à proximité des centres urbains, est matérialisée par une contamination par des affluents qui se jettent dans les cours d'eau. Comme il y'a une relation entre les eaux de surface et les eaux souterraines, la pollution est systématiquement étendue vers les eaux souterraines et superficielles par drainage ou infiltration.

1.1. Ressources en Eau

1.2.1. Définition

L'eau est un corps, incolore, inodore, et insipide de formule H_2O . C'est la seule molécule présente sur terre sous trois états : solide, liquide et gazeux. Elle se trouve en général dans son état liquide et possède à température ambiante des propriétés uniques. L'eau est un solvant efficace pour beaucoup de corps solides c'est pour cette raison qu'elle est souvent désignée de « solvant universel ». L'eau que l'on trouve sur terre est rarement pure. Les chimistes utilisent de l'eau distillée pour leurs solutions, mais cette eau n'étant pure qu'à 99 %, il s'agit techniquement d'une solution aqueuse (**Birech et Messaoudi, 2006**).

1.2.2. Cycle de l'eau

L'eau est un corps essentiel pour tous les organismes vivants. 71 % de la surface de la terre est recouverte d'eau, soit 97 % d'eau salée et 3 % d'eau douce dans différents réservoirs. L'eau peut changer d'état sans intervention humaine. Ces changements d'états dépendent essentiellement de la température et de la pression mais aussi des composés chimiques. Le cycle de l'eau (**Figure 01**) décompose le phénomène complexe de ces transformations successives de

l'eau en différents états. Les trois phases principales du cycle peuvent être résumées ainsi : évaporation, précipitation, écoulements souterrains et ruissellement. Leur élément moteur est l'énergie solaire. En fonction des caractéristiques géologiques du sous-sol, les eaux souterraines peuvent connaître de longues périodes d'emmagasinements de l'ordre du millénaire (**Beniston, 2009**).

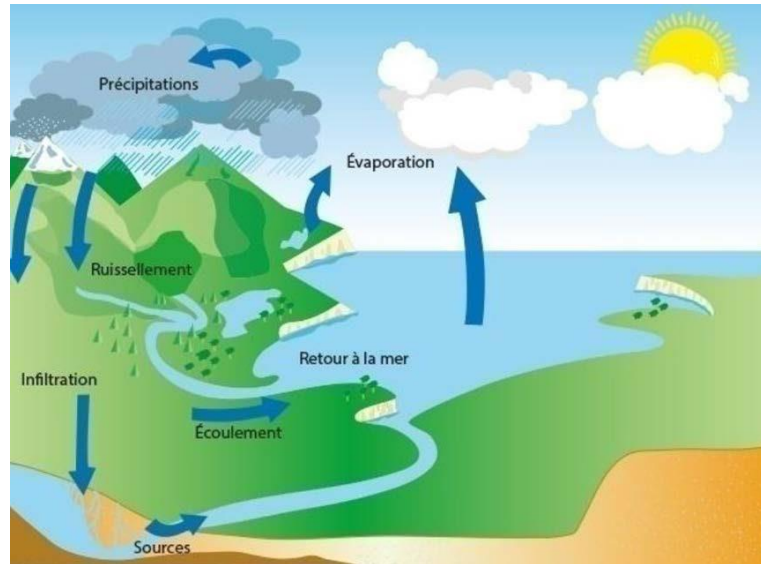


Fig.01. Cycle de l'eau (D'après CIE, 2013)

1.2.2.1. Les eaux de pluie

Les eaux de pluie peuvent être collectées à partir des toitures des maisons dans des récipients ou dans des impluviums. A l'origine ces eaux sont pures sur le plan microbiologique, mais sur le plan chimique, il leur manque souvent certains éléments indispensables à la santé comme le sodium, magnésium, manganèse, fer, iode (**Bouguet et Benhamida, 2015**).

1.2.2.2. Les eaux superficielles

Elles sont constituées par toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine soit les eaux de ruissellement, soit les nappes profondes. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface de contact eau atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs et lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé (**Dussart, 1992 ; Bontoux, 1993**).

Cette ressource est facilement accessible mais malheureusement fragile et vulnérable à la pollution ce qui la rendant souvent impropre à l'utilisation en l'absence d'un traitement préalable. La composition chimique des eaux de surface 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, l'eau va se charger en gaz dissous **(Dussart, 1992 ; Bontoux, 1993)**.

1.2.2.3. Les eaux souterraines

Il s'agit dans ce cas de nappes plus au moins profondes formées par l'accumulation des infiltrations dans le sol à travers le temps conditionnées par la porosité et de la structure géologique du sol. Les eaux souterraines sont habituellement à l'abri des sources de pollution, elles sont donc d'excellent qualité physico-chimique et microbiologique par rapport aux eaux de surface. Selon les roches-magasins et selon la nature du réservoir, on distingue plusieurs types de nappes **(Mebarki, 1982)**.

1.2.2.3.1. Nappes phréatiques

Ces nappes sont dites libres parce que la surface supérieure de l'eau fluctue sans contrainte. Il n'y a pas de toit du réservoir et la pluie peut les alimenter par toute la surface. Certaines nappes libres sont constituées par des plateaux calcaires où les vides sont surtout des fissures élargies par la dissolution, parfois jusqu'à la taille de gouffres et de cavernes. Ils peuvent donner lieu à de grosses sources (Fontaine de Vaucluse Dans les régions méditerranéennes, beaucoup de ces sources tarissent en fin d'été) **(Bouguet et Benhamida, 2015)**.

1.2.2.3.2. Nappes captives

Elles sont constituées à peu près des mêmes types de roche, mais sont recouvertes par une autre couche géologique imperméable qui confine l'eau. Celle-ci est alors sous pression et peut jaillir dans des forages dits artésiens. L'alimentation ne peut se faire que par des zones d'affleurement limitées ou des communications souterraines. Dans les déserts, ces nappes sont fossiles. Elles ne reçoivent plus d'alimentation et sont alors des mines d'eau épuisables non renouvelées. Les nappes captives sont souvent profondes, voire très profondes (1000 m et plus). On peut alors les exploiter pour la géothermie. **(Bouguet et Benhamida, 2015)**.

1.2.3. Usage de l'eau

L'eau est une substance indispensable à la pérennité de tous les êtres vivants ayant besoin de leur ration quotidienne d'eau.

L'eau est également une ressource essentielle au développement des sociétés humaines qui se sont implantées au bord des cours d'eau. Grâce à ses propriétés exceptionnelles, l'eau est en effet nécessaire à toutes les activités humaines. Ses usages se sont d'ailleurs intensifiés et les volumes d'eau utilisés par l'homme ont décuplé depuis le début du XXe siècle (**Defrance, 1996**).

1.2.4. Ressources hydrauliques en Algérie

Le territoire algérien couvre une superficie de près de 2.4 million de Km², mais 90% de cette étendue correspondent à un désert où les précipitations sont quasi-nulles. Dans cette partie de territoire, les ressources en eau superficielles sont très faibles et limitées essentiellement à la partie du flanc septentrional de l'Atlas, les ressources souterraines y sont par contre abondantes mais sont très faiblement renouvelables (nappe de sahara septentrionale). Le potentiel des ressources en eau renouvelables est localisé dans le Nord de l'Algérie qui englobe les bassins tributaires de la Méditerranée et les bassins fermés des Hauts Plateaux (**Loucif, 2003**).

Tableau.01. Répartition des ressources en eau en Algérie

	Ressources			
	Superficielles	Souterraines	Totales	
	 milliard m ³ %			
Nord	12,0	1,9	13,9	82
Sud	1,5	1,4	2,9	18
Total	13,5	3,3	16,8	100
%	(80)	(20)	(100)	(100)

	Millions m ³	%
Barrages de régulation	932	24
Lacs collinaires	28	1
Puits et forages	2044	51
Source, prise au fil de l'eau	950	24
	3954	100

Source : (Loucif, 2003)

Selon les estimations de l'Agence nationale des ressources en eau, les volumes d'eau utilisés s'élèvent à environ 4 milliards de m³, soit près du quart du potentiel. La répartition de ces volumes, selon l'origine de la ressource se présente comme suit :

L'utilisation des eaux se répartit à raison de 53% pour l'agriculture (2.1 de milliard de m³), 34.2% pour AEP (1.3 milliard de m³) et 10.5% pour l'industrie (0.4 milliard de m³).

Tableau.02. Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du Pays

Bassin hydrographique	Oranie Chott Chergui	CHEliff Zahrez	Algéroise Souman Hodna	Constantinois Seybous Mellègue	Totale
Ressources pot. (Hm'/an)	375	231	745	28,9	1894
Pourcentage (%)	19,7	12,2	39,2	28,9	100

Source : rapport CNES 2000

Tableau.03. Répartition spatial des eaux de surface

Bassin hydrographique	Oranie Chott Chergui	CHEliff Zahrez	Algéroise Souman Hodna	Constantinois Seybous Mellègue	sud	Totale
Ressources pot. (Hm'/an)	1 025	1 840	4 380	4 500	600	12 345
Pourcentage (%)	8,7	15,7	37,3	38,3	0,48	100

Source : rapport CNES 2000

1.3. L'irrigation en Algérie

L'irrigation consiste une fourniture artificielle et répartition systématique d'eau sur des terres agricoles. Elle vise à pallier le manque ou l'insuffisance d'eau de pluie, particulièrement : L'irrigation permet d'améliorer le rendement des terres agricoles, mais implique l'utilisation de grandes quantités d'eau. Il est important de savoir que l'agriculture est de loin le plus grand

consommateur d'eau (devant l'industrie et les services), puisque 69 pour cent des prélèvements mondiaux lui sont imputables (**louzane, 2016**).

1.3.1. Superficie Irriguée

La superficie agricole irriguée à l'échelle nationale est passée de 350.000 hectares en 1999 à près de 1,3 million d'hectares en 2017, a indiqué le directeur de la régulation et du développement de la production agricole auprès du ministère de l'Agriculture, du développement rural et de la pêche

Les surfaces irriguées représentent actuellement plus de 15 % de la surface agricole utile (SAU) à l'échelle nationale.

1.3.2. Caractéristiques des eaux d'irrigation

L'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées. De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées (**Bouaroudj, 2011**).

Une eau conforme à l'irrigation est une eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites imposées par des textes de lois et inscrites dans des tableaux de normes. L'exemple du, tableau 4 donne les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (**Maynard et Hochmuth, 1997**).

Tableau.04. Les normes de qualité des eaux d'irrigation

Type de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucune	légère	elevée
-Salinité	< 0,75	0,75-3,0	> 3
-Conductivité (dS/m)	< 700	700-2000	> 2000
-Matières dissoutes totales (mg/litre)			
RAS (Ration d'Absorption du Sodium)	< 3	3-9 >	> 9
Alcalinité ou dureté (équivalent en CaCO ₃)	80-120		>200
pH (risque de colmatage)	< 7	7-8	>8
Fe mg/l (risque de Colmatage)	<0.2	0.2-1.5	>1.5
Manganèse mg/L (risque de colmatage)	<0.1	0.1-1.5	>1.5

Source : Maynard et Hochmuth, 1997

Les normes varient selon les pays, mais dans la majorité des pays on fait référence, à quelques exceptions près, aux cinq critères de qualité sus cités (**Bouaroudj, 2011**). Les normes ont pour objectif de :

- Protéger le public et les ouvriers agricoles ;
- Protéger les consommateurs des produits agricoles ;
- Protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols ;
- Protégé le matériel d'irrigation ;
- Maintenir des rendements acceptables.

1.3.3. Qualité des eaux souterraines

Étant donné que les eaux souterraines sont généralement pures sur le plan bactériologique (**UNICEF, 1999**) elles constituent une meilleure solution que les eaux de surface en termes de génie sanitaire (**Fiambsch, 1998**). Dans la réalité, la qualité naturelle de l'eau souterraine ne concerne pas seulement les aspects sanitaires et techniques de l'eau potable. Il faut se souvenir en particulier que l'eau des nappes alimente les rivières et que, par conséquent, certaines propriétés chimiques et microbiologiques des eaux souterraines peuvent avoir des incidences sur la vie aquatique (**Collin, 2004**). Donc les qualités requises sont d'ordre bactériologique et physico-chimique.

1.4. Pollution des eaux

1.4.1. Définition

Le terme pollution peut être défini comme suit : « c'est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaines, au travers des effets directs ou indirects des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et autre produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives des milieux ou encore en enlaidissant la nature (**Koller, 2004**).

1.4.2. Sources de pollution

On distingue deux sources de pollutions à savoir :

1.4.2.1. Pollution ponctuelle

Elle est formée de rejets localisés, plus ou moins abondants relativement faciles à identifier. Chronique ou accidentelle, cette pollution est provoquée par des déversements domestiques, urbains, ou industriels peu ou non traités (**Bencheikh et Goudjile, 2011 ; Birech et Messaoudi, 2006**).

1.4.2.1.1. Pollution urbaine

Les eaux usées urbaines transportent des corps en suspension et en solution comme les produits ménagers. Les stations d'épuration ne traitent que 65% des eaux usées et ne traitent généralement pas les composés chimiques en solution.

Certains composés organiques notamment les phosphates sont à l'origine de déséquilibres des écosystèmes en favorisant par excès le développement de certains végétaux indésirables qui consomment de l'oxygène du milieu jusqu'à priver les animaux qui s'y trouvent (**Birech et Messaoudi, 2006**).

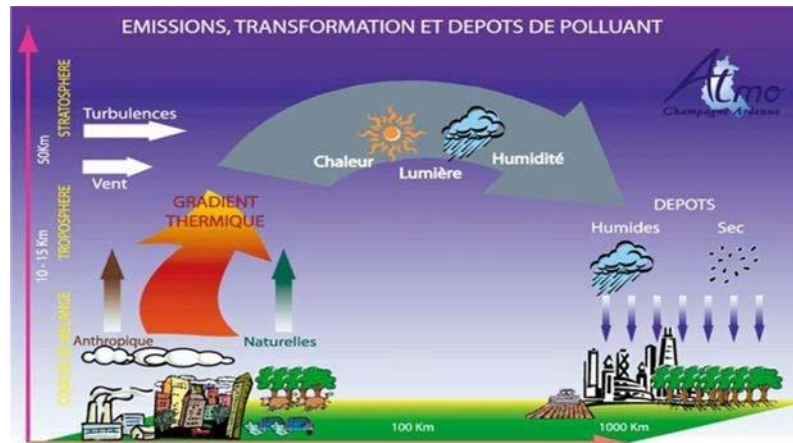


Fig.02. Les pollutions des eaux par l'urbanisme (Bouguet et Benhamida, 2015)

1.4.2.1.2. Pollution industrielle

Une usine doit être équipée d'une station d'épuration (STEP). Un traitement primaire élimine les matières en suspension (ex : résidus de lavage, corps gras, huiles), puis un traitement secondaire élimine les matières en solution (ex : métaux lourds). En réalité, seulement 65% des eaux usées passent en station d'épuration ou le traitement secondaire n'est généralement pas mis en application (bien souvent pour des raisons de coût (Birech et Messaoudi, 2006).

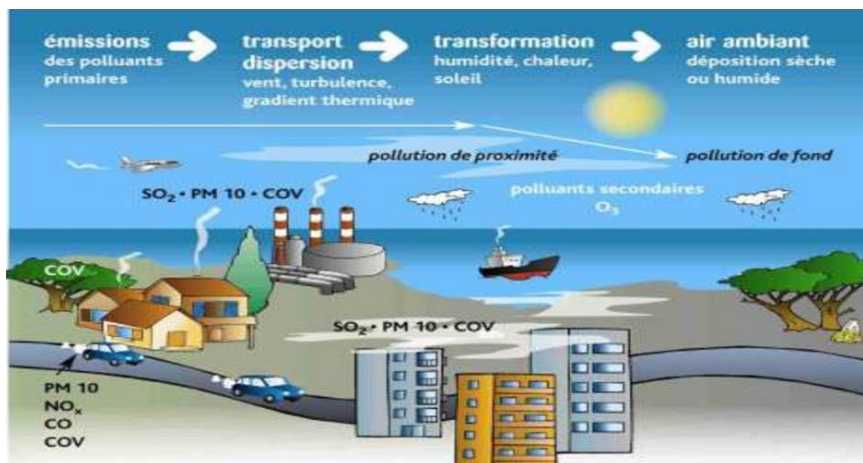


Fig.03. Les pollutions des eaux produites par l'industrie (Bouguet et Benhamida, 2015)

1.4.2.2. Pollution diffuse

Elle est due au lessivage et à l'érosion plus ou moins rapide et accusée des sols. Différentes substances sont entraînées vers les nappes et les rivières tel que les hydrocarbures, les métaux lourds, les pesticides. Cette pollution peut s'étendre sur de grandes surfaces. Elle est difficile à identifier et donc difficile à maîtriser (Birech et Messaoudi, 2006).

1.4.2.2.1. Pollution agricole

Les engrais apportent aux végétaux cultivés les éléments nécessaires à leur croissance notamment l'azote, le potassium, et le phosphore.

Les dérivés azotés (spécialement les nitrates) et les phosphates provoquent des déséquilibres dans les milieux qui reçoivent les eaux de ruissellement et les eaux d'infiltration issues de l'agriculture en favorisant le développement des algues qui prennent place à toute autre forme de vie à cause de leur sur développement (**Birech et Messaoudi, 2006**).

Les pesticides sont des produits chimiques destinées à détruire les champignons (fongicides), les mauvaises herbes (herbicides), les verres de terre (hématicides) et les insectes (insecticides) qui parasitent les agricultures. Ces produits sont élaborés pour être rapidement neutralisés avec une durée de vie courte une fois dissous dans le sol, mais l'utilisation de mauvaise préparation peut avoir des effets d'intoxication significatifs (**Birech et Messaoudi, 2006**).

L'accumulation de ces produits dans les cours d'eau peut avoir un impact important sur le milieu marin, à l'endroit même où se déverse des fleuves, ou bien par le retour des nappes souterraines qui forment des sources sous-marines ou proches du bord de la mer (**Birech et Messaoudi, 2006**).

1.4.2.2.2. Pollution atmosphérique

L'atmosphère terrestre s'il contient des polluants peut être une source non négligeable de pollution. En effet en cas d'orage les sols seront contaminés et le ruissellement et l'infiltration des polluants menacent à la fois les eaux superficielles et les eaux souterraines. Cette contamination qui risque d'être durable cause de grande difficulté de traitement (**Birech et Messaoudi, 2006**).

1.4.3. Les principaux polluants des eaux

1.4.3.1. Les matières en suspension

Les matières en suspension sont de fines particules. Présentes naturellement dans l'eau des rivières pour certains (planctons, débris végétaux fins, minéraux), elles sont aussi des polluants d'origine humaine pour d'autres (matières organiques et minérales). Elles peuvent réduire la transparence de l'eau (turbidité), ce qui est néfaste pour la biologie des cours d'eau (**Bencheikh et Goudjile, 2011**).

1.4.3.2. Les matières organiques

Certains rejets contiennent des matières organiques. Ces polluants sont biodégradables, ils peuvent être transformés en eau et en CO₂ par des micro-organismes (bactéries, algues) mais cette biodégradation consomme de l'oxygène, qui ne sera donc plus disponible pour la faune aquatique (poissons, crustacés...). C'est pourquoi l'on mesure souvent la pollution organique

par " la demande biologique en oxygène" (DBO), autrement dit la quantité d'oxygène qui sera consommée par des micro-organismes pour sa biodégradation. On mesure également " la demande chimique en oxygène" (DCO), c'est à dire la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder tout ce qui peut l'être par voie chimique (**Bencheikh et Goudjile, 2011**).

1.4.3.3. Matières fertilisantes

La présence d'azote et de phosphore en quantité excessive dans les cours d'eau entraîne la prolifération d'algues qui diminuent la luminosité et surtout consomment l'oxygène dissous dans l'eau (phénomène d'eutrophisation). Cette pollution est produite par les eaux usées urbaines, certains effluents industriels, et le ruissellement des eaux chargées d'engrais apportés en excès aux cultures (**Bencheikh et Goudjile, 2011**).

1.4.3.4. Polluants métalliques et les polluants chimiques persistants

Certains polluants chimiques sont particulièrement persistants, ils résistent à la dégradation chimique et biologique. Avec les métaux lourds ils forment une famille de polluants très dangereux qui absorbés par des plantes ou des petits animaux, ils s'accumulent et se concentrent tout au long de la chaîne alimentaire, au sommet de laquelle se trouve l'homme (**Bencheikh et Goudjile, 2011**).

1.4.3.5. Les sels minéraux

Présents naturellement dans l'eau en faible quantité, les sels minéraux (chlorures ou sulfates de calcium, de magnésium, de sodium ou de potassium) peuvent voir leur concentration s'élever à la suite de rejets industriels. Cela peut nuire à la biologie aquatique (**Bencheikh et Goudjile, 2011**).

1.4.3.6. Polluants microbiologiques de l'eau

Peut contenir des micro-organismes pathogènes (des virus, des bactéries, des parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (baignade, élevage de coquillage) (**Bencheikh et Goudjile al, 2011**).

1.4.4. Lutte contre la pollution (prévention à la pollution)

Pour lutter contre la pollution des eaux souterraines il faut prendre les mesures suivantes :

- Réglementation des rejets industriels et épuration des eaux usées.
- Lutte contre la pollution agricole par l'adaptation des pratiques culturales (dose, période d'épandage des engrais).
- Réglementation et la protection des dépôts des déchets de toutes natures.
- Etablissement des périmètres de protection des eaux captées pour l'alimentation humaine.

Il faut noter ici que l'outil le mieux adopté à la prévention, techniquement et économiquement est le modèle mathématique de simulation hydrodynamique et hydrochimique. (**Amroune et al, 2000**).

1.5. L'azote

L'azote est un élément important dans la constitution de nombreuses molécules organiques (les acides aminés et protéines, en particulier) (**Zahran, 1999**). Pour survivre, se développer et se reproduire, les plantes ont besoins de ressources, c'est-à-dire de source d'énergie naturelle ou des matières premières, comme l'énergie lumineuse, l'eau et les éléments nutritifs disponibles dans le sol, essentiellement l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) ainsi que d'autres macro et micro-éléments. Au niveau nutritif, l'azote est considéré comme le principal élément limitant la croissance des plantes (**Chapin, 1980 ; Aerts et Chapin, 2000**).

1.5.1. Différentes formes de l'azote

L'azote peut exister sous trois formes principales :

1.5.1.1. Gazeuse

Il constitue 78% de l'atmosphère.

1.5.1.2. Minérale

Il peut être en liaison avec l'hydrogène pour former l'ammoniac, ou avec l'oxygène et donner les nitrites et les nitrates (il s'agit respectivement d'azote ammoniacal, nitreux ou nitrique).

1.5.1.3. Organique

Il entre dans la constitution des protéines dans tous les tissus vivants.

L'azote est surtout employé dans la synthèse des produits de base (ammoniac, acide nitrique, etc.) dans l'industrie d'engrais, des explosifs et des colorants (**Bouchenouk, 2013**).

1.5.2. Cycle de l'azote

Les principales phases du cycle de l'azote sont : la minéralisation (ammonification et nitrification) et l'immobilisation ou réorganisation.

Le premier phénomène concerne les transformations de l'azote organique en azote ammoniacale, qui est progressivement converti en nitrites et en nitrates, alors que l'immobilisation transforme l'azote minéral en azote organique.

Ces deux phénomènes sont simultanés dans le sol sont fortement influencés par les conditions environnementales tel que la température, le pH et l'humidité du sol, d'où une évolution annuelle des concentrations en nitrates dans la nappe (**Pinheiro, 1995**).

1.5.2.1. Minéralisation

Dans le processus de minéralisation, les composés carbonés sont dégradés puis utilisés comme source d'énergie. L'azote qui est en excès par rapport aux besoins des micro-organismes

est libéré. Les formes solubles de l'azote sont libérées par la rupture des cellules lors la mort des organismes (**Bouchenouk, 2013**).

Environ 1 à 2% de la matière organique est minéralisée chaque année en éléments solubles par l'action des micro-organismes. Les principales étapes de cette minéralisation sont les suivants :

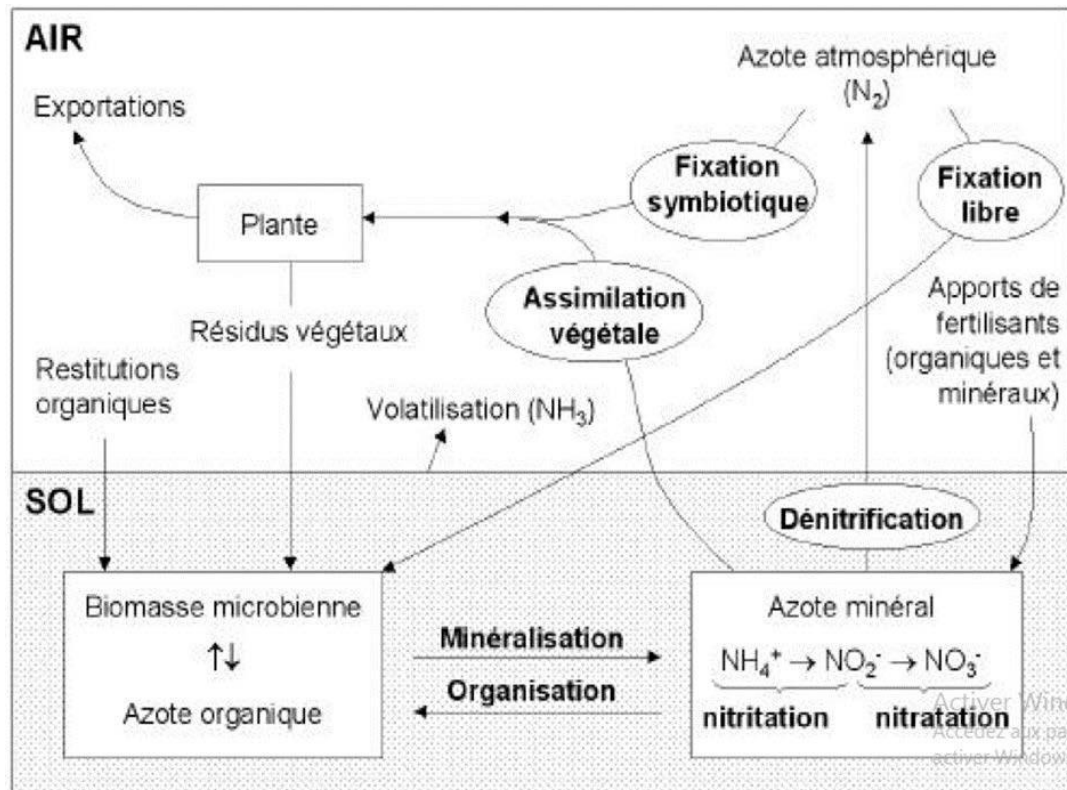


Fig.04. Cycle de l'azote dans le sol (**Bouchenouk, 2013**).

1.5.2.1.1. Ammonification

L'ammonification est l'œuvre du micro-organisme qui transforme l'azote aminé des protéines en ammonium.

1.5.2.1.2. Nitrification

C'est l'oxydation d'azote ammoniacale en nitrite puis nitrate à l'aide de bactéries autotrophes qui tirent leur énergie d'une réaction d'oxydation. Cette énergie leur permet de réduire le gaz carbonique pour utiliser le carbone (**Bouchenouk, 2013**).

1.5.2.1.3. Nitritation

C'est l'oxydation de l'ammonium (NH_4^+) en nitrite (NO_2^-) par les bactéries autotrophes aérobies du type nitrosomonas.

1.5.2.1.4. Nitratisation

C'est l'oxydation du nitrite (NO_2^-) en nitrate (NO_3^-) forme très assimilable par les plantes, la réaction d'oxydation se fait en milieu aérobie sous l'action des bactéries autotrophes du type nitrobacter qui utilisent leur substrat minéral comme source de carbone (**Bouchenouk, 2013**).

1.5.2.2. Immobilisation

C'est une rétrogradation de l'azote minéral sous la forme organique au cours de la période froide. Ceci est fait par l'intermédiaire de certains groupes de microbes qui font la synthèse des protéines dans leurs cellules aux dépens des nitrates du sol.

L'immobilisation est donc la transformation de l'azote organique. Elle se fait par trois voies :

1.5.2.2.1. Dénitrification

C'est le processus par lequel certaines bactéries réduisent l'azote nitrique à un état plus faible d'oxydation (**Bouchenouk, 2013**).

1.5.2.2.2. Absorption de l'azote par les plantes

Les composés azotés absorbés par les plantes sont les nitrates et l'ammonium, sous la forme soluble, l'équilibre entre ces deux formes varie selon les espèces et les conditions, mais généralement, les nitrates constituent la principale source d'azote pour les plantes. L'absorption d'azote par les plantes est fonction de l'espèce végétale, du climat, des conditions du sol et du stade de développement de la plante (**Mariotti, 1988**).

1.5.2.2.3. Phénomène de volatilisation

C'est la perte sous forme d'ammoniac NH_3 , généralement négligeable, elle peut cependant atteindre 20 à 30% de l'azote ammoniacale lorsqu'il est apporté en sol basique. La volatilisation de l'ammoniac NH_3 , peut avoir lieu dans les conditions de pH élevé. Ceci peut se passer par exemple dans les sols calcaires ou encore au cours de processus de fermentation de composés organiques (**Mariotti, 1988**).

1.5.3. Nitrates

1.5.3.1. Composition chimique

Les nitrates sont des composés inorganiques composés d'un atome d'azote (N) et de trois atomes d'oxygène (O). Leur formule chimique est NO_3^- , sa masse moléculaire est de 62 mg/mol. L'azote constituant la molécule de nitrates est dénommé azote nitrique et est généralement noté N-NO_3^- . Ainsi un gramme d'ion NO_3^- correspond à 0.22 gramme d'azote nitrique.

Les nitrates sont des éléments minéraux nutritifs pour les végétaux et les microorganismes.

Pour cette raison, les sels de nitrates comme par exemple le nitrate de potassium (encore appelé Salpêtre, de formule KNO_3), ou le nitrate de sodium (NaNO_3), le nitrate de calcium

($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) ou le nitrate d'ammonium (NH_4NO_3), sont utilisés pour la fabrication de fertilisant azotés. Les nitrates sont également utilisés pour la composition d'explosifs ou de ciments spéciaux, comme additif et colorant alimentaire, pour la coagulation de latex, dans l'industrie nucléaire et pour le contrôle des odeurs et de la corrosion dans les systèmes hydrauliques (**Ziani, 2017**).

1.5.3.2. Origine des nitrates

Les principales sources possibles d'azote (humus, engrais minéraux, engrais organiques, déchets, assainissement) ont des compositions isotopiques bien différenciées. La mesure du rapport $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ permet généralement de la différencier et d'en déterminer l'origine. Par ailleurs, le dosage du tritium permet la datation des eaux souterraines correspondantes.

D'une façon générale, les études ont démontré que les nitrates pouvaient avoir des origines diverses :

- Nitrates provenant de sol forestiers anciens ;
- Nitrates dus à l'intensification des cultures (défrichement, suppression des pâtures) ;
- Nitrates apportés par les matières organiques humaines et animales ainsi que par les matières organiques végétales (amendements organiques) ;
- Nitrates provenant des engrais de synthèse ;
- Nitrates liés aux activités humaines inhérentes à l'urbanisation, l'industrialisation et la pratique de l'élevage intensif.

Mais il ressort de toutes ces causes que l'utilisation des engrais en agriculture est essentiellement responsable de la contamination des nappes souterraines par les nitrates.

Nitrates provenant des sols forestiers ou sols cultivés anciens :

On les trouve généralement dans des eaux de plus de trente ans d'âge dans des nappes profondes bien protégées et peu minéralisées.

1.5.3.2.1. Nitrates provenant de l'agriculture moderne

Ils sont identifiés dans les eaux souterraines de moins de trente ans d'âge quelque soient la profondeur de la nappe (profonde ou sub-affleurante) et la vitesse d'alimentation (lente ou rapide). Leur proportion est d'autant plus grande que l'âge de la nappe est récent.

Dans les plaines où l'infiltration est assez rapide, l'étude isotopique a mis en évidence l'origine multiple des nitrates dans les eaux souterraines, leur prédominance étant d'origine agricole, liée à la fois à l'épandage des engrais artificiels et des fumures naturelles. Un bilan des charges en nitrates a démontré qu'un quart des engrais du vignoble et un cinquième de ceux utilisés en labour s'infiltrèrent dans la nappe. Ainsi les fortes teneurs observées en février, mars,

dans l'aquifère proviennent des engrais azotés utilisés lors du démarrage de la végétation, à la fin de l'hiver.

1.5.3.2.2. Nitrates d'origine domestique

L'excès de nitrates emble souvent provenir de pollution d'origine domestique. Les causes peuvent être des défauts d'étanchéité des collecteurs, mais surtout l'absence d'assainissement dans les quartiers anciens et l'utilisation de puits perdus.

Les pollutions par les nitrates d'origine domestique peuvent avoir des conséquences fâcheuses pour les captages implantés en zone urbaine ou en périphérie de celle-ci.

1.5.3.2.3. Nitrates d'origine animale

L'activité agricole est orientée vers l'élevage intensif qui produit des quantités importantes de fumiers et de lisiers qui sont utilisés en agriculture, et vers la production légumineuse, qui nécessite une utilisation importante d'engrais chimique.

Il y avait une relation très significative entre la teneur en nitrate des captages, la production d'azote d'origine bovine par ha, la production d'azote d'origine porcine par ha et le rapport de la surface en culture fourragère. La teneur en nitrates des eaux souterraines s'accroît avec les charges de porcines et de bovins à l'hectare dont les contributions respectives sont pratiquement identiques.

1.5.3.2.4. Nitrates d'origine industrielle

La contamination des nappes à était supérieur dans les zones industriels, généralement les plus anciens, ces zone comprennent plusieurs industries chimique, dont une usine d'engrais et anciennes gravières remblayées par des déchets industriels, dont des résidus de la fabrication des produits chimiques.

1.5.4. Effet de nitrate

1.5.4.1. Effets connus sur la santé humaine

Le principal risque pour la santé humaine associé à l'ingestion de nitrates est lié à la faculté de l'organisme humain de transformer les nitrates en nitrites. Cette réduction de NO_3^- en NO_2^- est le fait de bactéries ayant une activité nitrate réductase. Il ne semble pas exister d'études relatant un effet toxique chronique des nitrates qui ne soient pas lié aux effets des nitrites (**Banas et Lata, 2006**).

1.5.4.1.1. Risque de méthémoglobinémie

Les nitrites formés par réduction des nitrates sont susceptibles de se fixer sur l'hémoglobine (**Hill, 1991 ; L'hirondel et L'hirondel, 2002**). Celle-ci est alors oxydée en méthémoglobine. Le transport de l'oxygène vers les tissus qui en ont besoin ne se fait plus. Cette maladie est dénommée méthémoglobinémie. Chez l'adulte, ce risque est très faible car une

enzyme réduit la méthémoglobine en hémoglobine. En revanche, cette enzyme n'est pas activée chez le nourrisson et ne devient fonctionnelle que vers trois à quatre mois (**Banas et Lata, 2006**).

1.5.4.1.2. Risque carcinogène

Les nitrates sont susceptibles de présenter un risque lié à leur transformation en nitrites et éventuellement en nitrosamines dans le tractus digestif. Les propriétés carcinogènes de ces substances ont été découvertes il y a un demi siècle (Magee et Barnes, 1956 ; Magee et Barnes, 1967). Diverses études permettent de suspecter fortement la responsabilité de teneurs élevées en nitrates dans l'eau et les aliments, et le développement de cancers de la prostate, du pharynx, de l'œsophage ou du colon (**Cantor, 1997 ; Gulis et al, 2001**).

1.5.4.2. Sur les plantes

Les effets toxiques des polluants atmosphériques azotés sur la végétation peuvent s'exercer indirectement, via de réactions chimiques dans l'atmosphère, ou directement, par assimilation des dépôts sur le feuillage, le sol ou la surface de l'eau (**OMS, 1997**). Divers symptômes montrent la toxicité de l'azote à savoir : réduction de la capacité totale d'assimilation et chute du feuillage (**Miller et al, 1979**).

1.5.4.3. Sur les animaux

La toxicité de l'azote chez les animaux terrestre est associée soit à la consommation de plantes renfermant de fortes concentrations de nitrate soit à la pollution atmosphérique (dioxyde d'azote, ammoniac ou nitrate). Les nitrites et nitrates présents dans l'eau ont toutefois été incriminés dans l'induction d'une méthémoglobinémie chez les jeunes animaux (**OMS, 1977**).

1.5.4.4. Sur les eaux naturelles

L'intensification de l'agriculture, du fait du changement dans l'occupation des sols (notamment l'accroissement de la part des terres arables), de la pratique de l'irrigation et de l'usage d'intrants chimiques a eu des effets néfastes sur les ressources naturelles. Certain nombre de diagnostics font ressortir (**Lacroix et Beaudoin, 2007**) :

- La pollution des nappes profondes par les nitrates et les pesticides qui peuvent générer un problème de potabilité ;
- La pollution des eaux de surface par les nitrates, très dommageable pour la faune d'eau douce est en terme d'eutrophisation ;
- La destruction d'écosystèmes.

Dans les eaux souterraines, les nitrates entraînent une modification des conditions d'oxydo-réduction du milieu ainsi qu'une modification de l'écologie de ces milieux.

1.5.5. Contamination des eaux par les nitrates en Algérie

En Algérie, les pratiques de fertilisation intense des sols dans quelques plaines agricoles et les rejets des eaux usées domestiques et industriels ont augmenté les concentrations des nitrates des eaux des nappes dans plusieurs régions, durant ces dernières années. Dans nombreuses enquêtes ont mis en évidence que la pollution par les nitrates des eaux souterraines a atteint un stade alarmant (**Benmani, 1995**).

Le programme de surveillance des eaux de sources et de puits, effectué par le laboratoire de chimie des eaux de l'A.N.R.H , a montré la présence depuis 1994 d'une forte teneur en nitrates dans les eaux souterraines, dans le centre du pays (la plaine de Mitidja, le Haut Chélif) et à l'Ouest (Sidi Bel Abbes), avec une concentration excédant largement la dose maximale de 50 mg/l (**Benmani, 1995**).

La mise en œuvre du système d'information géographique (SIG) par Abdelbaki et Boukli (2007) a permis d'établir des cartes numérisées de la qualité des eaux souterraines du groupement urbain de Telmcen. Les résultats obtenus ont montré que ces eaux contiennent des concentrations en nitrates dépassent les normes par endroit. Par exemple au forage d'Ain Defla, la teneur en nitrates atteint 82mg/l. ces nitrates proviennent soit par la matière organique enfouie dans le sol (résidus des précédents récoltes, humus...), soit par les engrais ou par les rejets domestiques et industriels.

Partie II

Matériel et Méthodes

Chapitre I : étude de milieu physique

2.1.1. Situation géographique

2.1.1.1. Caractéristiques géographiques

La ville de Bousàada est située à environ 241 km au Sud Est d'Alger et à 75km au Sud-Ouest de M'Sila (**Fig. 5**). Elle est localisée aux coordonnées géométriques suivantes : 35°45'N et 4°35'E et étant l'oasis la plus proche de littoral algérien.

La plaine du Bousàada s'intègre dans le cadre géographique des hautes plaines du bassin algérois ; elle est limitée :

- Au Nord par les monts du Hodna.
- Sud et Sud-Ouest par les premiers chaînons de l'Atlas saharien aux cordonnées géométriques 35°20'N et 04°12' E.
- A l'Est, par la rencontre des deux chaînes (Monts du Bellezma) aux cordonnées géométriques 4°45'E et 5°45'E.

Cette zone occupe la partie Nord-Ouest du bassin avec une superficie de 957Km², elle couvre totalement ou partiellement les feuilles au 1/50.000 de Bousàada (224) et Chellal (195).

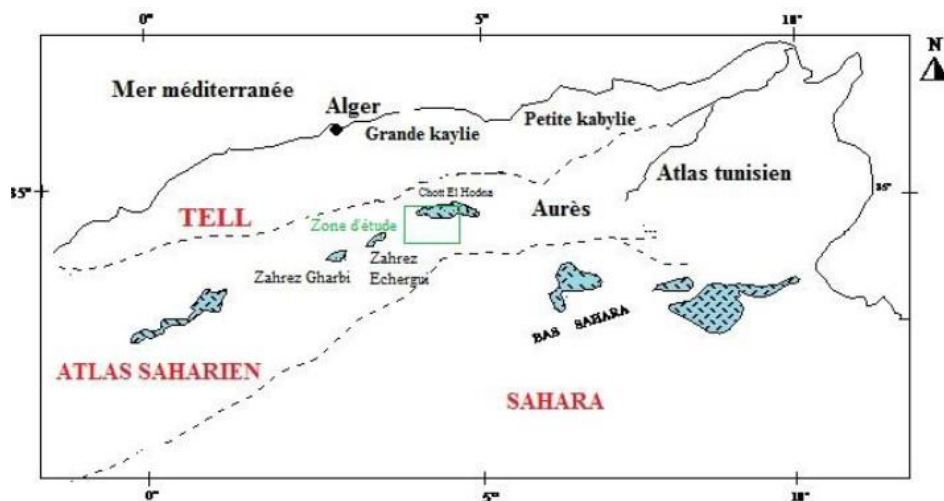


Fig.05. Localisation géographique de la région d'étude

2.1.1.2. Aperçu socio-économique

2.1.1.2.1. Habitat

La répartition démographique se fait de deux manières :

- Au Sud : la répartition de la population est dense, où le centre urbain est bien peuplé, par contre la zone rurale est moins peuplée ;
- Au Nord la répartition de la population est moins dense avec des centres urbains éloignés les uns des autres, et une zone rurale moins habitée à cause de la sécheresse et le manque des moyens.

2.1.1.2.2. Agriculture

L'agriculture occupe une place importante au sein des activités de la population rurale. La principale activité dans la région est les cultures maraichères, l'arboriculture et la céréaliculture.

2.1.1.3. Géomorphologie

Le relief se compose de deux ensembles nettement différenciés. A l'ouest les monts de Ouled Nail caractérisés par des pentes abruptes et des altitudes élevées (Dj Sellât 1256 m, Belguerbi 1247 m, Lakbedj 830 m, Dj Arar 897 m et Dj Bateun 1027 m).

Ces monts sont de nature essentiellement carbonatée à structure complexe et faillée entaillée par les oueds. Le piémont est bien représenté au Nord-Ouest (500 m) et au sud-ouest (650-700) pour aboutir au niveau de la plaine qui correspond à des niveaux de glacis profondément entaillés par les oueds.

La plaine proprement dite est définie par la courbe (450m-500 m) couvrant la majorité de la zone étudiée jusqu'aux bordures du Chott El Hodna (400 m d'altitude) (**Amroune et al, 2000**).

2.1.1.4. Réseau hydrographique

La forme des reliefs la tectonique complexe, la couverture végétal discontinue et l'hétérogénéité de la lithologie, toutes ces valeurs réunies influent sur le schéma du réseau hydrographique de la zone étudiée, ce dernier est organisé par deux oueds principaux, le plus important est l'Oued El-Maiter, c'est un oued à écoulement pérenne, il présente une pente abrupte au Sud-Ouest puis décroît vers le Nord-Est jusqu'à l'embouchure (sebkha) et Oued

Bousàada moins important, il coupe la ville en deux et constitue l'exutoire des eaux usées de la ville de Bousàada.

Au Sud de la région d'étude existe des cours d'eaux indécis, Oued Roumana, Oued El Mehakoube, Oued Oultem et Oued Defla ces Oueds sont caractérisés par des écoulements temporaires surtout après les grandes averses. (**Amroune et al, 2000**).

2.1.1.5. Sol

La plaine du Bousàada se caractérise par la formation des sols minéraux bruts éoliens (**fig. 06**).

La texture du sol est dominée par le sable. Outre le quartz, les composants du sol sont dominés par les carbonates (calcite), le gypse et les sels. En raison de la texture sableuse et de la faible teneur en matière organique, la fertilité des sols est faible avec de petites CEC et la capacité de retenue de l'eau ; Les intrants d'engrais et les modifications organiques sont donc nécessaires pour obtenir des rendements corrects, mais la fertilisation est empirique.

Selon l'étude des sols de Hodna (**Boyadgiev, 1975**) et de **WRB (2006)**, les principaux types de sol présents dans la zone irriguée sont :

- Hautes Arenosols (Arides):
- Fluvisols compliqués (Aride, Gypsique);
- Gypsisols prolongés (Aridique);
- Glysols gypsiques (Aridique);
- Gypsic Solonchaks (Aridique);
- Haond Solonchaks (Aridique).



Echelle : 1/500 000

Fig.06. Carte pédologique de la zone d'étude

2.1.1.6. Végétation

La couverture végétale au niveau de notre secteur d'étude est pauvre, elle est constituée également par des taches forestières sur les monts de l'Ouest et du Sud ainsi qu'une végétation steppique sur le pourtour du Chott El Hodna. Elle est constituée en majorité par des espèces qu'on rencontre le plus souvent dans les steppes algériennes telque les teracissima (Halfa), *Artémisia helba-Alba* (Armoise). *Atriplex Halimus* (Atripex), les espèces arbustives sont également rencontrées dont les plus importantes sont : *Tamarix GALLICA* (tamaris) et *Ziziphitztus* (jujubier) et on rencontre des palmiers. **(Ramsar, 2001).**

2.1.1.7. Géologie

En se basant sur l'étude géologique qui a été faite par Guiraud en 1975 dans le bassin du Hodna. Les séries sont presque complètes et vont du Trias jusqu'au Quaternaire.

2.1.1.7.1. Secondaire

a- Trias

Le trias n'affleure que par diapirisme, reconnu en Dj kerdada. Il est formé par des argiles lie-de-vin et violettes légèrement gypseuses.

b- Jurassique

Les formations du jurassique ont une tendance carbonatée. On trouve des dolomies. Des calcaires gréseux et de marnes.

c- Crétacé supérieur

Ce système a été érodé de la région, sauf le cénomanien qui est faiblement représenté sur quelques sommets de reliefs.

c-1 Céomanien

Entre le Djebel Dalaat Ezzdin et Djebel Moubakrera à 2 Km à l'Ouest de, le Céomanien est constitué par des calcaires à débris, parfois lumachelliques avec de rares interstratifications de marnes, des calcaires argileux, des marnes gypseuses et a Ostréa (Exogyra) et des calcaires. L'épaisseur du Céomanien est de l'ordre de 120 m.

2.1.1.7.2. Tertiaire

Les formations continentales du Tertiaire reposant en discordance sur les séries du Crétacé inférieure et moyen.

Ce matériel provient de l'érosion des formations crétacées supérieures de l'Atlas Saharien. Elles sont constituées de conglomérats, des sables, des galets, des graviers et des passées marneuses. La puissance du tertiaire est de 200 m environ.

Cette description a été faite à partir du forage implanté dans la partie Sud d'Ain Diss aux coordonnées Lambert : X=643.500, Y=220.600.

2.1.1.7.3. Quaternaire

Constitue de galets des sables des graviers, des marnes, des limons, des argiles et des gypses. L'épaisseur du Quaternaire est croissante du Sud au Nord de 14 à 123 m proche du Chott.

a- Terrains du Chott

Ce sont des limons de couleur gris à cristaux au association de cristaux de gypse type (roses des sables).

b- Dunes

N'existant que dans la partie Nord de la région. Strictement limités à la cuvette des Oueds Temsa- Maiter et à la plaine bordière du Chott El-Hodna, ce sont des sables quartzeux fins de couleur ocre relativement chargés en matériel argileux. Ils proviennent de l'érosion des grès Barremiens et Albiens qui affleurent largement.

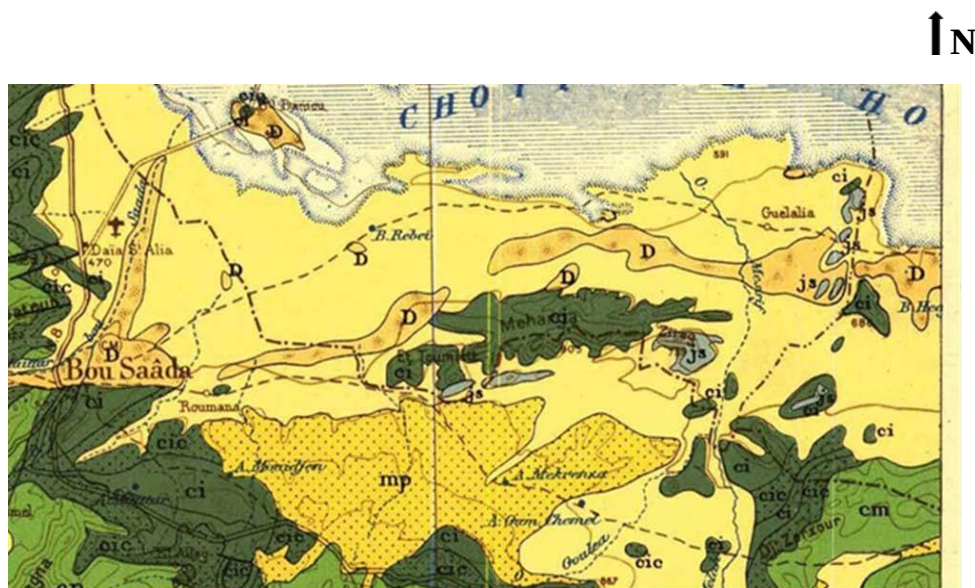
c- Cônes de déjections

Les plus importants sont situés sur le flanc Nord du Dj Tsegna et sur le versant SE du Dj Fenane, constituants de large glacis caillouteux qui, à leur base, s'inter stratifient dans les limons des nappes alluviales anciennes. (**Amroune et al, 2000**).

2.1.1.7.4. Hydrogéologie

Malgré sa complexité lithologique, l'aquifère est constitué par des niveaux perméables formés des sables, graviers et des galets d'âge tertiaire continental, des conglomérats d'âge quaternaire.

Mais vu le tarissement de la totalité des puits (30 à 60 m), c'est-à-dire le tarissement de la nappe superficielle, on va s'intéresser dans la présente étude à la nappe profonde Plio-Quaternaire.



Echelle :1/500000

Fig.07. Carte géologique de la zone d'étude (Extrait de la carte géologique de l'Algérie. D'après M.J. Flandrin)

Légende

Q : Quaternaire

mm : Miocène moyen

mi : Miocène inférieur

es : Eocène supérieur

em : Eocène moyen

ei : Eocène inférieur

Ct : Maastrichtien

Cn : Aptien

Ci : Berriasien

2.1.1.7.5. Interprétation de la colonne litho-stratigraphique

La lithologie et les caractères hydrodynamiques (perméabilité) constituent les points les plus importants qui peuvent nous aider à tirer les formations susceptibles de renfermer des nappes aquifères et à partir de ces paramètres on a classé les formations en 3 catégories :

- 1- Les formations favorables de constituer des aquifères poreux.
- 2- Les formations favorables de constituer des aquifères Karstiques.
- 3- Les formations imperméables qui jouent le rôle des limites étanches entre les aquifères.
- 4- Les formations favorables de constituer des aquifères poreux :
 - a) Les alluvions récents et anciennes du Quaternaire.
 - b) Les conglomérats et argiles sableuse du Tertiaire continental.
 - c) Les grès et les dolomies du Barrémo-Bedoulien.
- 5- Les terrains favorables d constituer des aquifères Karstiques :
 - a) Les calcaires à débris du Cénomamien.
 - b) L'Albien supérieure avec les calcaires et les calcaires dolomitiques.
 - c) Les calcaires du Gargasien.
 - d) Les calcaires dolomitiques et les dolomies du Valanginien-Hautérivien et les calcaires Zoogènes du Rhetien.
 - e) Les calcaires du Jurassique.
- 6- Les formations qui jouent le rôle de limites étanches entre les aquifères :

Le système hydraulique de la région de la plaine est formé par des nappes superposées (séparées entre-elles par des horizons imperméables et semi-perméables).

Ce sont essentiellement les argiles, les marnes et les marnes gypseuses, les gypses et les argiles versicolores gypseuses qui forment ces horizons (**Amroune et al, 2000**).

2.1.1.8. Conclusion

L'étude géologique de la région a permis de connaître la nature lithologique de différentes formations qui se présentent comme facteur limitant de la perméabilité.

Les formations susceptibles d'être un aquifère renseignent sur deux systèmes aquifères :

- Système aquifère superficiel correspond au Barrémo-Bédoulien de quaternaire.
- Système aquifère profond qui va du Barrémo-Bédoulien jusqu'au jurassique probablement (**Amroune et al, 2000**).

2.1.2. Climat et caractérisations météorologiques

L'étude hydro climatologique de la région est basée essentiellement sur l'étude des données des précipitations et des températures. Cette étude permet de définir le bilan hydrologique en se basant sur l'évapotranspiration, l'évapotranspiration réelle, le ruissellement et l'infiltration. Ce dernier paramètre participe d'une façon directe à l'alimentation et au renouvellement de l'aquifère.

2.1.2.1. Zone d'étude et son équipement

La région d'étude est une partie du sous bassin versant de Bousàada, lequel fait partie du bassin versant endoréique hodnéenne. Dans cette étude hydro climatique, on tentera de procéder à des calculs à partir de données météorologiques disponibles, en usant de méthodes de calcul qui s'adaptent plus ou moins bien à une région telle que la plaine de Bousàada.

2.1.2.2. Températures

L'étude des températures est d'un grand intérêt, car elle permet de quantifier l'évaporation et par conséquent les conditions d'alimentation des aquifères et la concentration des sels dissous dans leurs eaux.

Tableau.05. Température moyenne mensuelle de la région de Bousàada durant la période (1994-2016)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	Jt	A
T moy (c°)	25,19	19,89	12,51	9,80	10,06	11,1	13,90	19,20	24,25	28,74	31,68	30,25

Source : Station météo de Bousàada, 2018

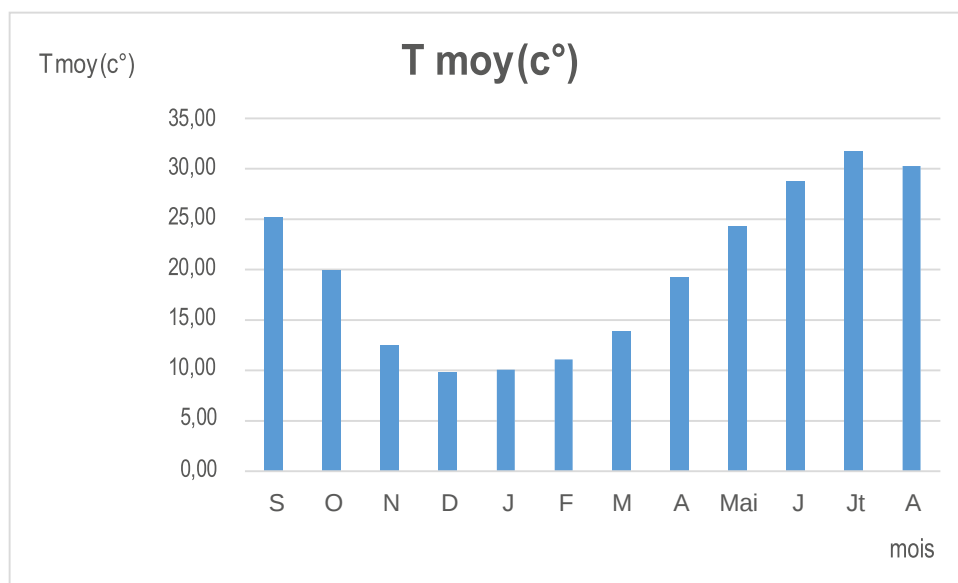


Fig.08. Température moyenne mensuelle de la région de Bousàada durant la période (1994-2016)

La figure 08 montre que le maximum de température a été enregistré en juillet avec une valeur de 31,7 °C alors que le minimum est observé en Décembre avec une valeur de 9,8°C.

2.1.2.3. Précipitation

La pluie est un facteur essentiel qui caractérise le climat d'une région, elle joue un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines.

Tableau.06. Précipitation moyenne mensuelle de la région de Bousàada durant la période (1994-2016).

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	Jt	A
précipitation (mm)	20,03	8,8	14,45	24,93	8,9	9,1	11,53	16,28	12,38	11,6	9,68	10

Source : Station météo de Bousàada, 2018

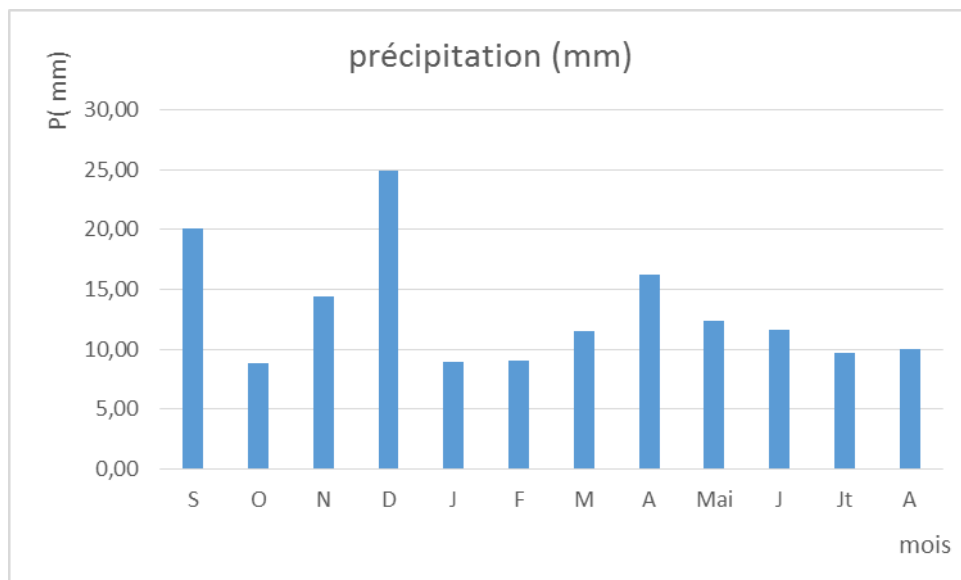


Fig.09. Précipitation moyenne mensuelle en (mm) de la région de Bousàada durant la période (1994-2016)

L'examen de la répartition mensuelle des précipitations au niveau de la station de Bousàada montre que la valeur maximale des précipitations est enregistrée dans le mois de Décembre (24.93 mm), alors que la valeur minimale est observée dans le mois d'Octobre (8.8 mm).

2.1.2.4. Interprétation de la carte pluviométrique

L'Agence Nationale des ressources Hydrauliques (A.N.R.H) (**Fig 10**) a établi une carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à une échelle 1/500 000 pour une période de 60 ans (1922/60 – 1969/89) avec un intervalle entre les isohyètes de 50 mm ce qui lui donne une assez bonne précision. Cette carte reflète les traits essentiels de la distribution des précipitations dans le secteur d'étude. On s'aperçoit alors que les précipitations étant essentiellement d'origine orographique. On note une augmentation de ces dernières avec l'altitude, les isohyètes suivent grossièrement les courbes de niveaux. Les précipitations décroissent du Nord vers le Sud, elles passent de plus de 350 mm sur les sommets de montagnes au Nord du Chott El Hodna à 200 à 250 mm au Sud au niveau de la plaine de Bousàada.

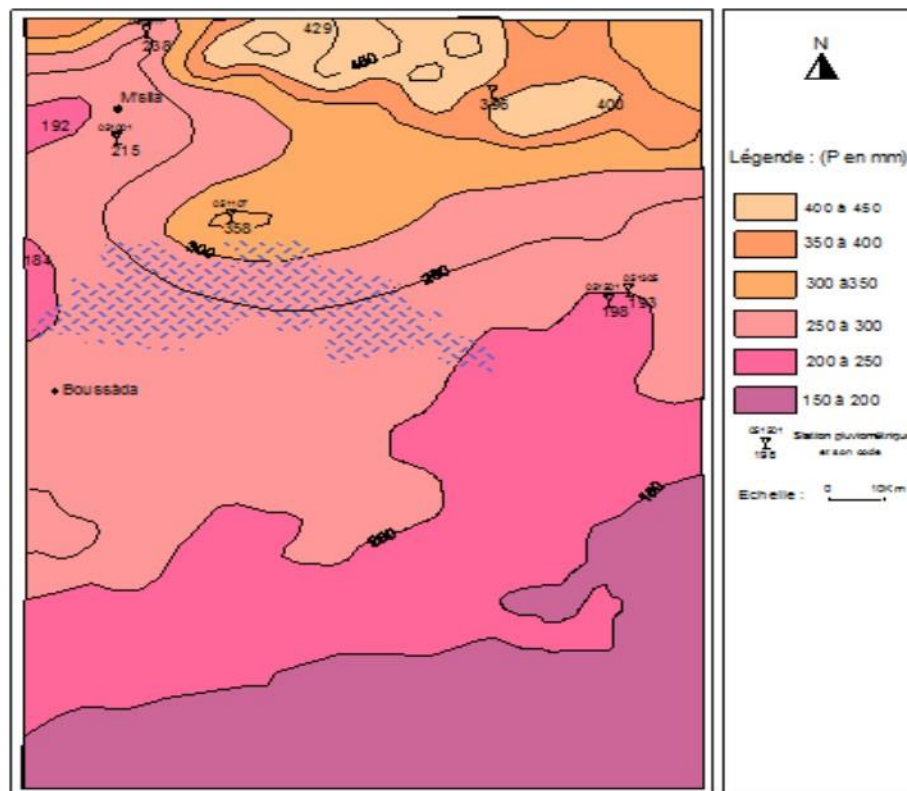


Fig.10. Carte pluviométrique de la zone de Bousàada

2.1.2.5. Vent

Le vent est un facteur important du climat, la connaissance de sa direction, son intensité et sa fréquence sont nécessaires pour la mise en valeur agricole d'une région notamment l'orientation des brises vents. Le vent assure le remplacement de l'air plus ou moins saturé au contact de la surface évaporant par des nouvelles couches ayant une température et une humidité généralement plus faibles. Il favorise donc l'évaporation, d'autant plus que sa vitesse et sa turbulence sont grandes.

Le vent (Direction et vitesse) est un paramètre essentiel pour la mise en place des asperseurs car la région de Bousàada est basée beaucoup plus sur l'irrigation par aspersion.

Tableau.07. Des vitesses moyennes mensuelles en (m/s) de la région de Bousàada durant la période (1994-2016).

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	Jt	A
vent (m/s)	1,75	1,5	1,73	2,68	2,78	4,2	3,98	3,03	2,98	2,63	2,45	2,03

Source : Station météo de Bousàada, 2018

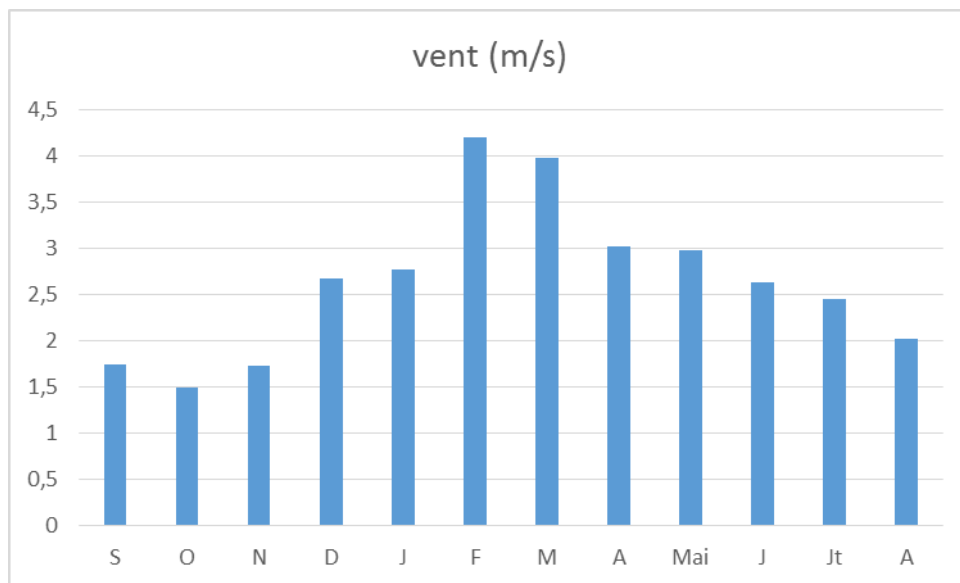


Fig.11. Variation des vitesses moyennes mensuelles en (m/s) de la région de Bousàada durant la période (1994-2016)

2.1.2.6. Evapotranspiration potentielle (ETP) :

L'évapotranspiration peut être considérée comme étant la somme des deux termes qui sont la transpiration végétale et l'évaporation du sol. L'intensité de l'évapotranspiration est fonction de la radiation solaire, de la température, de l'humidité relative de l'air, l'humidité du sol, du vent, de la couverture végétale, et en fin des travaux du sol (**Seghir, 2008**).

L'ETP peut être calculée à partir de plusieurs formules, on a utilisé la méthode de THORNTHWAITE (1948), qui fait intervenir un seul paramètre en l'occurrence la température (**Palyan, 2003**).

$$ETP = K * (16(10T/i)^a) \text{ en (mm)}$$

Où : ETP : Evapotranspiration mensuelle non corrigée, (en mm) ;

T : Température moyenne mensuelle, (en °C) ;

I : Indice thermique annuel, $I = \sum i$;

i : Indice thermique mensuel, déterminé par l'expression suivante : $i = (T/5)1.5$;

a : Coefficient calculé par la formule suivante : $a = 1.6*(I/100) + 0.5 = 2.09$

K : Coefficient de correction, qui dépend du temps et de l'altitude.

Les résultats de calcul de l'ETP par la méthode de C.W. Thornthwaite sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau.08. Calcul de l'ETP de la Station de Bousàada selon C.W.Thornthwaite

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	Jt	A	annuelle
T moy (c°)	25,1 9	19, 89	12, 51	9,8 0	10, 06	11, 1	13, 9	19, 2	24,2 5	28,7 4	31,6 8	30,2 5	236,56
i	11,5 7	8,0 9	4,0 1	2,7 7	2,8 8	3,3 4	4,7	4,2	10,9 2	14,1 2	16,3 7	15,2 6	98,23
ETP	112, 39	68, 92	26, 39	15, 92	16, 81	20, 61	32, 83	64, 06	103, 88	147, 56	180, 63	164, 16	954,16
k	1,03	0,9 7	0,8 6	0,8 5	0,8 7	0,8 5	1,0 3	1,0 9	1,21	1,21	1,23	1,16	
ETP(corrigé)	115, 76	66, 85	22, 89	13, 53	14, 62	17, 52	33, 81	69, 82	125, 86	178, 66	222, 17	190, 43	1071,9 2

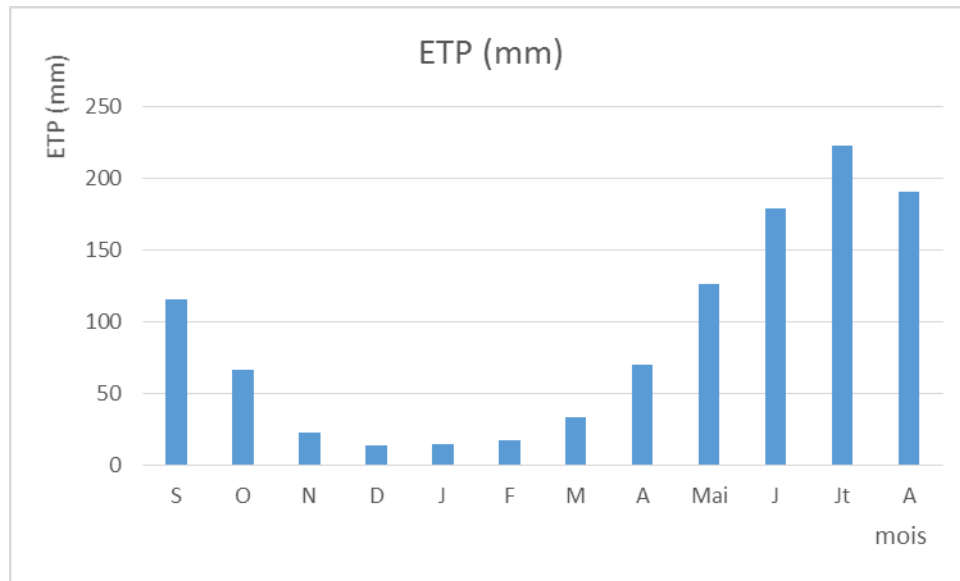


Fig.12. Evapotranspiration de la station de Bousàada durant la période (1994-2016)

2.1.2.7. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)

C'est une fraction de l'ETP qui dépend beaucoup plus de l'état des réserves en eau du sol, et donne des informations sur la quantité d'eau évaporée réellement (**Seghir, 2008**).

Ce paramètre est calculé par plusieurs méthodes empiriques prenant en compte les précipitations et les températures.

2.1.2.7.1. Méthode de TURC

C'est la méthode la plus utilisée, elle tient compte des précipitations et des températures moyennes annuelles.

$$ETR = P / (0.9 + P^2/L^2)^{1/2}$$

Où :

ETR : évapotranspiration réelle (mm) ;

P : précipitation moyenne annuelle (mm) ;

L : le pouvoir évaporant de l'atmosphère ;

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T : température moyenne annuelle (°C).

$$P = 157.65 \text{ mm} ; T = 19.71 ; L = 1382038$$

Donc ETR = 164.54 mm ; soit 104% des précipitations.

2.1.2.7.2. Méthode de Wundt

L'abaque de Wundt modifié par Coutagne permet de déduire la valeur de l'ETR ou De en prenant en considération la température moyenne annuelle (°C) et les précipitations annuelles (mm).

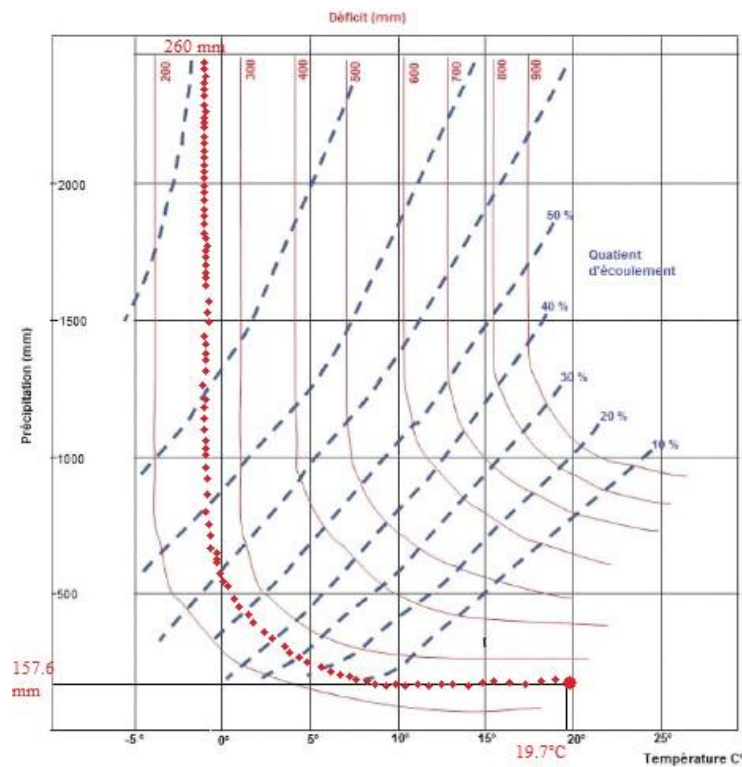


Fig.13. Abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE

2.1.2.7.3. Méthode de P. Verdeil (1988)

Afin d'estimer les valeurs de l'évapotranspiration réelle ou du déficit d'écoulement, P. Verdeil a établi un abaque bi- logarithmique pour les régions semi-arides en tenant compte uniquement des précipitations annuelles.

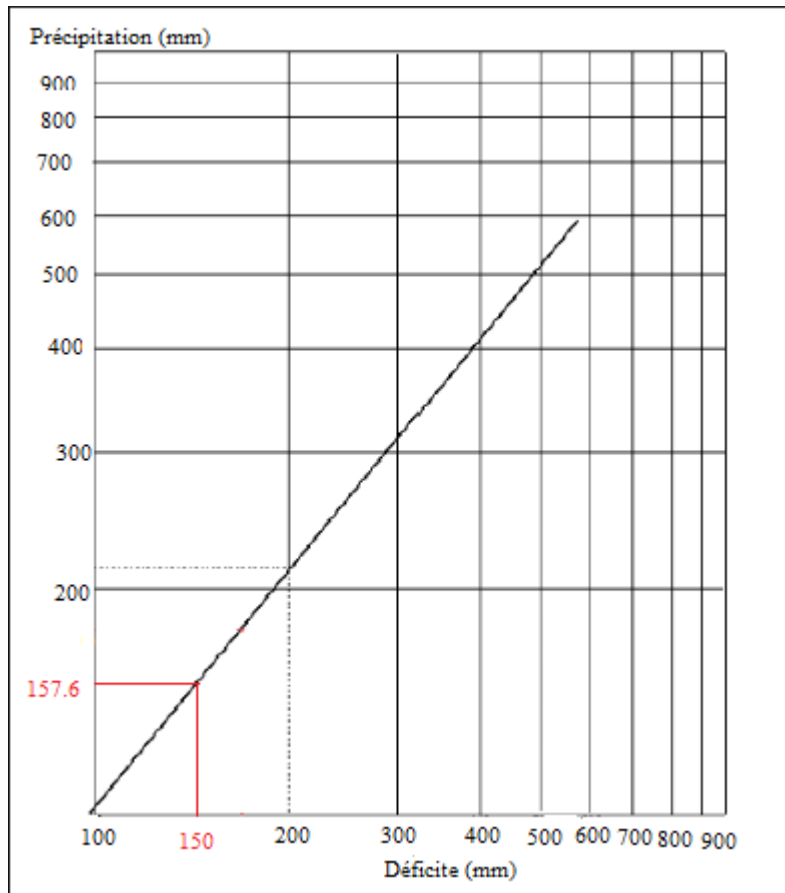


Fig.14. Abaque de VERDEIL

2.1.3. Etude du climat de la région

De nombreux indices et formules ont été élaborés pour caractériser le climat d'une région, ils font intervenir essentiellement, la conjonction température-pluviométrie : L'indice d'aridité de D. Martonne, le diagramme de L. Emberger, la méthode de H. Gaussen et F. Bagnouls et la méthode de G. Euverte.

2.1.3.1. Indice de D. MARTONNE

Cet indice proposé par De Martonne en 1923 est fondé sur le régime des précipitations et sur les températures, il est calculé par la formule suivante :

$$I = P / T + 10$$

Où :

I : indice d'aridité de De Martonne ;

P : précipitation moyenne annuelle (mm) ;

T : température moyenne annuelle (°C).

Selon De Martonne :

Donc : $I = 157.65/19.71 + 10 = 5.30$

L'application numérique permet de voir que cet indice est égal à 5.30

Pour cette méthode quand I est compris entre 5 et 10, on est dans un régime désertique écoulement temporaire, ce qui est le cas pour la station de Bousàada.

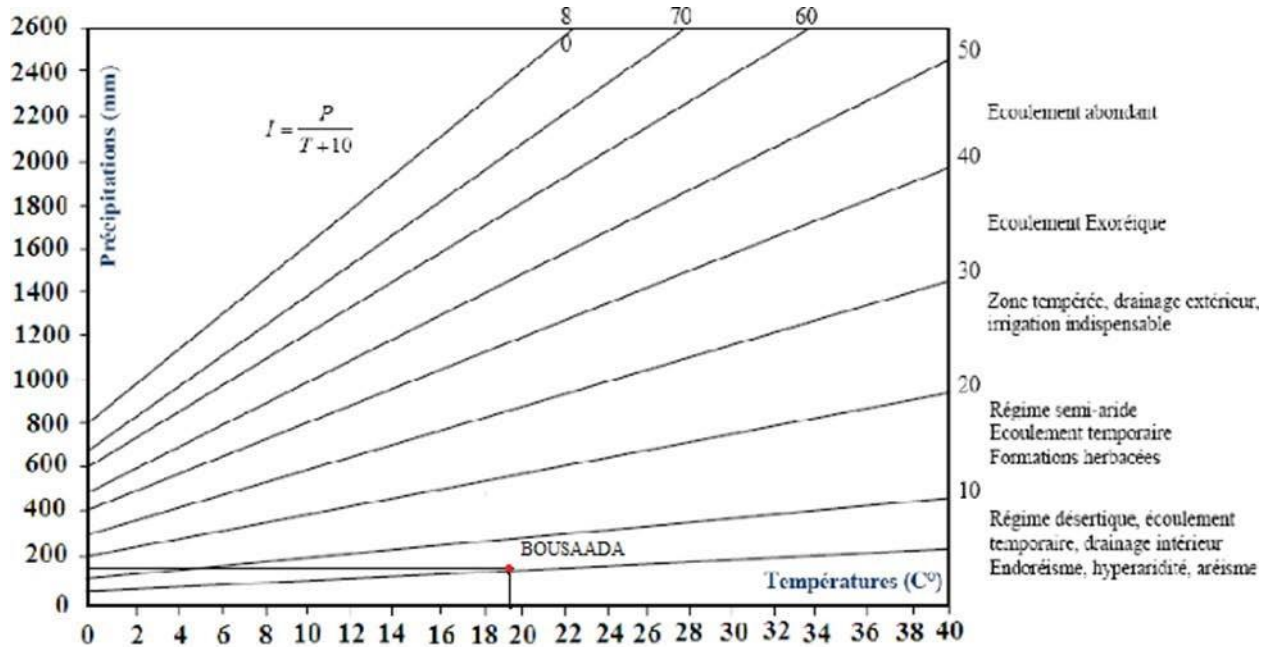


Fig.15. Indice de D. MARTONNE

2.1.3.2. Le diagramme de L. EMBERGER

Pour préciser le climat de la région nous allons utiliser le climagramme de L. Emberger sur lequel nous avons reporté les données relatives à la station avec, en abscisse la moyenne des minimales de la saison froide (en °C), et en ordonnée Q2 donné par la formule suivante :

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

Avec :

Q^2 : Le quotient pluviométrique d'Emberger ;

P : Précipitation annuelle en mm ;

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimée en degré absolu (°K) ;

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimée en degré, absolu (°K).

Sachant que le passage de la température °C en °K se fait selon la formule suivante :

$$T^{\circ} K = T^{\circ} C + 273.$$

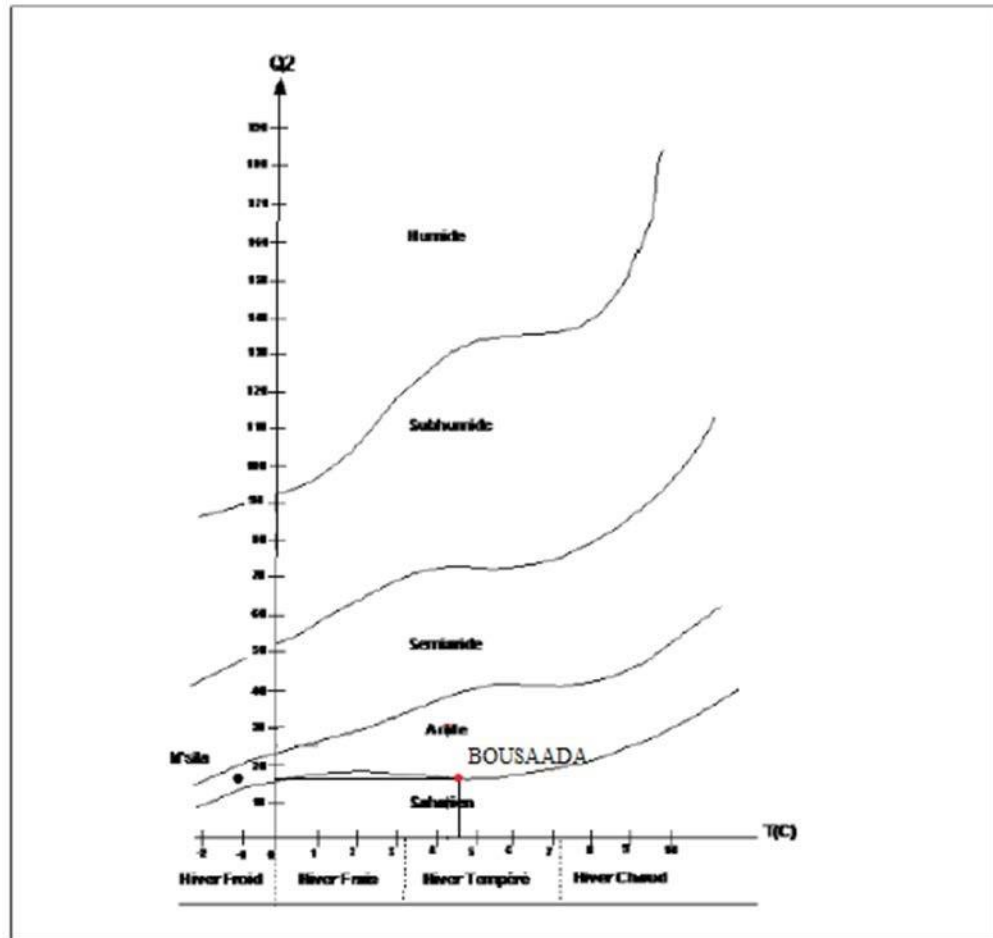


Fig.16. Diagramme d'Emberger

D'après le diagramme d'Emberger, la région d'étude fait partie de l'étage climatique aride à hiver tempéré.

2.1.3.3. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls est la combinaison de deux paramètres climatiques principaux, qui sont la température et la précipitation. Pour ces deux auteurs un mois sec est celui où le total moyen des précipitations exprimé en (mm) est inférieur ou égal au double de la température moyenne.

Cette relation permet d'établir un graphique sur lequel les précipitations sont portées à l'échelle double des températures ($P = 2T$).

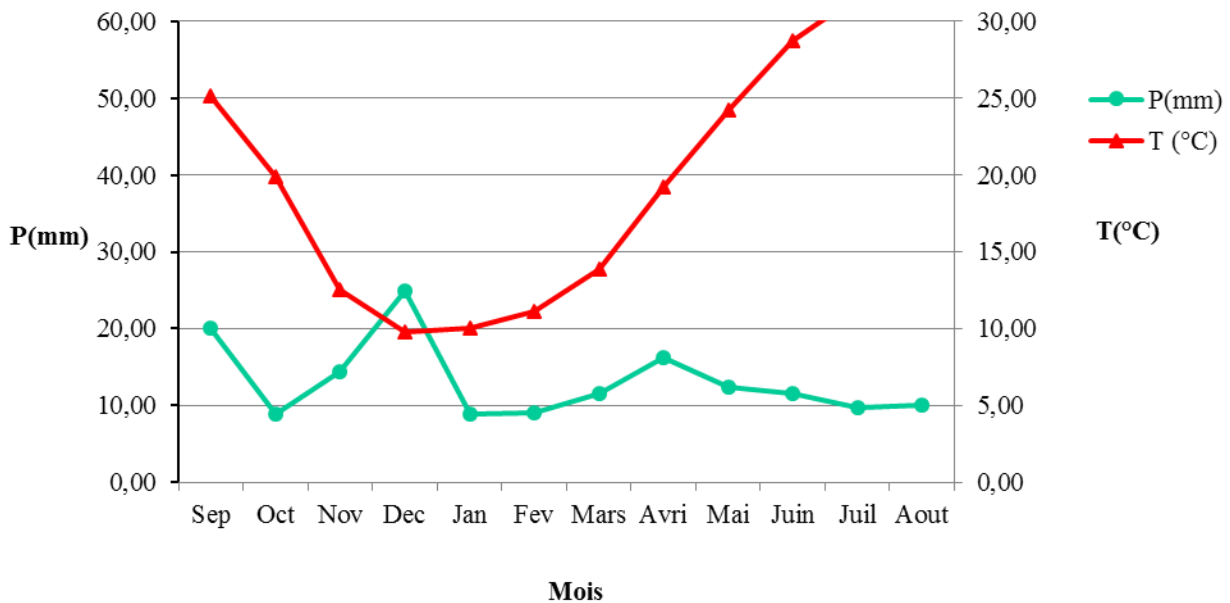


Fig.17. Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bangoulas

Le diagramme Ombrothermique précise les périodes sèches et humides durant l'année, Alors on observe l'existence d'une période sèche longue et très chaude presque toute l'année sauf le mois de Décembre.

2.1.3.4. Méthode de THORNTHWAITE

Pour établir le bilan il faut d'abord calculer la quantité d'eau emmagasinée dans la couche pédologique (RFU) qui est facilement utilisable par les plantes et nécessaire pour leur bon fonctionnement physiologique.

La réserve facilement utilisable RFU est calculée par la formule de Hallaire (1960) donnée ci-dessous :

$$RFU = (C - F / 100) * h * D + 30 \text{ mm.}$$

Où :

RFU : Réserve facilement utilisable en (mm) ; C :

Capacité de rétention aux champs ;

F : Capacité au point de flétrissement des plantes ; c'est la limite inférieure de l'eau absorbable par les plantes ;

h : Profondeur du sol en (mm) ;

D : Densité apparente du sol (Hallaire propose de prendre D = 1) ;

Les 30 mm supplémentaires correspondent au déracinement capillaire.

Hallaire propose :

C – F = 05 % → pour un sol sablo – limoneux ;

C – F = 10 % → pour un sol limoneux ;

C – F = 20 % → pour un sol argilo – limoneux ;

Nous avons pris C – F = 05 % et nous pris h = 400 mm (profondeur moyenne d'enracinement des cultures de la région).

La RFU calculée donne une valeur égale à 50 mm.

2.1.3.4.1. Le bilan hydrique

Le bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite, pour la station de Bousàada est porte dans le tableau

Tableau.09. Bilan hydrique de la station Bousàada (méthode de Thornthwaite)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	Jt	A	Ann ée
précipi tation (mm)	20,03	8,8	14,45	24,93	8,9	9,1	11,53	16,28	12,38	11,6	9,68	10	157,6 5
ETP (mm)	115,7 6	66,85	22,89	13,53	14,62	17,52	33,81	69,82	125,8 6	178,6 6	222,1 7	190,4 3	1071, 92
p-ETP	- 95,73	- 57,78	-8,44	11,4	-5,72	-8,42	- 22,28	- 53,54	- 113,4 8	- 167,0 6	- 212,4 9	- 180,4 3	- 913,9 7
RFU	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	50
ETR	20,02 5	8,8	14,45	13,53	8,9	9,1	11,53	16,28	12,38	11,6	9,68	10	146,2 6
I+R	0	0	0	11,4	0	0	0	0	0	0	0	0	11,4

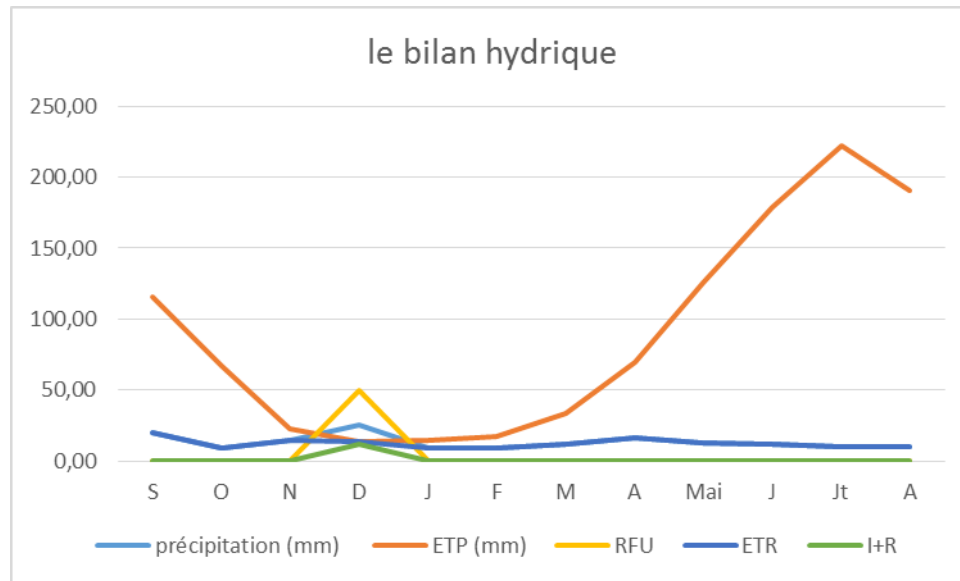


Fig.18. Bilan hydrique de la station Bousàada selon Thornthwaite.

Les calculs du bilan hydrique de la station de Boussaâda nous permettent de faire les observations suivantes :

Les précipitations sont toujours inférieure à l'ETP ($P < ETP$) ce qui implique que les réserves du sol sont toujours nulles (pas de reconstitution des réserves de sol) qui résulte un excédent nul presque pendant toute l'année (à l'exception du mois du décembre), et donc nécessitent une exploitation des eaux souterraines à des fins agricoles.

Conclusion :

Au terme de ce chapitre nous pouvons dire que :

- 7- La précipitation moyenne est de l'ordre de 157,65mm/an.
- 8- La température moyenne est de l'ordre 19.7 °C.
- 9- La station de Boussaâda se situe dans la zone climatique aride à hiver tempéré.
- 10- La valeur de l'évapotranspiration réelle moyenne pour la station de Boussaâda est de l'ordre de 146.26 mm.
- 11- Le déficit agricole des précipitations est de l'ordre de 11.4 mm, ce qui nécessite un apport d'eau pour l'irrigation des cultures pendant toute l'année.
- 12- La valeur de l'ETR de Thornthwaite, est sous-estimée, car on trouve à la fin que l'infiltration tend vers zéro ce qui est invraisemblable et pose le problème d'alimentation de la nappe.

Chapitre II: matériel et méthode

2.2.1. Echantillonnage

2.2.1.1 Stratégie de prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.) **(Rodier, 2009).**

Le prélèvement subira obligatoirement un certain temps de transport et une éventuelle attente au laboratoire avant la mise en route analytique, ces temps devront être réduits au minimum.

Pour les analyses physico-chimiques le prélèvement a été effectué selon les étapes suivantes :

- Préparation de deux flacons propres en plastique d'un litre pour l'échantillonnage.
- Ouvrir la vanne d'échantillonnage et permettre à l'eau de s'écouler pendant au moins 2 minutes avant la collection.
- Rinçage du flacon d'échantillonnage au moins deux fois avec de l'eau traitée.
- Remplir chaque flacon lentement avec un faible débit pour éviter les turbulences et la formation des bulles d'air.
- Fermer le flacon et s'assurer qu'il n'y a pas de vide au-dessus de l'échantillon.
- Étiquetages des flacons d'échantillonnage en déterminant le point de prélèvement, la date et l'heure.
- La détermination de la plupart des paramètres physico-chimique a été effectuer immédiatement, dans le Cas contraire les échantillons ont été conserver dans des conditions appropriées **(Zouag et Belhadj, 2017).**

Le transport à la température de 4 C° à l'obscurité dans des emballages isothermes permet d'assurer une conservation satisfaisante. Les échantillons sont conservés immédiatement dans une glacière portative avec une réserve de froid suffisante pour garder une température inférieure à 4C°, jusqu'à l'arrivée au laboratoire.

Dans le cadre de notre étude, nous avons effectué l'échantillonnage dans le date de 13/05/2018. Les paramètres physiques (pH, conductivité électrique et température) nécessitent des mesures in situ.

Tableau.10. Conditions de conservation de prélèvement

Caractéristique à analysé	Volume minimum du prélèvement (mL)	Température de Conservation à (°c)	Effectuer la mesure avant
pH	-	4	24h (obsc)
CE	100	4	48h (obsc)
Chlorure	100	-	15 jours
Sulfate	200	4	07 jours
Nitrate	-	4	48h (obsc)
Nitrite	-	4	48h (obsc)
Calcium	800	4	Plusieurs mois
Magnésium	-	4	Plusieurs mois
Potassium	-	4	Plusieurs mois
Sodium	-	4	Plusieurs mois
Carbonate et bicarbonate	500	4	Quelques jours (obsc)

Rodier ; 1996

2.2.2. Etude des paramètres physiques

2.2.2.1. Température

a-Mesure de Température

b-Principe

La mesure de la température a été effectuée sur terrain. Il y a lieu de déterminer la température de l'air au même endroit et au même moment (**Rodier, 1996**).

c-Mode opératoire

La température a été mesurée au même moment et au même endroit que pour les prélèvements d'eau à l'aide d'un thermomètre Marque en respectant les précautions décrites par Rodier (1996); lors de la mesure de la température de l'air, nous avons évité le rayonnement solaire direct et la chaleur dégagée par l'opérateur.

2.2.2.2. Mesure de potentiel en hydrogène (pH)

La mesure de pH est lue directement avec le pH-mètre,

2.2.2.3. Mesure de la conductivité électrique (CE)**b-Principe**

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (Rodier, 1996).

c-Mode opératoire

La mesure de la conductivité est lue directement avec le conductimètre,

2.2.2.4. Détermination de Résidu sec (R.s)**a-Principe**

Une certaine quantité d'eau est évaporée dans une capsule tarée, le résidu desséché est ensuite pesé.

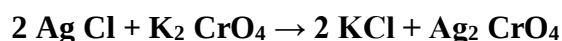
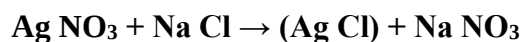
b-Mode opératoire

Evaporer progressivement au bain- marie dans un bécher tarée 100ml d'eau. Le bécher n'étant rempli qu'à mi-hauteur. Après évaporation totale de l'eau ; porter le bécher à l'étuve à 105°C pendant 4 heures et laisser refroidir un quart d'heure, peser immédiatement et rapidement.

Soit P le poids du bécher. La pesée est obtenue par la méthode différentielle.

2.2.3. Etude des paramètres chimiques**2.2.3.1. Dosage volumétrique de chlorure (Cl)****a-Principe**

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium, la fin de réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent (RODIER, 1996). La cause de changement de coloration est le début du précipité rouge de $\text{Ag}_2 \text{CrO}_4$, au moment où il précipite sous forme de AgCl :

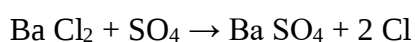


b-Mode opératoire

La mesure des chlorures a été effectuée par la méthode volumétrique. A 5 ml d'eau à analyser, sont ajoutés 2 gouttes de K_2CO_4 (coloration jaunâtre), puis titrer avec $AgNO_3$ (Fluka) à 0.01 N à la coloration brunâtre.

2.2.3.2. Dosage colorimétrique des sulfates (SO_4)**a-Principe**

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de $BaCl_2$ (RODIER, 1996):

**Gomme d'acacia 0,25%**

Dans une fiole jaugée de 100mL, dissoudre dans de l'eau déminéralisée (4-3-1) 0,25 g de gomme d'acacia. Ajuster au volume homogénéisé.

- Chlorure de baryum ($BaCl_2 \cdot 2H_2O$) en poudre.
- Solution mère de sulfate de sodium (Na_2SO_4) 200mé.l-1

Dans une fiole jaugée de 500mL, contenant environ 400 mL d'eau déminéralisée (4-3-1) dissoudre 7.1025g de sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4). Ajuster au volume. Homogénéiser.

- Solution filles de sulfate de sodium (Na_2SO_4)

Dans une fiole jaugée de 1000mL, diluer respectivement 5, 10, 15, 20 et 25mL de la solution mère (4-3-5) avec de l'eau déminéralisée (4-3-1), ces solutions contiennent respectivement 1, 2, 3, 4, et 5 mé.l-1. Ajuster au volume homogénéisé.

b-Mode opératoire

- transférer 25 mL de l'extrait dilué (à 10 ou 100) dans une fiole jaugée de 100mL et ajouter 10 mL de la solution $NaCl.HCl$ (4.3.2) 2mL de gomme d'acacia (4.3.3) et 1g de poudre de chlorure de baryum (4.3.4)

- Agiter à la main, ajuster au volume avec l'eau déminéralisée (4.3.1) homogénéiser.
- Préparer un témoin et les solutions filles selon le même protocole.
- En prenant le témoin comme référence, ajuster à 0,00 l'absorbance du spectrophotomètre réglé à 600 nm.
- Mesurer l'absorbance au spectrophotomètre à 600 nm pour les solutions filles et les échantillons.

2.2.3.3. Dosage colorimétrique du nitrate (NO_3)**a-Principe**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent des paranitrosalicylate de sodium coloré en jaune susceptible d'un dosage spectrophotométrique (Rodier, 1996).

b-Mode opératoire

La mesure des nitrates a été effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption moléculaire (HACH, Odyssey DR/ 2500). A 10 ml d'eau à analyser sont ajouté 1 ml de salicylate de sodium (Biochem chemopharma), le mélange est amené dans un évaporateur à 75 °C jusqu'à la vaporisation total du liquide. Après refroidissement, sont ajouté 2 ml d'acide sulfurique (Organics), la solution est alors laisser repos pendant 10 min pour assurer le déroulement total des réactions, puis 15 ml d'eau distillée et 15 ml de la solution de tartrate de sodium (PROLABO), et après 10 mn de repos finalement obtenue est passée au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 415 nm.

2.2.3.4. Dosage volumétrique du calcium (Ca)**a-Principe**

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse d'E.D.T.A à pH compris entre 12 et 13. Ce dosage se fait en présence de murexide. L'E.D.T.A Réagit tout d'abord avec les ions des calciums libres, puis avec les ions calciums combiné avec d'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur violet, (**Rodier 1996**).

b-Mode opératoire

A 50 ml d'eau à analyser, sont ajouté 2 ml de Naoh à 2 N (Fischer scientifique), puis du murexide (PROLABO), et titrer avec l'E.D.T.A. (MERCK) jusqu'au virage «Violet», puis notée «V1».

2.2.3.5. Dosage volumétrique du magnésium (Mg)**a-Principe**

Le magnésium est dosé avec une solution aqueuse d'E.D.T.A., ce dosage se fait en présence de noir eriochrome. L'E.D.T.A. réagit tout d'abord avec les ions du magnésium libre, puis avec les ions magnésium combiné avec d'indicateur qui vire alors de la couleur violet à la couleur bleue (**Rodier, 1996**).

b-Mode opératoire

A 50 ml d'eau à analyser, sont ajouté du 2 ml de NH_4OH à (10.1), puis noir eriochrome (PROLABO) et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage «Bleu» puis notée «V2».

-Méthode par spectrophotométrie à flamme**a-Principe**

Cette méthode physique d'analyse utilise la propriété qu'ont les atomes neutres d'absorber à une certaine longueur d'onde un quantum.

b-Mode opératoire

Nébuliser l'eau à analyser dans une flamme air-acétylène oxydant en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 589nm.

2.2.3.6. Potassium**a-Méthode par spectrophotométrie à flamme****b-Principe**

Cette méthode physique d'analyse utilise la propriété qu'ont les atomes neutres d'absorber à une certaine longueur d'onde un quantum

d-Mode opératoire

Nébuliser l'eau à analyser dans une flamme air-acétylène oxydant en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 766.5nm.

2.2.3.7. Dosage volumétrique de carbonates et bicarbonates**a-Principe**

Les carbonates n'existant qu'à $\text{pH} > 8,3$ et les bicarbonates si le pH est compris entre 4,4 et 8,3. Au cours d'un dosage cimérique doublé d'une mesure de pH, à quel moment ces ions sont encore présents ou non dans l'échantillon.

b-Mode Opératoire

- Prélever 20 ml de la solution de l'eau + 3 gouttes de Phynolphtaline, s'il y a une coloration rose, donc il y a les carbonates.
- Titrer avec l'acide sulfurique jusqu'à la disparition de la couleur rose.
- S'il n'y a pas une coloration de la solution $\Rightarrow$ il y a les bicarbonates.
- Ajouter des gouttes (3-4) de l'indicateur coloré méthyle orange et titrer avec l'acide sulfurique jusqu'à l'apparition de la coloration orange (changement de coloration jaune à orange)

Calcul :

$$\text{Les carbonates (meq / l)} = (X * 0.05 * 1000) / Y$$

X : volume de l'acide sulfurique utilisé Y : volume de la solution du sol ou de l'eau = 20 ml

$$\text{Les bicarbonates (meq / l)} = (2 * X * 0.05 * 1000) / Y$$

Pour la titrations

Partie III
Résultats et Discussions

Introduction

Le chimisme des eaux souterraines dépend principalement de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux dans le sol. Cette interaction influe sur la teneur des éléments dissous (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ,...). Les concentrations en ces éléments sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre l'aquifère et les eaux de surface (**Gouaidia, 2008**).

Ce chapitre sera consacré à l'interprétation des analyses physico-chimiques d'échantillons d'eau que nous avons prélevés au niveau de l'aquifère de Tertiaire continental de la plaine de Bousàada. Des données d'archives des forages ont été collectées (13 forages) et des forages récemment ont été échantillonnés durant le mois de Mai 2018 répartis sur l'ensemble du secteur d'étude. Ce choix a été justifié, d'une part par leur répartition spatiale et d'autre part, que ces forages captent les eaux de la même nappe souterraine utilisées en irrigation.

De plus, il est pour but de définir les faciès chimiques de ces eaux souterraines, de les comparer et de suivre leur évolution dans l'espace. Il sera également question de la qualité des eaux souterraines vis-à-vis de l'irrigation. Pour cela, un certain nombre de cartes et de diagrammes ont été élaborés et serviront de base à l'interprétation générale des résultats d'analyses chimiques.

Les éléments dosés ont été portés essentiellement sur les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et NO_3^-) (**Dib, 2009**).

3.1. Caractéristiques physico-chimiques

3.1.1. Etudes des paramètres physiques

Cette étude a permis d'acquérir un certain nombre de paramètres habituellement utilisée pour l'estimation de la qualité des eaux d'irrigation.

Ces paramètres sont très importants car ils jouent un rôle majeur dans la solubilité de l'eau, donc sur la conductibilité et la détermination de leur origine. Pour cela les principaux paramètres étudiés sont (**Tab.11.a, b**):

- La température.
- Le potentiel Hydrogène (pH).
- La conductivité.
- La dureté.

Tableau.11.a. Paramètres physiques des eaux de la plaine de Boussaâda mesurés sur terrain

Forage	Paramètres physiques		
	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH
F1	803	23	7,4
F2	1800	20	7,6
F3	2800	22	7,2
F4	1600	21	6,9
F5	1900	21	6,9
F6	1369	22	7,3
F7	2800	24	7,1
F8	2540	22	7,2
F9	2300	21	7,4
F10	1643	24	7,2
F11	2530	23	7,2
F12	4090	23	7,1
F13	3000	24,1	7,1
F14	1336	23,7	7,5
F15	2620	18	7,4

Tab.11.b. les paramètres physiques des eaux de la plaine de Boussaâda mesurés sur terrain

Paramètre Forage	Dureté totale ($^{\circ}\text{F}$)	SAR (meq/l)	Résidu sec (mg/l)
F1	22,5	1,06	666
F2	65	2,39	1344
F3	101,75	2,18	2029
F4	64,1	1,73	1177
F5	72,5	1,22	1337
F6	74,5	1,5	1358
F7	124	1,53	2335
F8	93,35	1,8	1492
F9	59	4,19	1603
F10	77,6	0,93	1326
F11	116,9	2,25	2040
F12	148	3,22	3189
F13	109,9	1,5	2157
F14	65	1,49	88
F15	137,55	1,8	2278

3.1.1.1. La température

Les résultats de cette étude obtenus (**Fig. 19**) montrent que la température ne présente pas de grande variation d'un forage à l'autre. La quasi-totalité des eaux de la plaine de Bousàada présentent une température qui varie entre 18°C au forage F15 et 24.1°C au forage F13, ceci explique par la liaison des eaux par les failles profondes sous les alluvions et le trias gypseux. Ces températures ne dépassent pas les normes fixées par l'O.M.S (25°C).

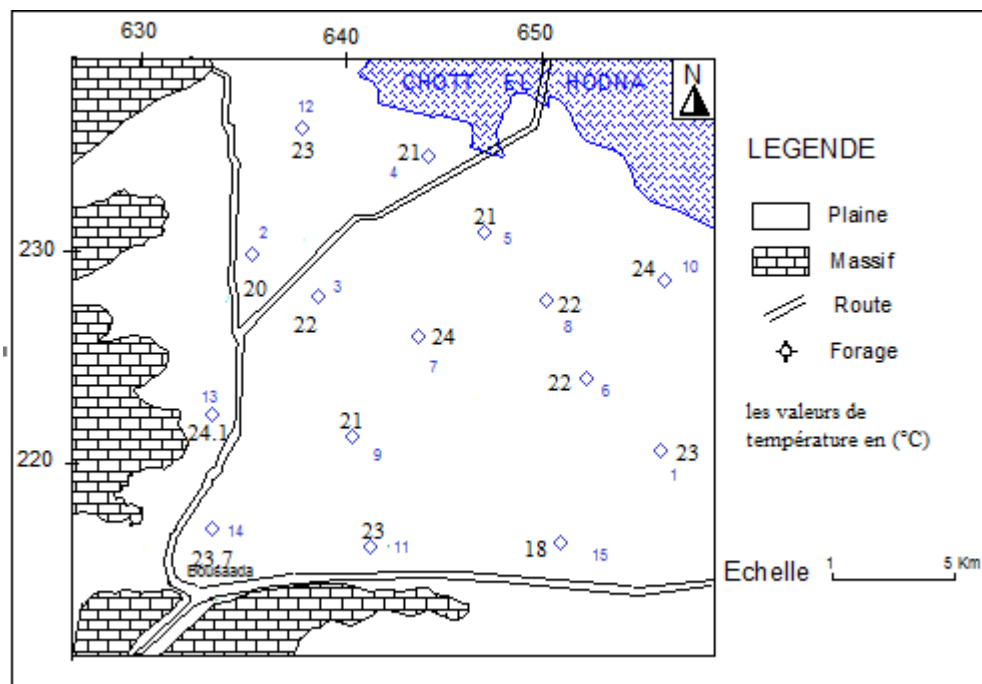


Fig.19. Variation des températures des eaux de la plaine de Bousàada

3.1.1.2. Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH mesuré sur le terrain au niveau des forages est varié de 6,9 pour le F4 et F5 et 7,6 pour le F2. La valeur moyenne calculée sur 15 échantillons est de 7,22 ; ce qui reflète un caractère basique des eaux de la région (**Fig. 20**).

Les eaux d'irrigation de la plaine de Bousàada présente un danger léger à modéré pour les cultures selon les indicateurs de qualité des eaux d'irrigation ($\text{pH} < 6.5$ et $\text{pH} > 8.5$).

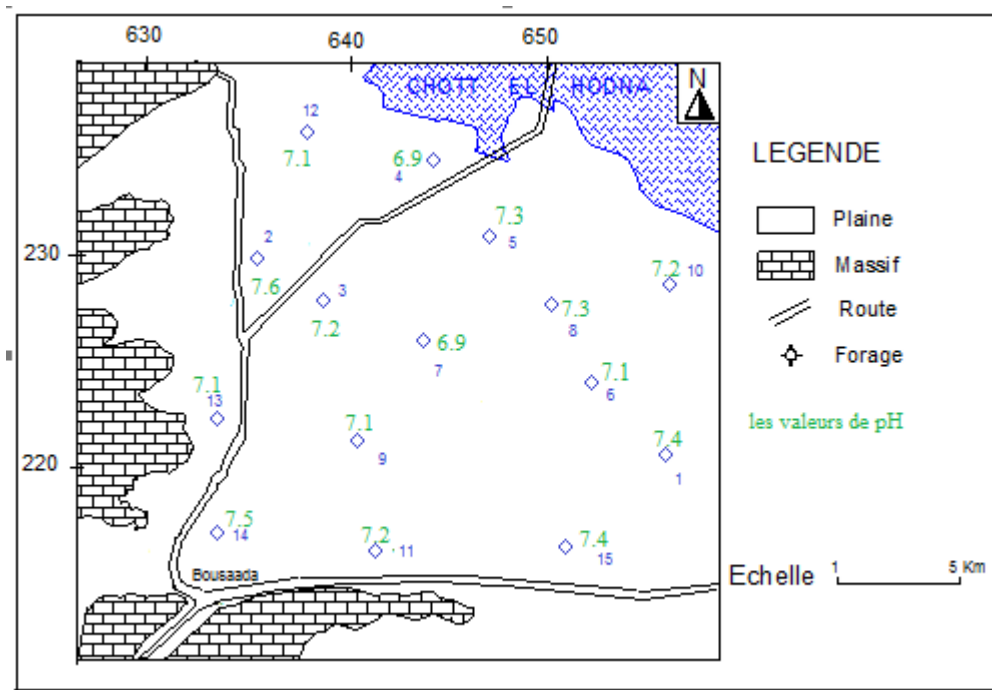


Fig.20. Variation des pH des eaux de la plaine de Bousàada.

3.1.1.2.2. Equilibres calco- carboniques

On peut avoir une idée sur l'état d'équilibre de l'eau en comparant le pH d'équilibre au pH mesuré. Le pH d'équilibre est obtenu graphiquement à partir du diagramme de Schoeller-Berkaloff (voir Annexe 2).

- Si le pH mesuré > pH équilibre l'eau est incrustante.
- Si le pH mesuré < pH équilibre l'eau est agressive.
- Si le pH mesuré = pH équilibre l'eau est neutre ou en équilibre.

L'examen du tableau 12 montre que la majorité des points d'eau (53%) sont caractérisées par une eau agressive. Ceci est dû d'une forte dissolution de carbonate de calcium ou de magnésium. Cette eau peut également provoquer la corrosion des du tubage des forages des agricultures ainsi les métaux des conduites d'irrigation.

Tableau.12. L'agressivité ou l'incrustante de l'eau

Relation entre pH mesuré et pH équilibre	Pourcentages des points d'eau
	Mai 2018
pH mesuré = pH équilibre	0 %
pH mesuré > pH équilibre	47%
pH mesuré < pH équilibre	53%

3.1.1.3. La conductivité

Le tableau ci-dessous montre que la majorité des valeurs des conductivités sont supérieures de 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec 53% de la somme des échantillons, tandis que 47% ont une CE comprise entre 750 à 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

On conclure donc que les eaux de la plaine de Boussaâda ont un degré de minéralisation élevée, donc un risque salin élevé à très élevé pour les cultures.

Tableau .13. Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 25 °C	Risque salin	Pourcentage des points d'eau (Mai 2018)
< 250	Faible	0%
250 – 750	Moyen	0%
750 – 2250	Elevé	47%
> 2250	Très élevé	53%

La gamme de variation de la conductivité des eaux souterraines de la plaine de Bousàada va de 803 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au forage F1 à 4090 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au point d'eau F12 (**Fig. 21**). La salinité de ces eaux est liée à l'effet du Chott El Hodna par l'intrusion des eaux de haute salinité à l'aquifère d'une part, et de la lithologie de l'aquifère et la présence des évaporites d'autre part.

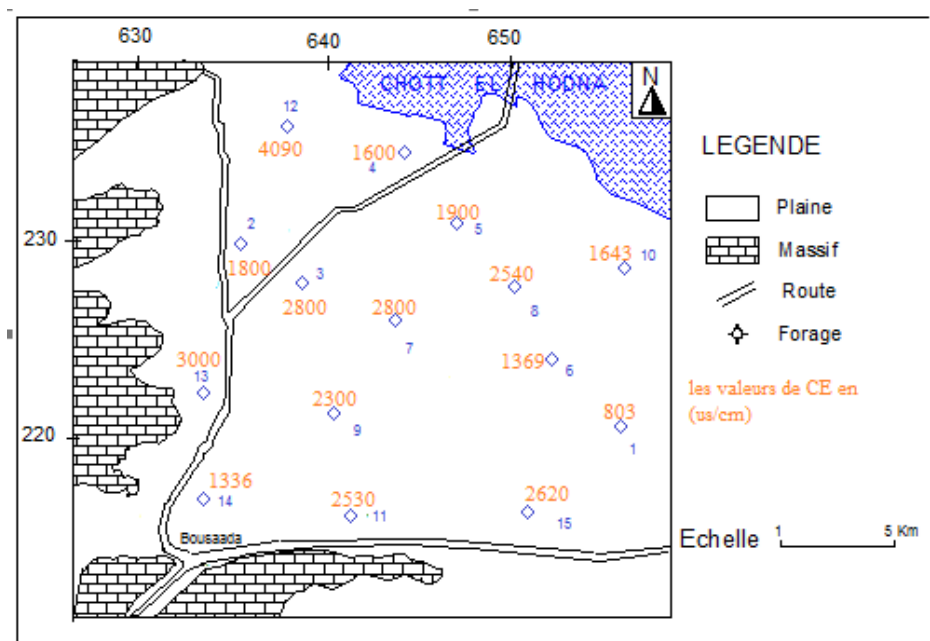


Fig.21. Variation des conductivités des eaux de la plaine de Bousàada

3.1.1.4. La dureté totale

Le degré hydrométrique ou la dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium.

$$DHT \text{ } rCa^{2+} + rMg^{2+} \text{ (en méq/l)}$$

$$DHT (rCa^{2+} + rMg^{2+}) \times 5 \text{ (en degré Français } ^\circ F)$$

Le tableau 11-b montre que la quasi-totalité des eaux analysées sont très dures, sauf F1 (22.5) °F avec un D.H.T supérieur à 54°F, avec un maximum au forage F15 (137.55 °F) et un minimum au forage F1 (22.5 °F). Cette dureté a des conséquences plus ou moins néfastes telle que la consommation excessive du savon et la mauvaise cuisson des légumes secs, ce qui a été signalé par les habitants au cours de notre campagne sur le terrain. Nous pouvons dire que les eaux souterraines de la plaine de Bousàada sont de qualité chimique médiocre.

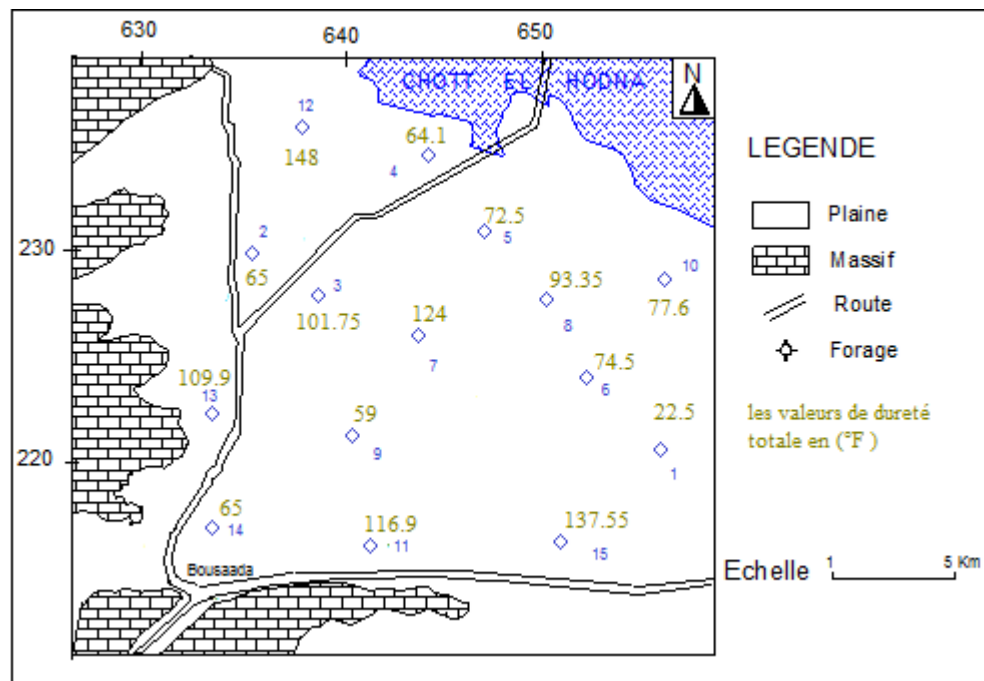


Fig.22. Variation de la dureté totale des eaux de la plaine de Bousàada

3.1.1.5. Résidus secs

Les résultats d'analyses pour l'ensemble des points échantillonnés varient entre un maximum de 3189 mg/l au forage F12 et un minimum de 88 mg/l au forage F14.

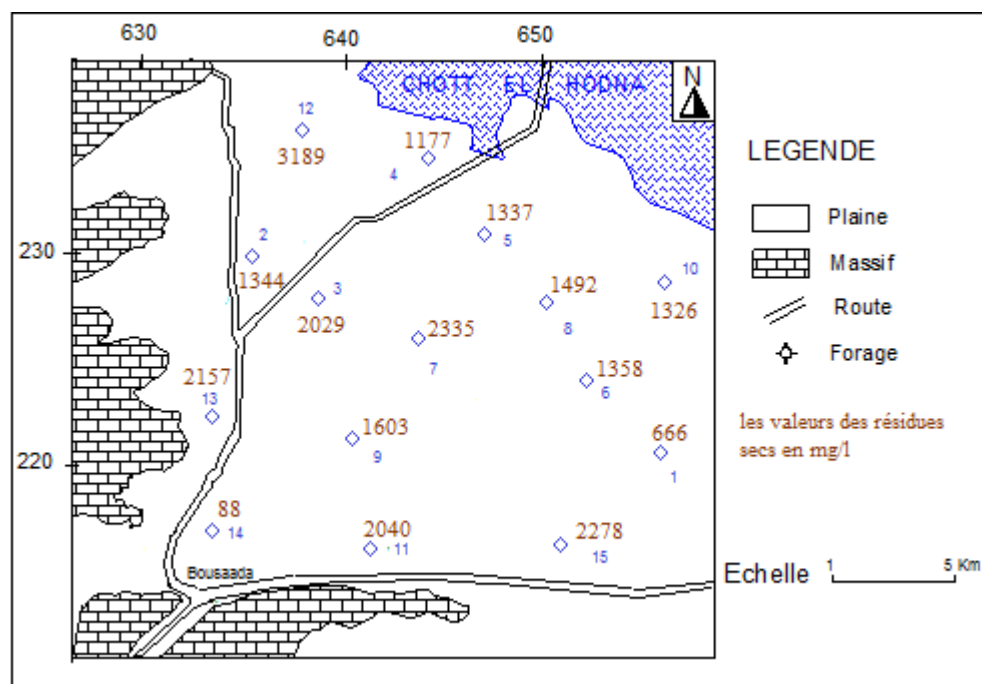


Figure.23. Variation de résidu sec des eaux de la plaine de Bousàada

3.1.2. Etude des paramètres chimiques

Tableau.14. Résultats des cations

Paramètre Forage	Les cations							
	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		K ⁺	
	mg/l	még/l	mg/l	még/l	mg/l	még/l	mg/l	még/l
F1	93	1,95	31	2,55	37	1,6	1	0,02
F2	94	4,7	101	8,30	140	6,1	10	0,25
F3	217	10,85	110	9,05	160	6,9	10	0,25
F4	133	6,65	75	6,17	100	4,4	6	0,15
F5	158	7,9	81	6,60	75	3,3	5	0,12
F6	200	10	60	4,90	93	4,1	0,8	0,02
F7	290	14,5	126	10,30	123	5,4	5	0,12
F8	250	12,5	75	6,17	126	5,5	0,5	0,01
F9	88	4,4	90	7,40	233	10,2	7	0,17
F10	215	10,75	58	4,77	59	2,6	0,6	0,01
F11	308	15,4	97	7,98	177	7,7	0	0
F12	416	20,8	107	8,80	285	12,4	0,3	0,01
F13	290	14,5	91	7,48	115	5	9,3	0,23
F14	140	7	73	6	88	3,82	1,1	0,04
F15	300	15	152	12,51	154	6,7	3,15	0,08

Tableau.15. Résultats des anions

Paramètre Forage	Les anions							
	Cl ⁻		SO ₄ ²⁻		NO ₃ ⁻		HCO ₃ ⁻	
	mg/l	még/l	mg/l	még/l	mg/l	még/l	mg/l	még/l
F1	95	2,71	78	1,62	118	1,9	159	2,6
F2	218	6,22	488	10,16	30	0,48	204	3,34
F3	285	8,14	800	16,66	72	1,16	123	2,01
F4	140	4	550	11,45	38	0,61	102	1,67
F5	125	3,57	638	14,22	43	0,69	51	0,83
F6	155	4,42	500	10,62	92	1,48	183	3
F7	385	11	813	16,93	240	3,87	90	1,47
F8	200	5,71	620	12,91	76	1,22	164	2,68
F9	343	9,8	588	12,25	22	0,35	88	1,44
F10	155	4,42	450	9,37	35	0,56	207	3,39
F11	275	7,85	918	19,12	89	1,43	98	1,6
F12	595	17	1361	28,35	89	1,43	93	1,52
F13	177	5,05	1000	20,83	25	0,4	122	2
F14	124	3,54	350	7,29	27	0,43	305	5
F15	116	3,31	1212	3,56	23	0,37	171	19,86

3.1.2.1. Le calcium

L'examen de la carte (**Fig. 24**) et le tableau 14 montrent que les teneurs de calcium varient entre 88 mg/l au forage F9 et 416 mg/l au forage F12. Les forages qui ont des teneurs en calcium inférieure à 300 mg/l sont adaptés à l'irrigation.

L'apport du calcium est assuré à nord et au Sud par les entrées qui donnent des teneurs élevées car c'est le foyer des infiltrations. Une fois les eaux sont dans la nappe, les vitesses d'écoulements sont faibles, les eaux se mélanges avec l'ensemble des réserves de l'aquifère et se diluent dans ces dernières.

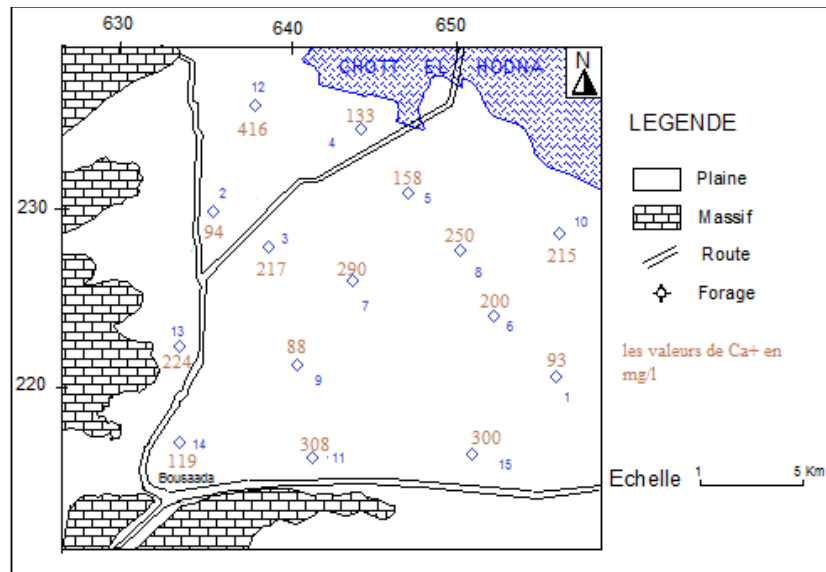


Fig.24. Distribution des concentrations en Calcium des eaux de la plaine de Bousàada

3.1.2.2. Magnésium

La teneur minimale du magnésium a été enregistrée au forage F1 avec une valeur de 31 mg/l et la teneur maximale a été enregistrée au forage F15 avec 152 mg/l. L'apport du magnésium est assuré à l'Est et au Sud à partir des formations carbonatées.

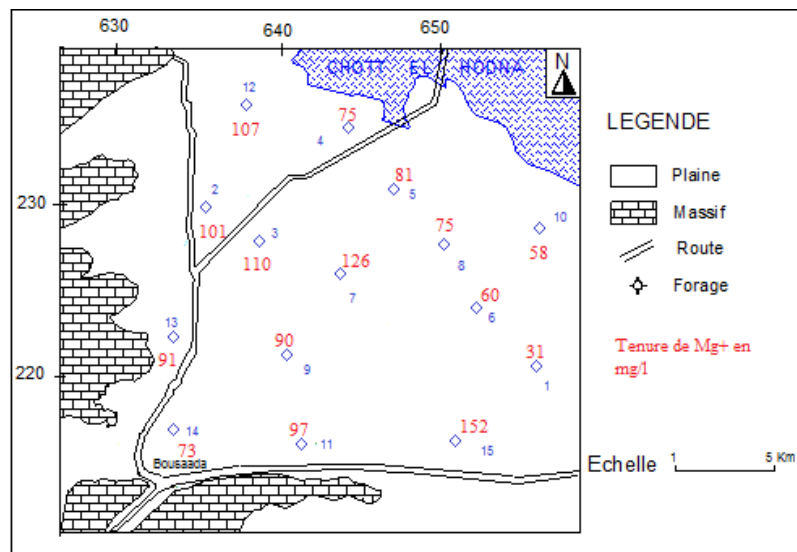


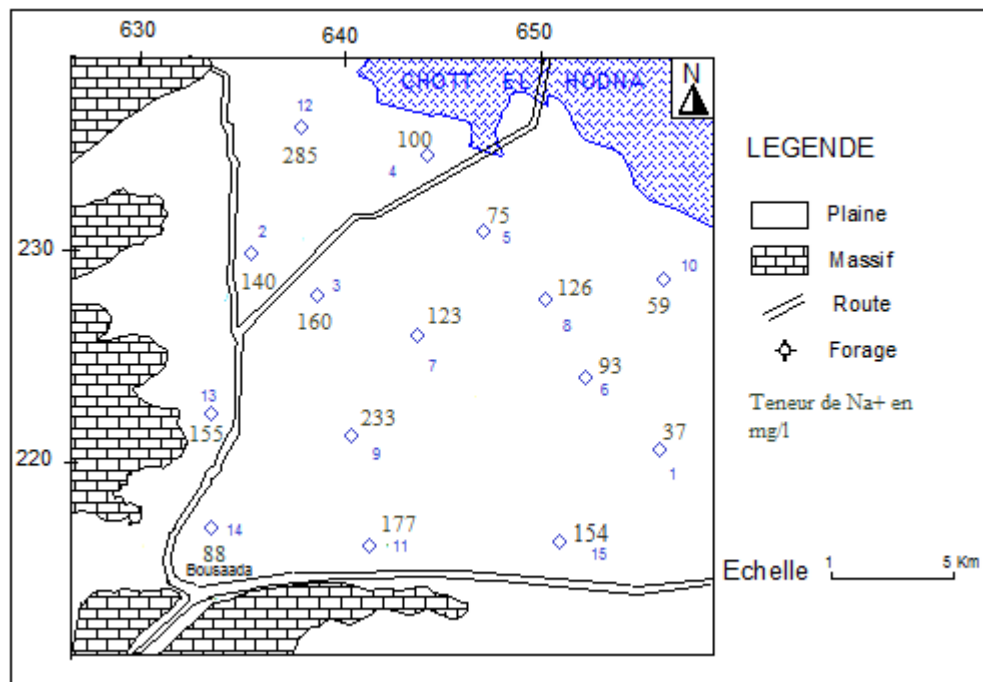
Fig.25. Distribution des concentrations en Magnésium des eaux de la plaine de Bousàada

3.1.2.3. Le sodium

L'analyse des données a montré que les concentrations des eaux en sodium varient de 37 mg/l au forage F1 à 285mg/l au forage F12.

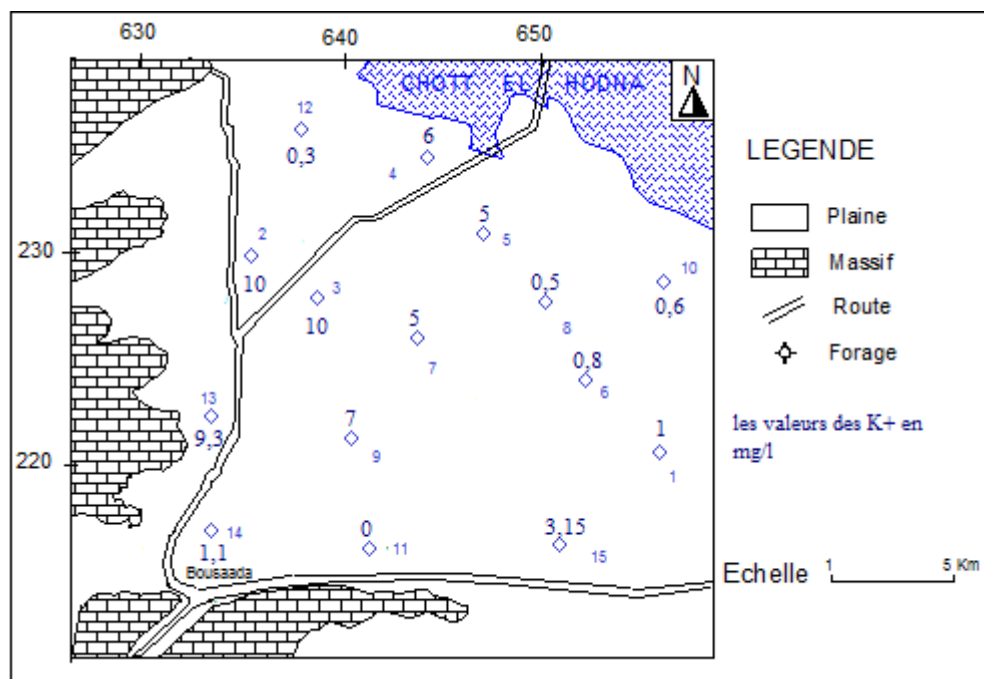
La carte de répartition de cet élément montre une augmentation des concentrations du Nord vers le Sud (**Fig. 26**). Cette élévation est due à la présence des argiles gypseuses et des

évaporites et même l'influence des eaux du Chott El Hodna par son écoulement inverse vers la nappe en raison d'une surexploitation des eaux par les agriculteurs.



3.1.2.4. Le potassium

Les concentrations de K^+ dans les points d'eau contrôlés (**Fig. 27**) varient entre 0 au forage F11 et 10 mg/l aux forages F2 et F3, les plus fortes concentrations se trouvent au niveau des zones à forte activité agricole.



Chlorures

Les teneurs en chlorures des échantillons d'eau analysées (**Fig. 28**) affichent des valeurs oscillent entre 95mg/l au forage F1 et 595 mg/l au forage F12.

Cet élément présent un risque potentiel léger à modéré pour l'irrigation des cultures dans le cas où l'arrosage se fait par gravité. Dans le cas d'irrigation par aspersion, le problème devient sérieux pour les forages d'eau qui ont des concentrations supérieures à 100 mg/l.

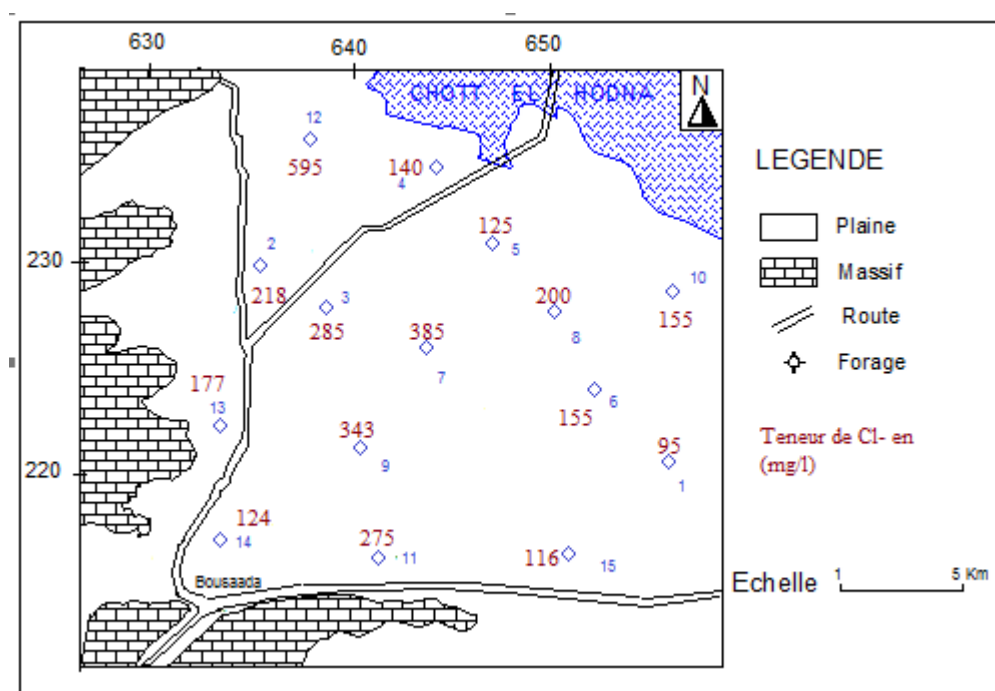


Fig.28. Distribution des concentrations en Chlorures des eaux de la plaine de Bousaada

2.1.2.6. Les sulfate

Les teneurs en sulfates dans les eaux de la région d'étude oscillent entre 78 mg/l dans F1 et 1361 mg/l dans F12. Une eau à une concentration en SO_4^{2-} supérieur à 300 mg/l est inappropriée à l'irrigation.

Les SO_4^{2-} sont en liaison avec les entrées qui fournissent ce minéral à partir des niveaux gypseux et des niveaux argileux du Trias des monts du Boussaâda.

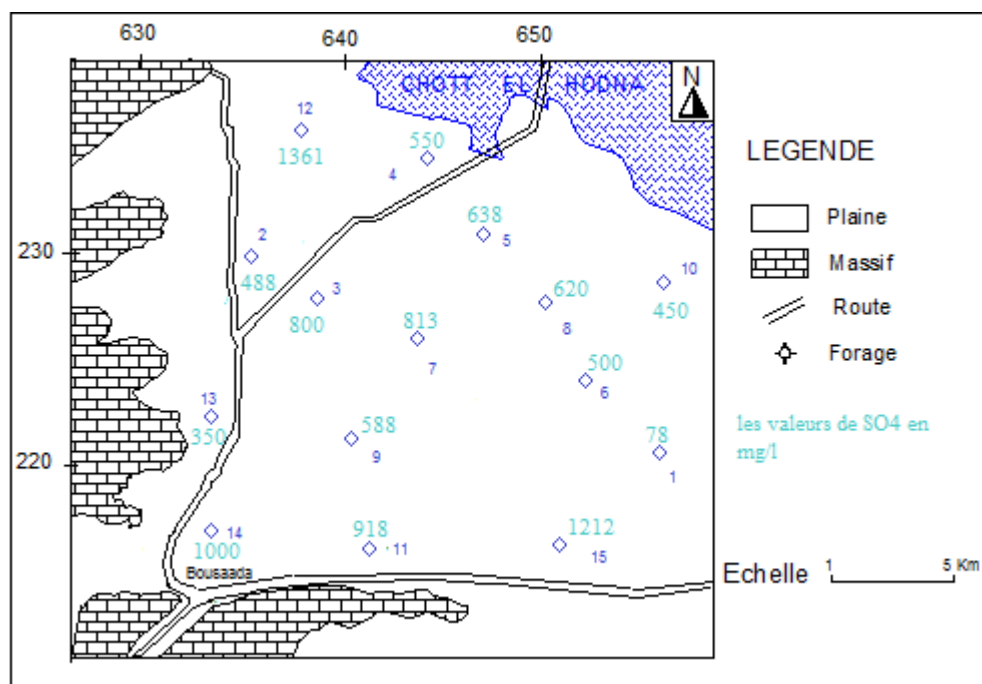


Fig.29. Répartition des concentrations en sulfates des eaux de la plaine de Bousaâda

3.1.2.7. Les bicarbonates

Les teneurs des eaux dans la plaine de Boussaâda en bicarbonates varient entre 51 mg/l au forage F5 et 305 mg/l au forage F14. Donc fortement influencées par les formations carbonatées du Crétacé et du Jurassique.

Les bicarbonates des eaux d'irrigation représentent un risque léger à modéré (90-500 mg/l) pour les cultures si les agricultures utilisent la technique d'irrigation par aspersion, et c'est le cas pour l'ensemble de la plaine.

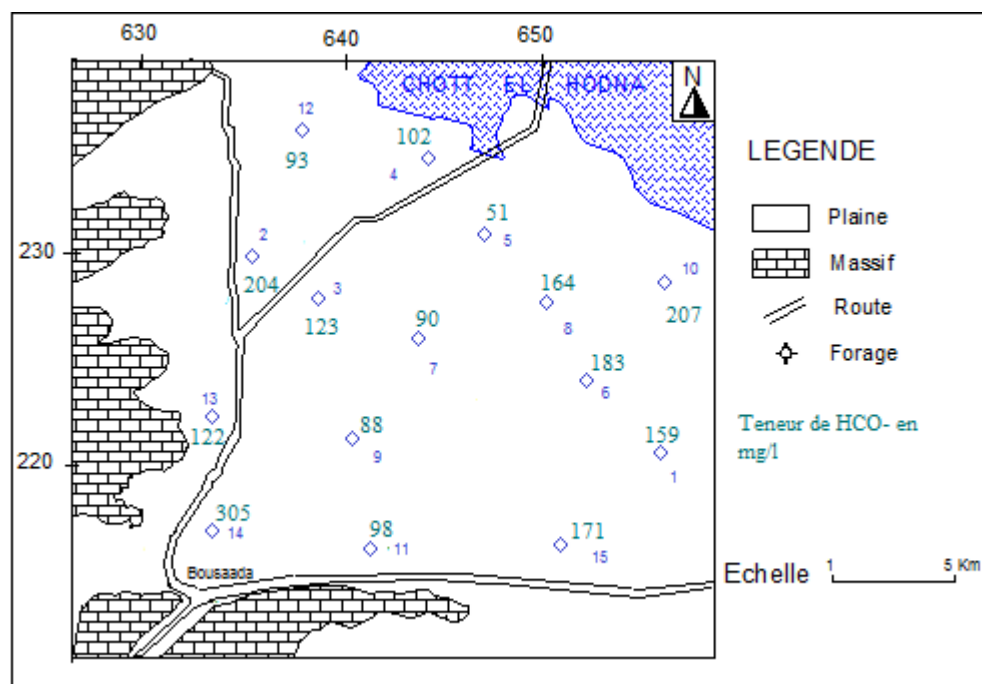


Fig.30. Répartition des concentrations en bicarbonates des eaux de la plaine de Boussaâda.

3.1.2.8. Les nitrates

L'examen du tableau 15 montre que 47 % d'échantillons d'eau ont des teneurs en NO_3^- supérieures à la norme maximale admissible (50 mg/l) durant la campagne de mai 2018. Les concentrations du nitrate des eaux de la région d'étude varient entre 22 mg/l au forage F9 et 240 mg/l au forage F7.

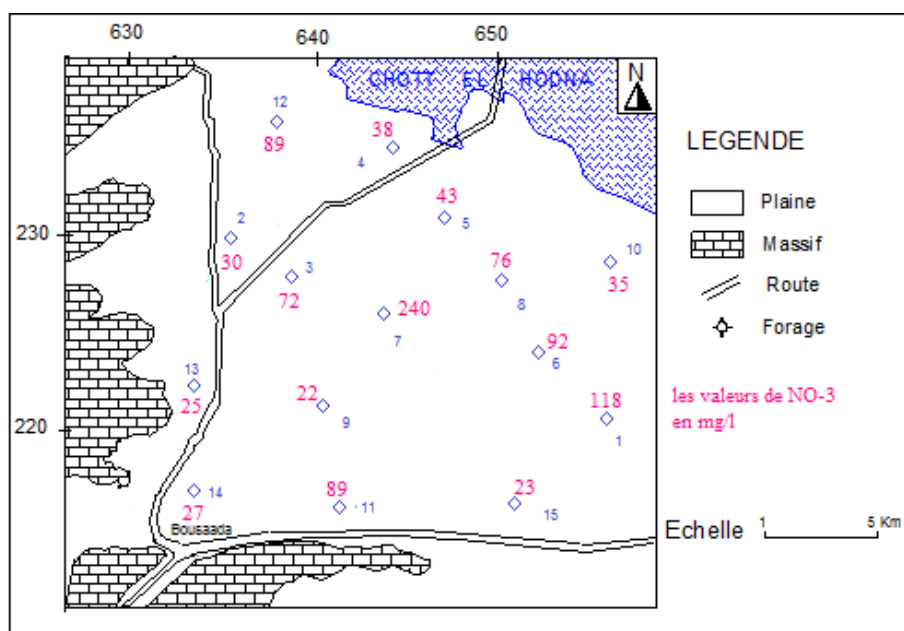


Fig.31. Variation des concentrations en nitrates des eaux de la plaine de Boussaâda

3.1.2.8.1. Contamination des eaux souterraines par les nitrates

La nitrification des teneurs en nitrates dans la plaine de Boussaâda est liée aux points de pollution signalés précédemment et en particulier à l'activité agricole. La carte de répartition des concentrations (**fig. 31**) montre que la zone méridionale est beaucoup plus exposée à la pollution en cet élément.

Dans cette région, les eaux souterraines sont la seule ressource pour la consommation humaine et animale et pour l'irrigation. D'après le tableau 15 il apparaît que les valeurs moyennes pour le NO_3^- sont très différentes.

Pour extraire des informations à partir de données, les distributions des résultats doivent être étudiées plus en détail.

Les données d'archives provenant de forages (**Athmani et Baza, 2017**) (**Annexe 05**) montrent que 20% des échantillons dépassaient déjà 50 mg NO_3^-/L en 2017 et que 13% dépassaient 100 mg NO_3^- ; à l'inverse, 60% avaient moins de 20 mg NO_3^- . L'eau de pluie contient des valeurs de nitrates comprises entre 01 mg NO_3^- et 02 mg NO_3^- (**Barbier, 2011**), en raison de l'oxydation naturelle du l'azote atmosphérique. Cela implique que dans certains cas, les cycles biogéochimiques sont suffisamment efficaces pour absorber tous les nitrates présents dans le sol.

La carte de la concentration en nitrates dans les forages en 2017 (**Fig.32**) montre que la concentration augmente de la proximité du chott vers le centre de la zone où se concentre la population rurale. De grandes valeurs sont observées dans le nord et l'est où les populations sont rassemblées près des zones purement agricoles. Cela peut donc être attribué à la contamination d'origine agricole.

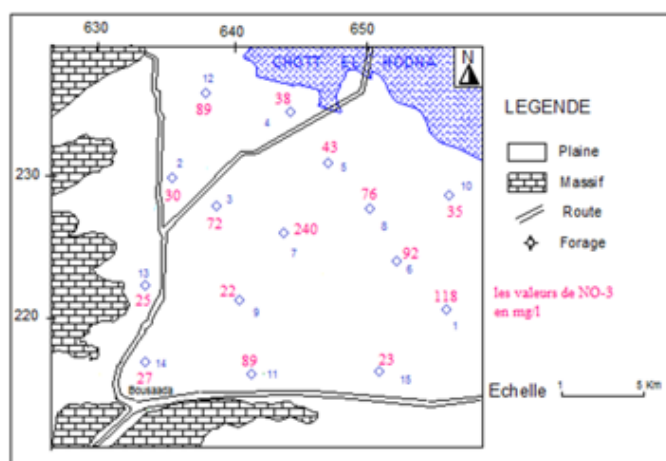


Fig.31. variation des concentrations en nitrate des eaux de La plaine de Bousâada .

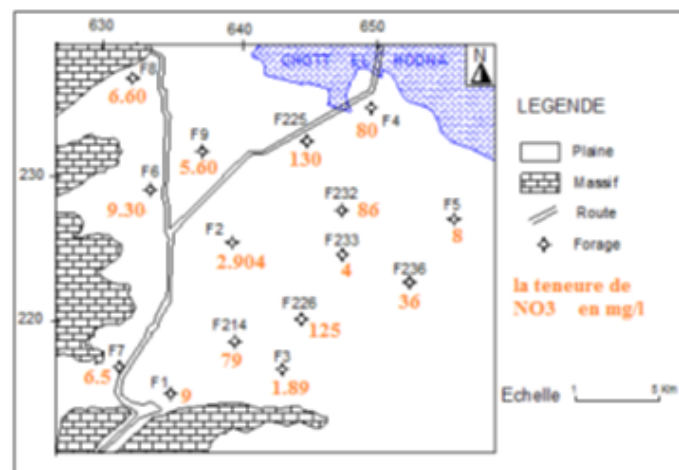


Fig.32. variation des concentrations en nitrate de la plain de Bousâada de la campagne 2017.

Figure.33. Comparaison de deux cartes de variation des concentrations en nitrate des eaux de la plaine de Boussaâda des campagnes 2017 et 2018.

Les données des forages de 2018 pour les nitrates montrent que 13% des échantillons ont des concentrations supérieures à 100 mg NO_3^- , 33% des échantillons de plus de 50 mg NO_3^- et 54% varient entre 20-50 mg NO_3^- . Comparaison des concentrations de nitrates est basée clairement sur une connaissance plus poussée de la nature exacte de l'aquifère exploité pour chaque forage. Cette dernière est présente, mais de fortes concentrations de nitrates ont été observées même à des profondeurs supérieures à 150 m (**Fig.31**), ce qui montre la dégradation qualitative de l'aquifère profond. Cela peut être attribué au développement des cultures irriguées dans ces dernières années au vue de l'augmentation de la population, des programmes agricoles et au changement d'utilisation des terres.

De grandes valeurs sont en effet observées dans deux situations : (1) Sud où il existe une agglomération, mais pas une zone agricole ; (2) dans les zones agricoles situées au nord et à l'est de la plaine.

En 2017, les concentrations en nitrates varient de 4 mg NO_3^- à 130 mg NO_3^- , avec 13% sont supérieures à 100 mg NO_3^- , 20% des échantillons sont supérieures à 50 mg NO_3^- , seulement 60% des teneurs se trouvent sous la valeur de 20 mg NO_3^- .

Bien que la comparaison directe des valeurs moyennes ait révélé de différences significatives, l'analyse détaillée de la distribution montre une extension de la contamination des eaux souterraines par les nitrates. Cette extension progresse verticalement et latéralement. La preuve est que de petites valeurs (inférieures à 20 mg NO_3^-) ont été observées dans l'aquifère

profond en 2017 et ne sont plus observées en 2018. Cela indique une contamination qui entrave sérieusement le développement agricole et la santé publique.

Les faibles teneurs en nitrate dans cette zone peuvent s'expliquer par une faible activité agricole et le mélange des eaux récentes issues des formations carbonatées avec celle de la nappe d'âge tertiaire continentale.

Cette contamination est d'origine anthropique et pourrait être due à l'apport d'engrais et à l'élevage, ou à l'infiltration de l'eau des fosses septiques. Ce danger est renforcé par la texture sableuse et l'irrigation directe par gravité, car l'irrigation est toujours excessive par rapport aux besoins de la plante et à la capacité de rétention d'eau.

3.2. Indice d'échange de base i.e.b

Lors de l'écoulement de la nappe, l'eau rentre en contact avec certaines formations qui ont les propriétés d'échanger leurs ions contre ceux continus dans l'eau. L'utilisation de cet indice est importante car il met en évidence les modifications du chimisme de l'eau au cours de son parcours souterrain.

Selon SCHOELLER (1934) l'indice d'échange de base est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existant. Il est obtenu par la relation suivante :

$$\text{i.e.b} = \frac{r\text{Cl}^- + r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{r\text{Cl}^-}$$

Les calculs de l'i.e.b (**Annexe 3**) montrent que 40% des points d'eau sont négatif, donc les ions Ca^{++} et Mg^{++} de l'eau sont échangés contre les ions K^+ et Na^+ des formations encaissantes. Par contre 60% des points d'eau sont positif, donc les ions Na^+ et K^+ de l'eau sont remplacés par les ions Mg^{2+} et Ca^{2+} des formations encaissantes.

3.3. Etude des rapports caractéristique des éléments dominants

3.3.1. Origine des éléments $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$

Pour avoir une idée sur les éléments dominants, nous avons fait une représentation graphique sur une échelle arithmétique avec en ordonnée la teneur en milliequivalent des chlorures et en abscisse celle du sodium.

L'examen de la figure 35 permet de remarquer que la majorité des points d'eau se trouvent au centre de la droite d'une pente égale à 1. Donc la dissolution des halites.

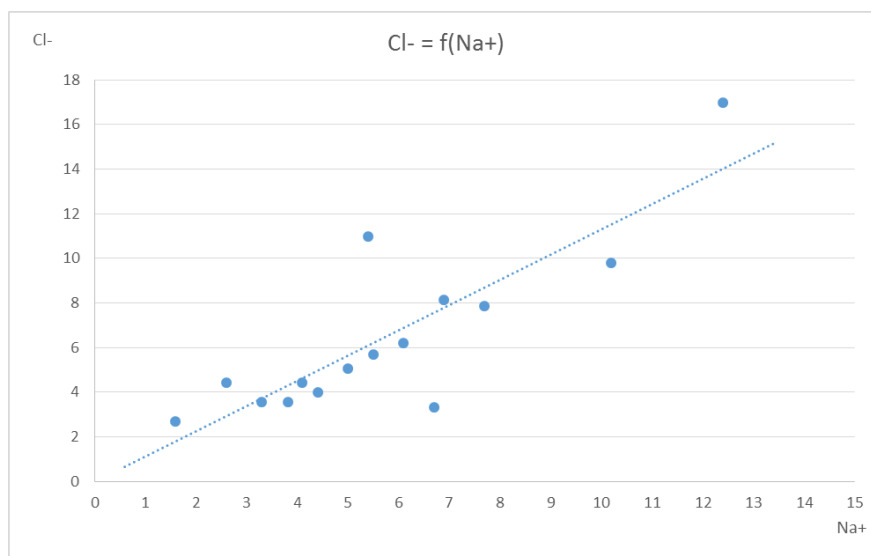


Fig.34. Origine des éléments Na^+ et Cl^-

3.3.2. Origine du Calcium

Le faciès calcique a été étudié à l'aide de deux diagrammes, à cause de sa double origine (carbonatée et évaporitique).

La mise en examen du calcium avec les bicarbonates montre qu'on a un excès du calcium par rapport à ces derniers. Donc l'origine du calcium ne peut pas être évaporitique (**Fig. 35-a**). Cette tendance est confirmée par le diagramme $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ (**Fig. 35-b**) où on remarque qu'on a un excès des bicarbonates par rapport au calcium donc l'origine de calcium est gypseux.

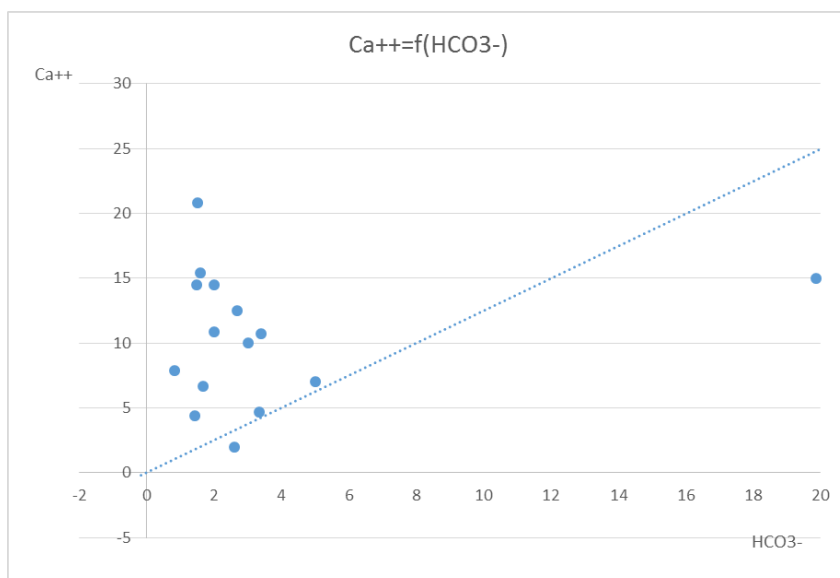


Fig.35-a. Origine du Ca^{2+} en fonction de $\text{Ca}^{2+}=f(\text{HCO}_3^-)$

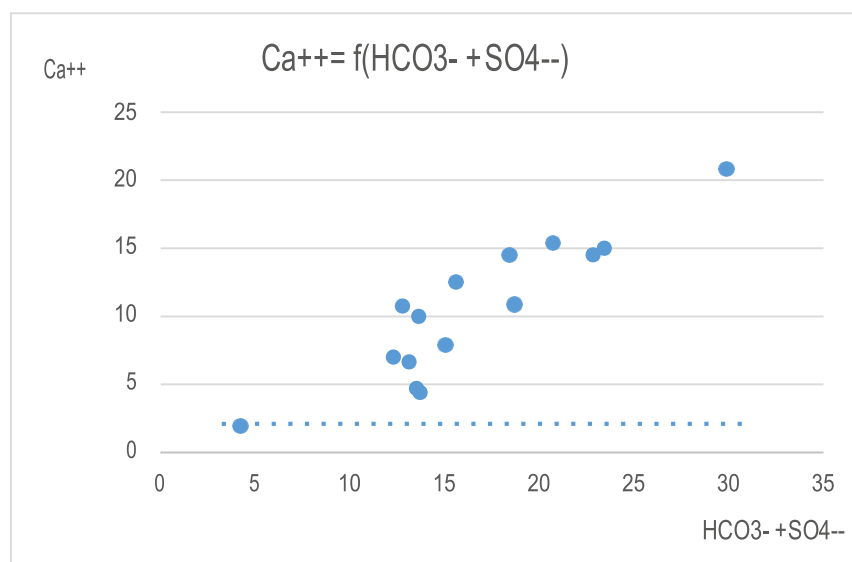


Fig.35-b. Origine du Ca⁺² en fonction de (HCO₃⁻ + SO₄⁻⁻)

3.4. Faciès chimique des eaux

Il existe un grand nombre de classification des eaux naturelles d'après leur composition chimiques, les classifications les plus utilisées sont celle de Schoeller-Berkaloff et Piper.

3.4.1. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Cette classification est basée sur la présentation des résultats des analyses chimiques sur un diagramme mis au point par H. Schoeller et révisé par Berkaloff en 1952. Ce diagramme se compose de sept logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés. Tous les éléments chimiques analysés sont répartis directement en mg/l.

La représentation graphique ressort que presque la moitié des points d'eau sont incrustants (7 échantillons) et les autres points sont agressives (8 échantillons).

Les diagrammes logarithmiques (**Fig. 36a, 36b, 36c et 36d**) ont permis d'identifier les grandes familles chimiques suivantes (**Tab.16**).

A première vue, on remarque une dominance des sulfates avec 80% de l'ensemble des points d'eau, en deuxième position les bicarbonates avec 13%, qui semble être liées à la géologie ou à la forte évaporation. Les sulfates, les bicarbonates et les chlorures accompagnent toujours le calcium, à cause de sa présence dans les carbonates (CaCO₃) et dans les sulfates (CaSO₄, 2H₂O).

Tableau.16. Faciès chimiques des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF

Campagne chimique	Faciès chimique		Effectif	Pourcentage %
Mai 2018	Famille des eaux chlorurées	Chlorurée calcique	1	7%
	Famille des eaux sulfatées	Sulfatée calcique	12	80%
	Famille des eaux bicarbonatées	Bicarbonatée calcique	2	13%

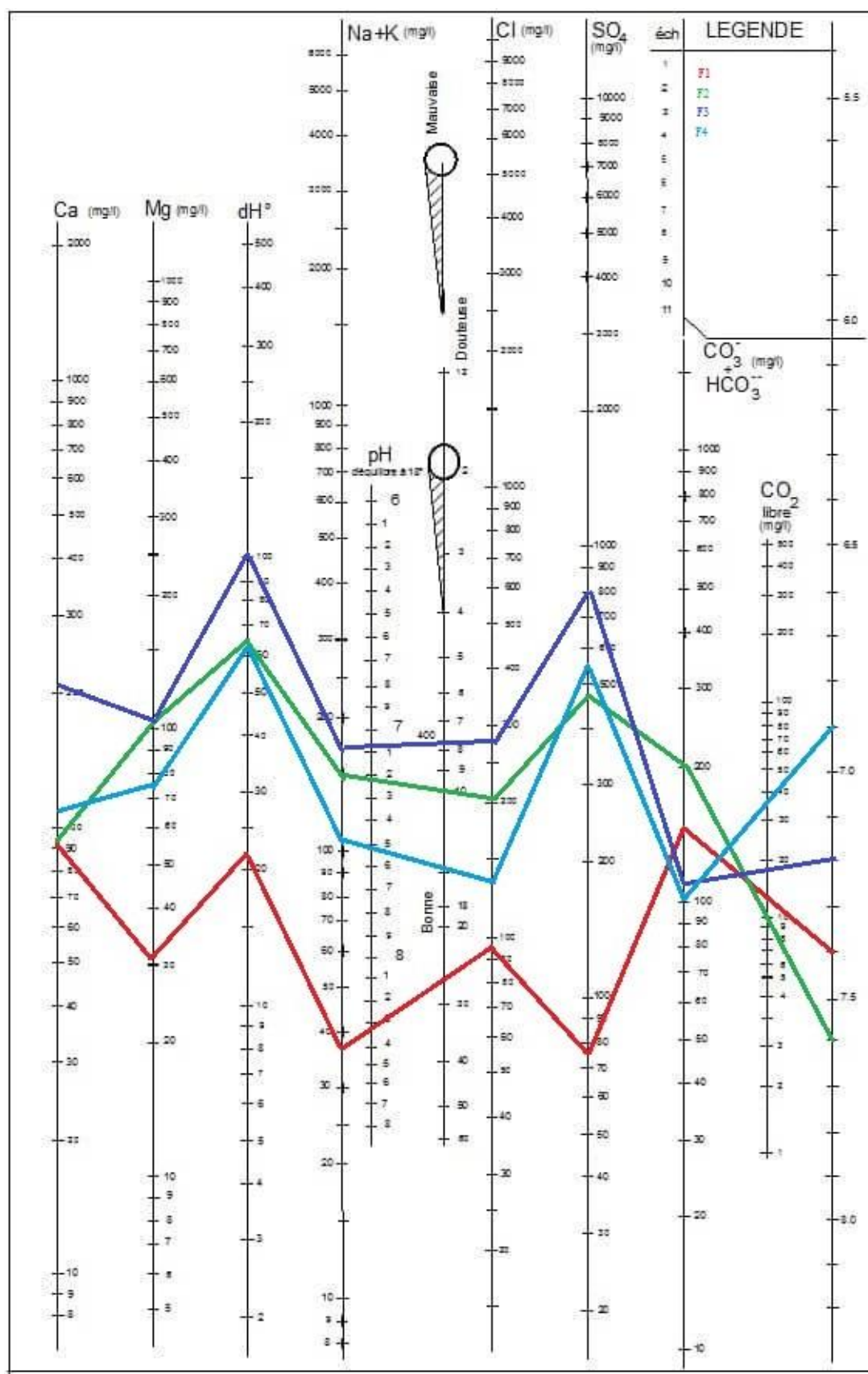


Fig.36-a. Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de Bousàada

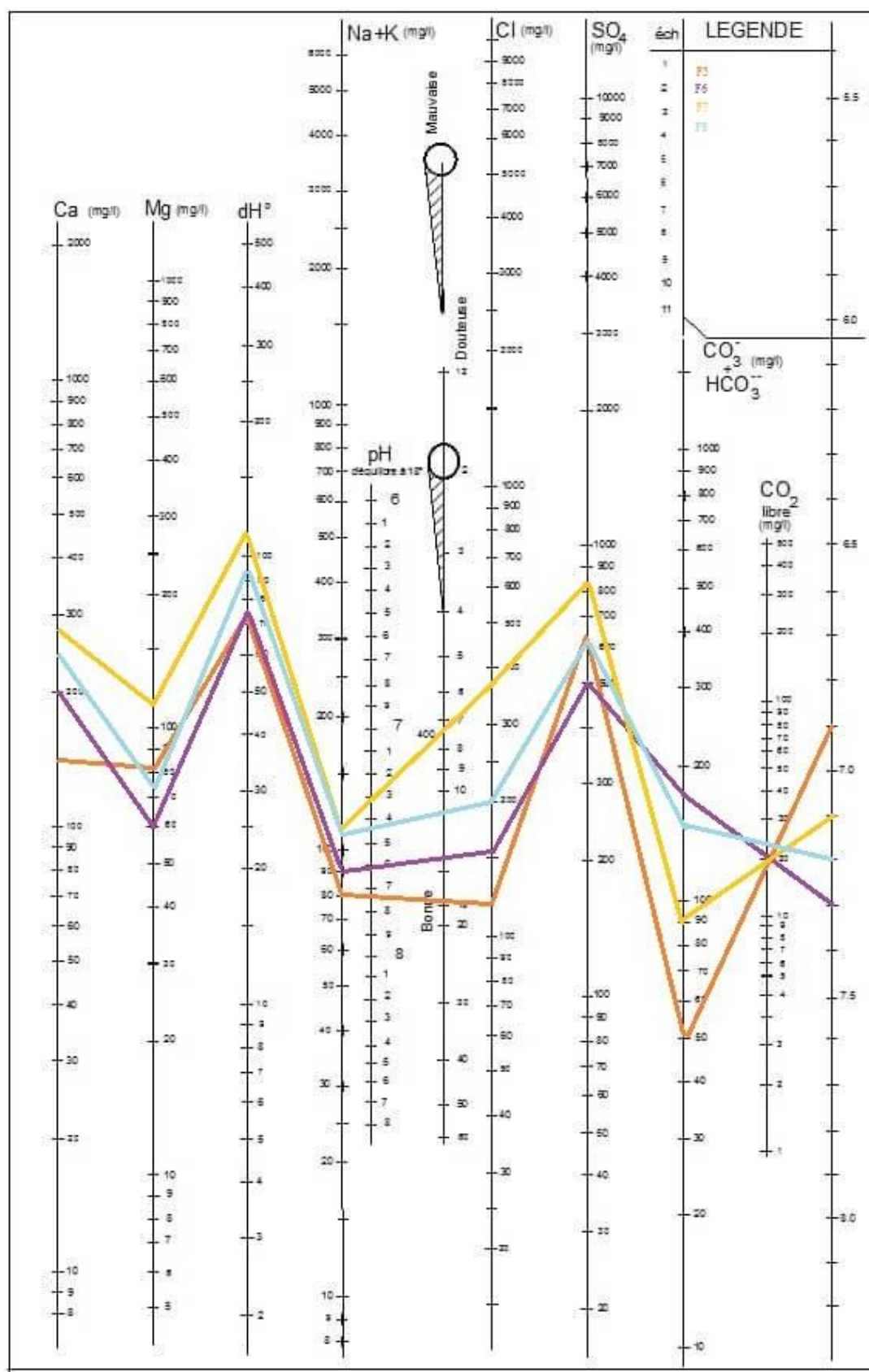


Fig.36-b. Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de Bousàada

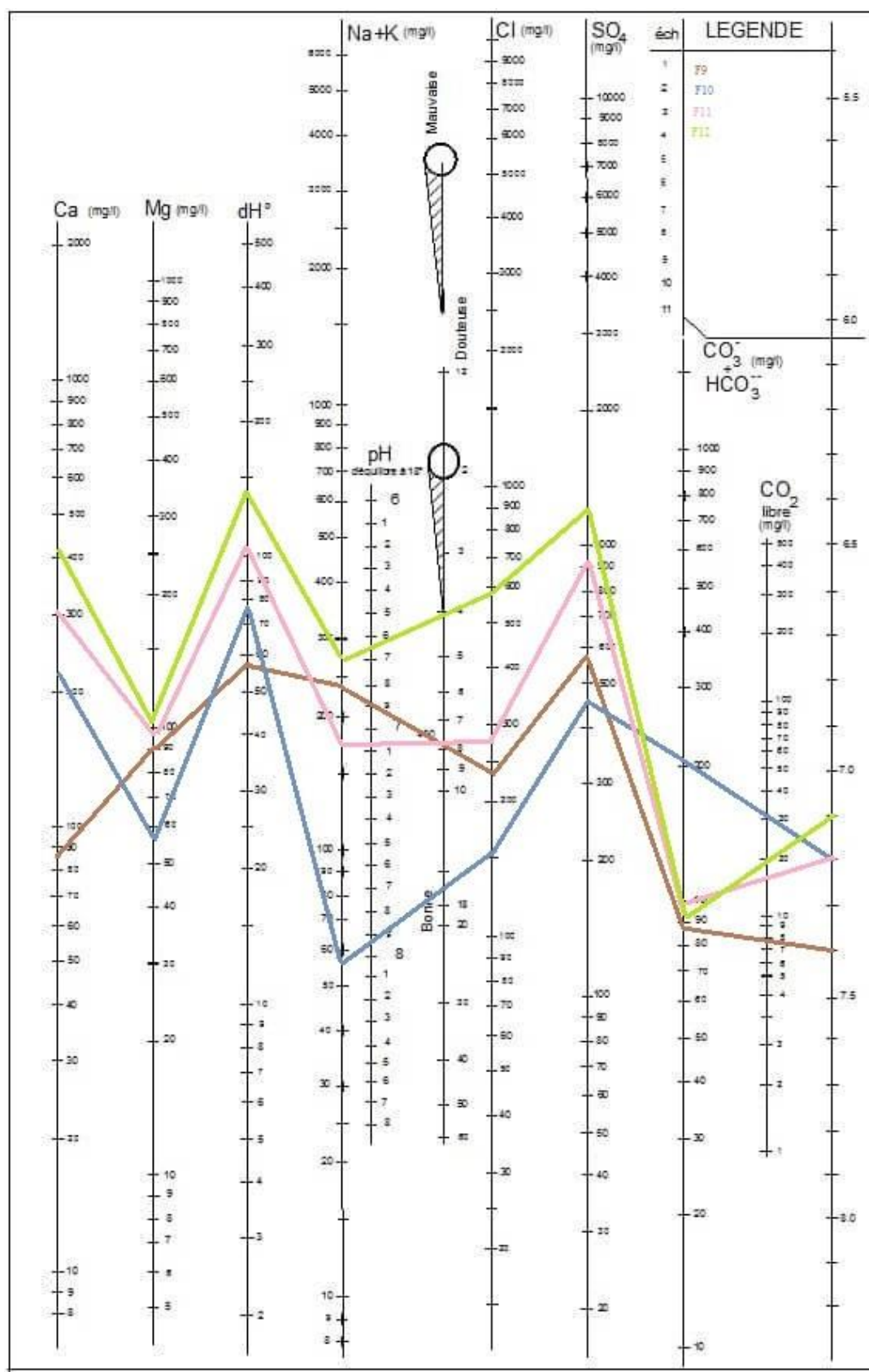


Fig.36-c. Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de Bousàada

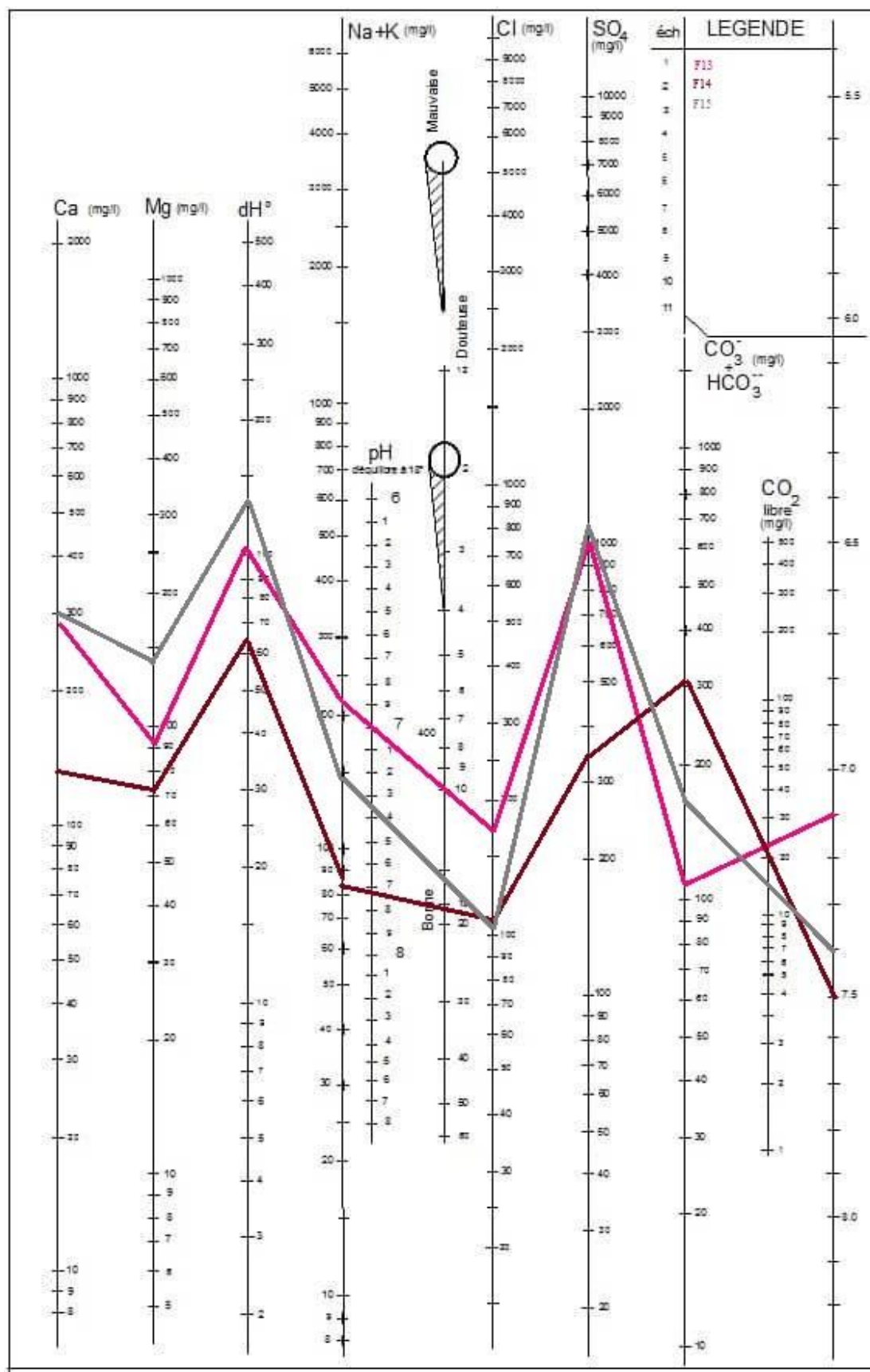


Fig.36-d. Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de Bousàada

3.4.2. Diagramme de Piper

Cette classification est faite à l'aide d'un diagramme qui comprend un losange représentatif A, B, C, D et deux triangles équilatéraux, dont les cotes sont divisées en cent parties égales correspondant à des quantités en réaction d'ions par rapport à la somme des ions de même signe.

$$r\% x^+ = (100 r^+) / (\sum r^+)$$

$$r\% x^- = (100 r^-) / (\sum r^-)$$

La présentation des analyses chimiques des différents points d'eau sur ce type de diagramme (**Fig. 37a, 37b et 37c**) permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux souterraines. Le tableau 17 montre que les eaux de la plaine de Boussaâda pour campagne de Mai 2018 présentent une dominance totale de la famille : Chlorurée sulfatée calcique et magnésienne. A l'exception du forage F15, qui présente la famille bicarbonatée calcique et magnésienne.

Tableau.17. Classification des eaux souterraines selon PIPER

Campagne chimique	Famille des eaux	Pourcentage
Mai 2018	Chlorurée sulfatée calcique et magnésienne	100%

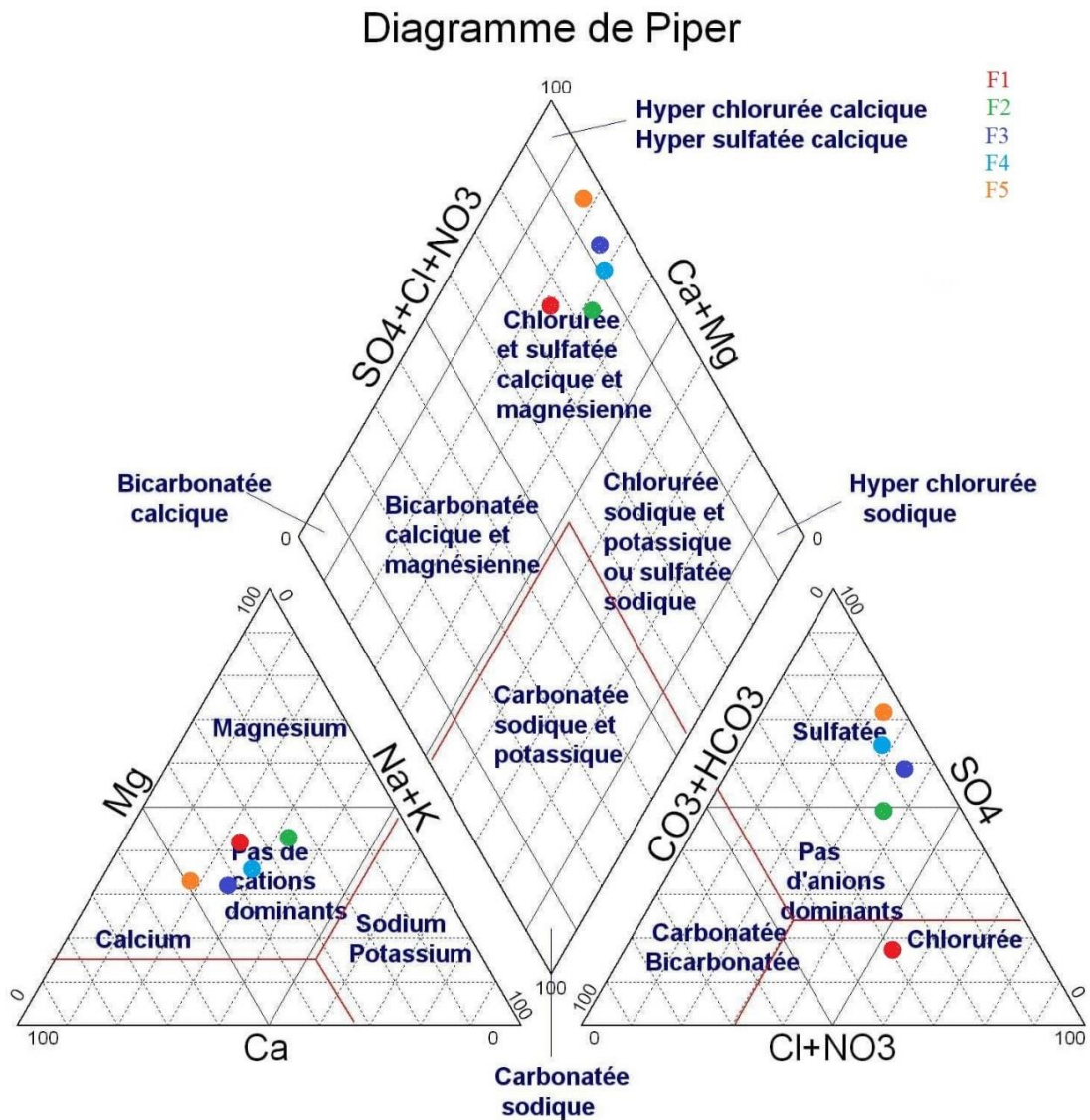


Fig.37-a. Diagramme de PIPER pour les eaux de la plaine de Bousàada

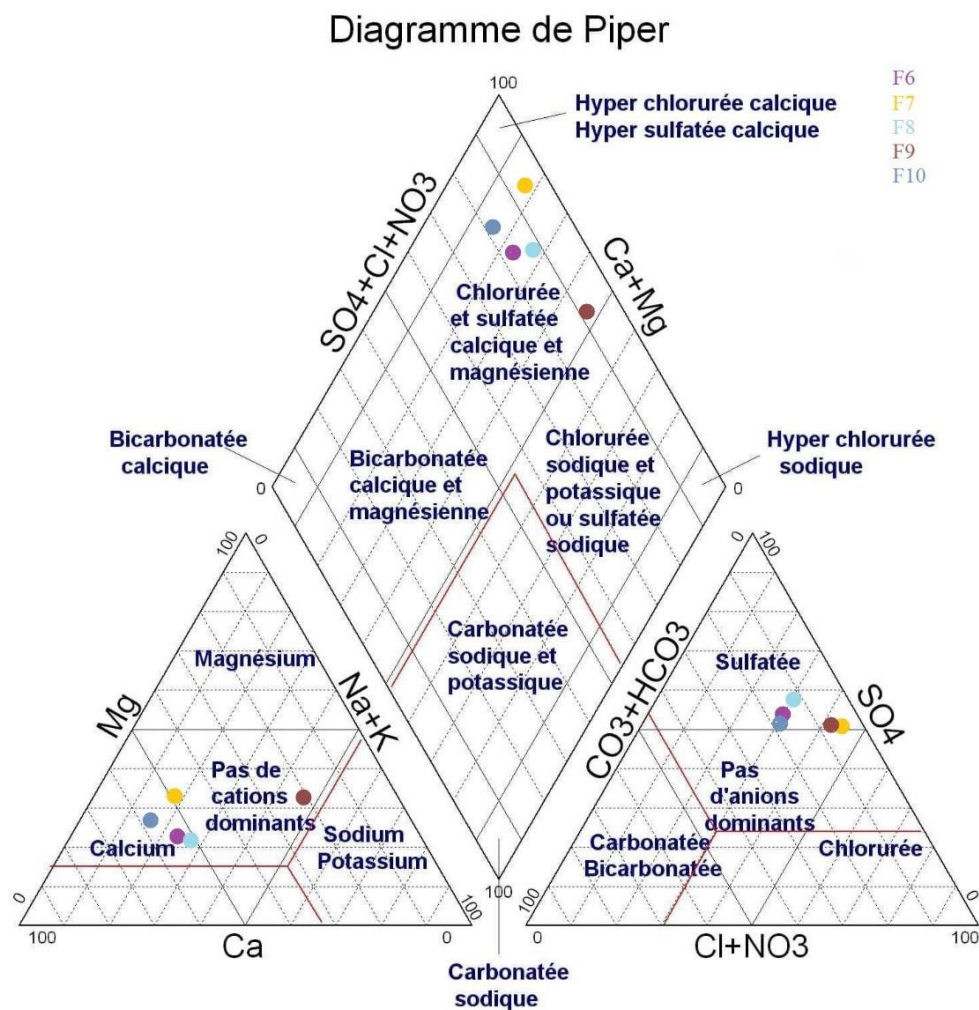


Fig.37-b. Diagramme de PIPER pour les eaux de la plaine de Bousàada

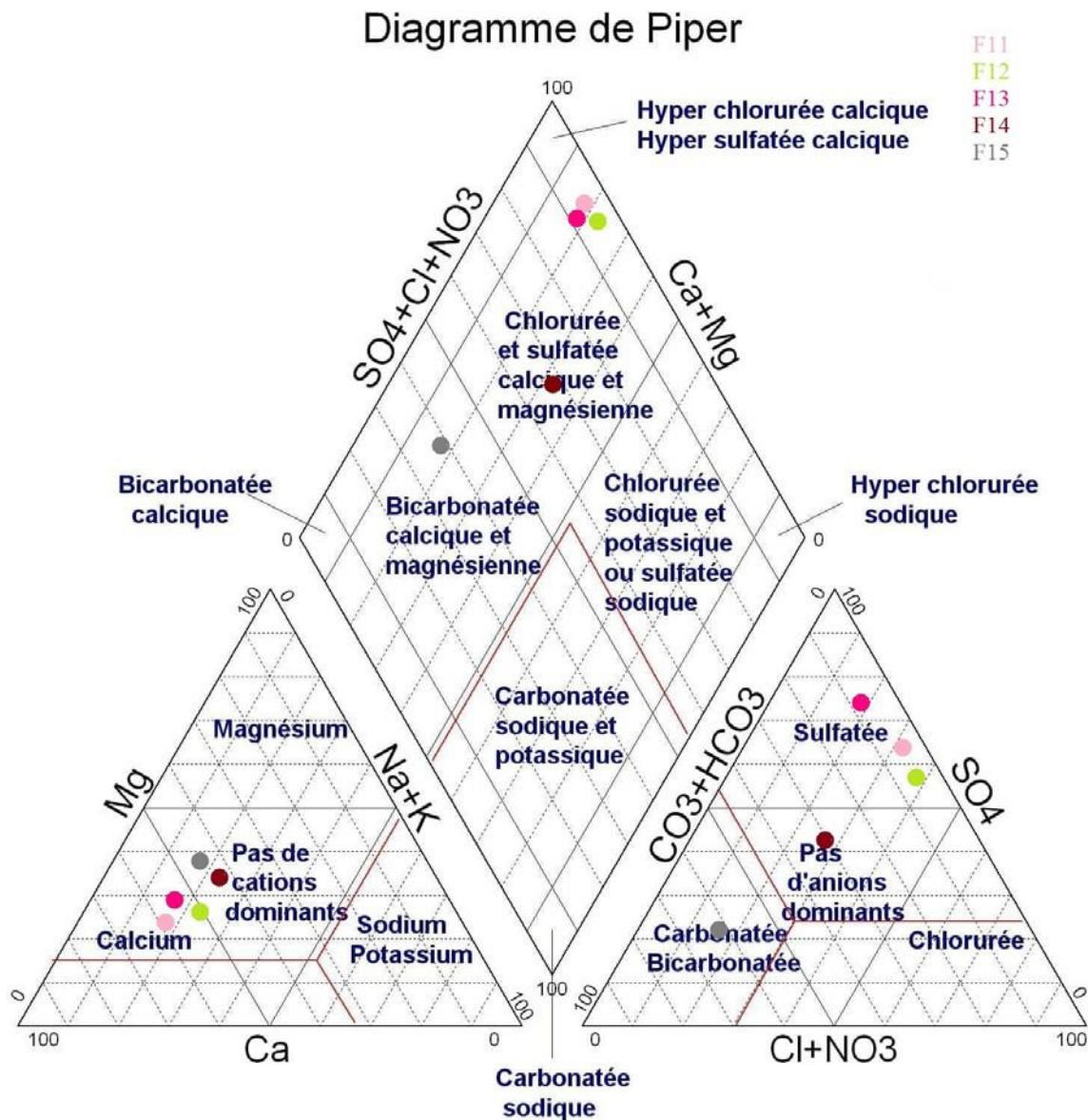


Fig.37-c. Diagramme de PIPER pour les eaux de la plaine de Bousàada

3.5. Aptitude de l'eau à l'irrigation

De toutes les activités humaines, l'irrigation est de loin la plus grande consommatrice d'eau, c'est pour cela qu'il est nécessaire d'avoir une ressource présentant des propriétés physico-chimiques adaptées aux plantes

Vue que la région étudiée est à vacation agricole essentiellement à l'art céréaliculture nous nous sommes penchés sur la qualité de ces eaux pour l'irrigation, on mettant en évidence le danger que présent certains éléments chimiques pour les cultures.

3.5.1. Salinité

Selon AYERS et WESTCOT (1988) ; quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Il est exprimé par la conductivité électrique.

L'examen du tableau 18 montre que la majorité des points d'eau de la plaine de Bousàada représentent une restriction légère à modérée avec 47%, et une restriction forte comprenant 53 % des points d'eau. En cas d'irrigation avec ces eaux chargées en sels, on peut s'attendre des chutes de rendements de certaines cultures pratiquées au niveau de la plaine de Bousàada.

Tableau.18. Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Salinité).

Restriction pour l'irrigation	CE en $\mu\text{S} / \text{cm}$	Pourcentage des échantillons
Aucune	< 500	0%
Légère à modéré	500 - 2000	47%
Forte	> 2000	53%

Tableau.19. Baisse de rendements de certaines cultures en relation avec la salinité de l'eau d'irrigation (Ayers et Westcot, 1988)

		Conductivité (CE) en $\mu\text{S} / \text{cm}$			
Cultures	Orge	5300	6700	8700	12000
	Blé	4000	4900	6400	8700
Chute de rendement en %		0	10	25	50

Il est recommandé dans ce cas d'utiliser ces eaux pour des cultures tolérantes en sels, de pratiquer des cultures sur les sols légers (sableux), de faire des apports d'eau supplémentaires et faire le drainage.

3.5.2. Infiltration

Les problèmes d'infiltration liés à la qualité de l'eau apparaissent lorsque la vitesse de pénétration de l'eau d'irrigation ou de la pluie est notablement réduite provoquant une stagnation de l'eau à la surface du sol, l'infiltration influe sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol et elle diminue la qualité d'eau mise en réserve tant que la salinité diminue la disponibilité de l'eau en réserve.

3.5.2.1. Eaux peu salées

Les eaux peu salées dont la conductivité électrique est inférieure à 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ont d'une forte tendance à mobiliser rapidement le calcium du sol ce qui entraîne la dispersion des particules plus (**Ayers et Westcot, 1988**) et l'obturation des espaces poreux.

La valeur minimale de conductivité des eaux de la plaine de Bousàada est supérieure à 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Donc ce problème ne se pose pas.

3.5.2.2. Eaux à forte teneur en sodium

L'abondance du sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer également la dispersion et une destruction de la structure du sol, si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium (**Ayers et Westcot, 1988**), dans telles conditions, il devient extrêmement difficile de satisfaire les besoins en eau de la culture, le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio) (S.A.R).

Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le S.A.R est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau selon la formule suivante :

$$\text{S.A.R} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

Où tous les éléments sont exprimés en $\text{m}\text{eq}/\text{l}$.

3.5.2.2.1. Classification de Richards

Richards, établi un diagramme de cinq classes, basé sur la minéralisation totale et la relation d'absorption du sodium donnée par l'expression précédente.

Le tableau 20, récapitule les résultats obtenus après interprétation des diagrammes de Richards .

Tableau.20. Résultats obtenus après interprétation du diagramme de Richards

Classes		Pourcentage des points d'eau %
Admissible	C3 S1	47%
Médiocre	C4 S1	53%
Mauvaise	C4 S2	0%
Momentanée	C4 S3	0%

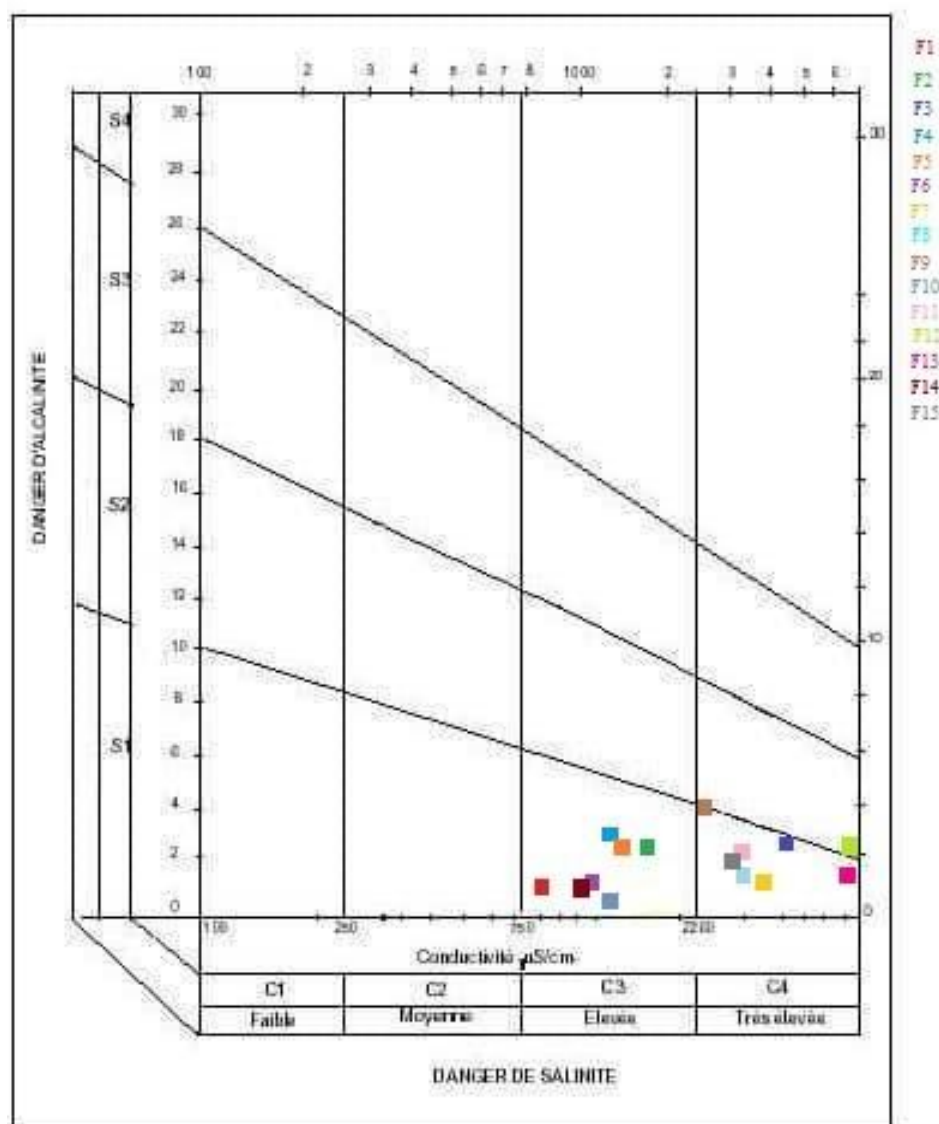


Fig.38. Diagramme du SAR

3.5.3. Etude de la toxicité des végétaux

La toxicité se manifeste dans les végétaux suite à l'absorption et à l'accumulation de certaines substances contenues dans l'eau d'irrigation comme le cas du sodium et celui du chlore. Ces substances toxiques provoquent des dégâts au niveau de la récolte.

3.5.3.1. Sodium

L'emploi d'une eau d'irrigation riche en sodium se traduit généralement par une accumulation du sodium dans le sol. Les modifications qui peuvent apparaître dans le sol sont fonction des fréquences d'irrigation (Ayers et Westcot, 1988).

L'interprétation des analyses les directives du tableau 21, permet de dire que :

- 14 % des points d'eau ne présentent aucune restriction pour l'irrigation ;
- 72 % des points d'eau présentent une restriction légère à modérée ;
- La restriction est forte avec 14 % des points d'eau.

Tableau.21. Directives concernant la qualité de l'eau d'irrigation
(Toxicité spécifique de certains ions)

		Sodium (méq/l)	% des points d'eau	Chlore (méq/l)	% des points d'eau
Restriction pour l'irrigation	Aucune	< 3	14	< 4	26
	Légère à modéré	3 - 9	72	4 - 10	60
	Forte	> 9	14	> 10	14

3.5.3.1.1. Classification de Wilcox

Le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturé en sodium, c'est pourquoi on utilise une classification basée sur la conductivité électrique et la teneur du sodium dans l'eau, qui est définie par la relation suivante :

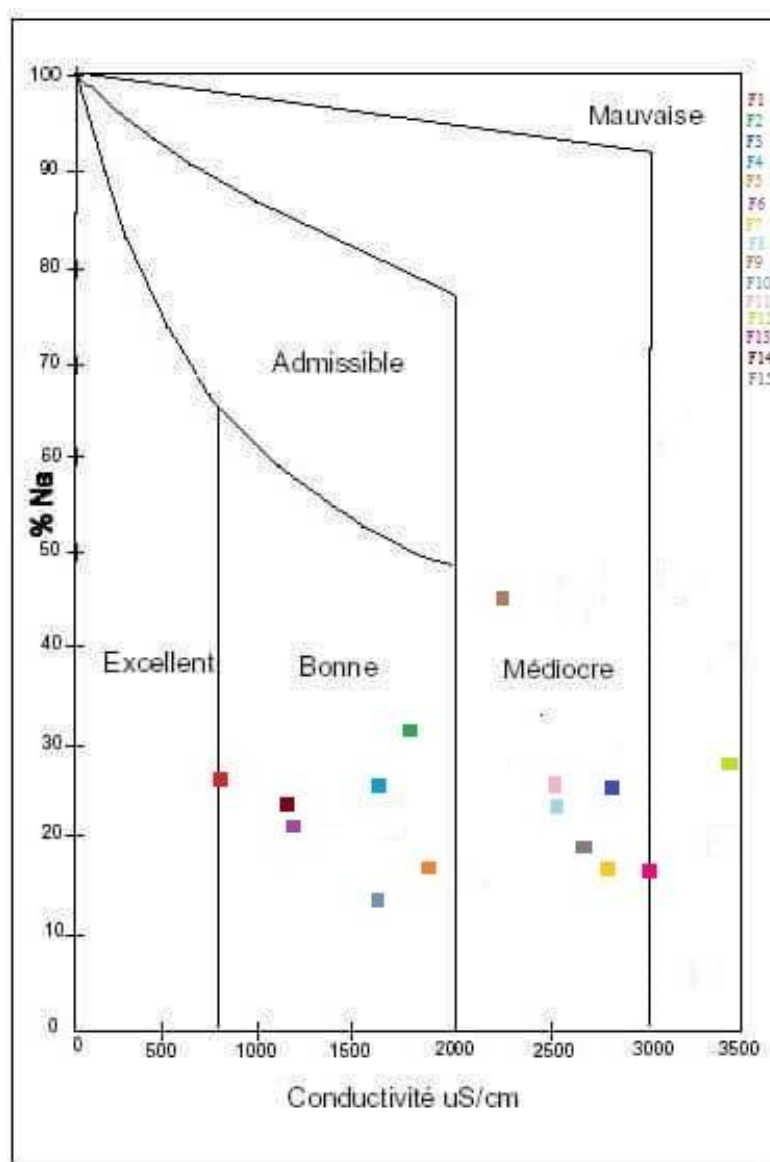
$$\%Na^{+} = \frac{Na^{+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}}$$

Cette classification définit cinq classes d'eau, 1 : excellente, 2 : bonne, 3 : admissible, 4 : médiocre, 5 : mauvaise (Tab.22).

Tableau.22. Résultats de l'utilisation du diagramme de WILCOX

Classe	Pourcentage %
Excellente	0%
Bonne	47%
Admissible	0%
Médiocre	47%
Mauvaise	6%

D'après le tableau 22, plus de 90% des points d'eau sont entre bonnes et médiocres, par contre le reste des échantillons représentent une eau de mauvaise qualité à l'irrigation.

**Fig.39.** Classification de l'eau d'irrigation des forages selon le diagramme de Wilcox

3.5.3.2. Chlore

Le chlore est un ion qui n'est pas absorbé par les sels mais se déplace facilement avec l'eau du sol. Il est absorbé par les racines et s'accumule dans les feuilles, comme le sodium (Ayers et Westcot, 1988). Les symptômes se manifestent par des brûlures du feuillage.

Pour évaluer le degré de toxicité du chlore, on utilise le tableau 21. Ce tableau montre que les teneurs en chlore qui sont inférieures à 4 méq/l représentent 26 % des points d'eau. Celles comprises entre 4-10 méq/l constituent une restriction légère à modérée, Il correspond à un pourcentage de 60% des points d'eau testés alors que 14 % présentent une forte restriction.

3.6. Qualité globale des eaux souterraines de la région de Bousàada

L'appréciation de la qualité des eaux souterraines s'appuie sur l'étude de la qualité des paramètres de pollution et l'interprétation des résultats sur la base d'une grille simplifiée tenant compte de trois paramètres indicateur de pollution physico-chimique et azotée qui sont la conductivité, le taux des chlorures et celui des nitrates (Bouderka et al, 2016).

La conductivité électrique et les concentrations en ions chlorures renseignent sur la qualité minéralogique des eaux alors que les nitrates sont les principaux indicateurs d'une pollution agricole d'eau souterraine (Tab.23).

L'examen des différents paramètres cité au niveau des points d'eau analysée a permis de classer les échantillons suivant leur état de qualité.

Tableau.23. Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux souterraines (Bouderka et al, 2016)

Qualité	Paramètres		
	Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Chlorures (mg/l)	Nitrates (mg/l)
Excellente	< 400	< 200	< 5
Bonne	400-1300	200-300	5-25
Moyenne	300-2700	300-750	25-50
Mauvaise	2700-3000	750-1000	50-100
Très mauvaise	> 3000	> 1000	> 100

L'analyse des échantillons d'eau, montre que la qualité globale des eaux souterraines de la plaine de Bousàada peut être qualifiée comme moyenne pour 42% des échantillons, avec 31%

de ces eaux présentent une mauvaise qualité voire très mauvaise, à cause de leur forte minéralisation et leur forte teneur en nitrates.

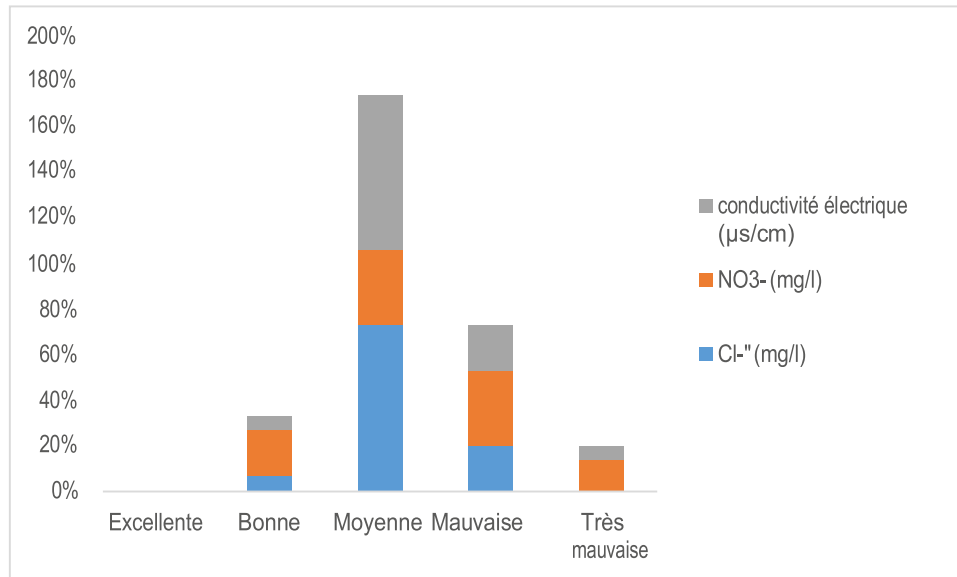


Fig.40. Histogramme de l'état de qualité des eaux souterraines étudiées

3.7. Alcalinité résiduelle des eaux

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

Où tous les éléments sont exprimés en méq / l.

Tableau.24. Distribution des valeurs de RSC

	Min	Moy	Max	σ	Cv
RSC	-28.08	-14.23	-1.9	6.92	-0.4

Min: valeur minimale; Moy: valeur moyenne; Max: valeur maximale; σ : écart type ; Cv : Coefficient de variation

Les valeurs du RSC sont inférieures à 0, ce qui reflète un faible risque de dégradation des propriétés physiques des sols par le sodisation.

3.8. Indice de perméabilité

Doneen (1964) a exprimé l'indice de perméabilité (IP) (**Fig.41**) comme indiqué dans l'équation suivante :

$$IP = \frac{(Na^+ + \sqrt{HCO_3}) \times 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)}$$

Où tous les éléments sont exprimés en méq / l (Ragunath, 1987).

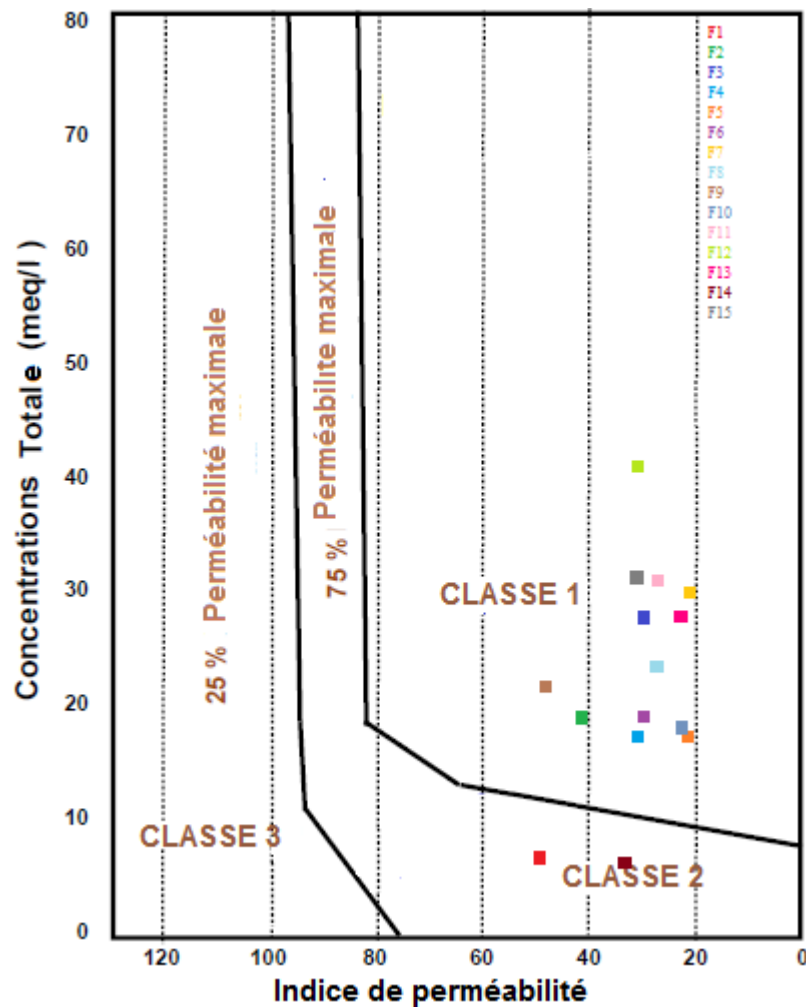


Fig.41. Diagramme d'indice de perméabilité (D'après Doneen)

D'après la figure.41, il ressort que les échantillons d'eau souterraine de la région d'étude sont répartis comme suit : 87% se trouvent dans la classe 1 et 13% des points se localisent dans la classe 2.

Donc, les échantillons de la classe 1 et 2 peuvent être utilisés dans l'irrigation sans effets négatifs sur la perméabilité des sols.

3.9. Analyse en Composantes Principales (A.C.P)

L'A.C.P est une méthode statistique essentiellement descriptive dont l'objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum de l'information contenu dans un tableau de données. Ce tableau est constitué, en lignes par des « individus » (forages) sur lesquels sont mesurées des « variables quantitatives » (CE, teneurs en Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{--} et NO_3^-) disposées en colonnes.

Le but recherché est de déterminer la structure des variables ou les familles ainsi que la répartition de ces dernières. (Güler and al., 2002).

3.9.1. Application de l'A.C.P aux données chimiques des eaux de la plaine de M'Sila

L'analyse effectuée est une A.C.P centrée réduite qui a été réalisée sur un tableau de données à 08 variables (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^-) et à 15 échantillons prélevés au niveau de la plaine de Boussaâda durant la campagne de Mai 2018. L'interprétation de l'analyse se fera selon l'ordre des informations données par le logiciel (XLSTAT 2018).

3.9.2. Analyse statistique

D'après le tableau ci-dessous (**Tab.25**), les ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^-) présentent un $\text{CV} < 0,5$. Pour le reste des ions (Cl^- , K^+ , NO_3^-) la dispersion est importante ($\text{CV} > 0,5$).

Tableau.25. Paramètres statistiques des éléments chimiques des eaux souterraines

Variables	Min	Max	Moy	Ecart type	Coefficient de variation
Ca	88	416	212.8	96.42	0.4
Mg	31	152	88.4	29.5	0.3
Na	37	285	131	65.16	0.4
K	0	10	3.9	3.75	0.9
Cl	95	595	225.8	134.03	0.5
SO4	78	1367	691.1	333.83	0.4
NO3	22	240	67.9	56.91	0.8
HCO3	51	305	144	64.62	0.4

3.9.3. Matrice de corrélation

Le premier résultat de l'ACP qui apparait, est le coefficient de corrélation qui est couramment utilisé pour estimer la relation entre deux variables. C'est un outil statistique simple pour montrer le degré de liaison entre deux variables. La matrice de corrélation des neuf (09) variables a été présentée dans le tableau ci-dessous. (Güler and *al*, 2002).

Tableau.26. Matrice de corrélation

	CE	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3
CE	1								
Ca	0.581	1							
Mg	0.543	0,783	1						
Na	0.672	-0,391	-0,024	1					
K	0.028	0,452	0,492	0,01	1				
Cl	0.581	-0,084	0,244	0,722	0,218	1			
SO4	0.705	0,567	0,272	0,264	0,296	0,057	1		
HCO3	0.250	0,902	-0,319	-0,324	-0,494	-0,491	0,222	1	
NO3	0.121	-0,193	0,430	-0,402	0,781	-0,124	0,541	-0,097	1

Le coefficient de corrélation significatif d'après Mangin est $r = 0,518$ ($r^2 = 0,268$) pour 11 couples de donnés.

Les valeurs de la CE présentent une grande corrélation positive (0,54 à 0,70) avec Ca, Mg, Na, Cl et SO4. Ceci traduit la participation de ces éléments à l'acquisition de la charge saline des eaux souterraines. Ces corrélations, avec la corrélation inverse SO4-HCO3, semble indiquer un processus de dolomitisation. Le sodium possède également une très bonne corrélation positive (0,72). Les fortes teneurs de Na⁺, Cl⁻, Ca²⁺ et SO4²⁻, détectés dans certaines échantillons peuvent suggérer la dissolution de halite et de sulfates.

3.9.4. Etude des variables et des individus

Le traitement a été poussé jusqu'à 3 facteurs. A ce stade seulement 90 % de la variance ont été exprimés. Les résultats sont résumés dans le tableau 26.

Trois composantes principales (CP) ont été retenues et les résultats montrent que les trois CP représentent 85 % de la variance totale, ce qui est bon et peut être utilisée pour identifier les principales variations dans l'hydrochimie.

CP1 représente environ 43% de la variance et il est déterminé par Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , (**Fig 42-a**). C'est le facteur de la contamination par les sulfates et le sodium issue de l'effet du Chott El Hodna.

Le CP2, qui représente 34% de la variance totale est déterminé positivement par Ca^{++} , Cl^- et HCO_3^- (**Fig 42-b**). Ce facteur montre que la dissolution des évaporites ne se fait pas de la même manière que celle de formations carbonatées au Sud et à l'Est de la région d'étude. Ces deux facteurs montrent clairement que les eaux souterraines de la région du Boussaâda suivent deux processus différents dans la dissolution des minéraux. Celui des évaporites et celui des carbonates. Le processus se termine par une contamination par l'azote, issue de l'utilisation intense des engrais organiques et inorganiques.

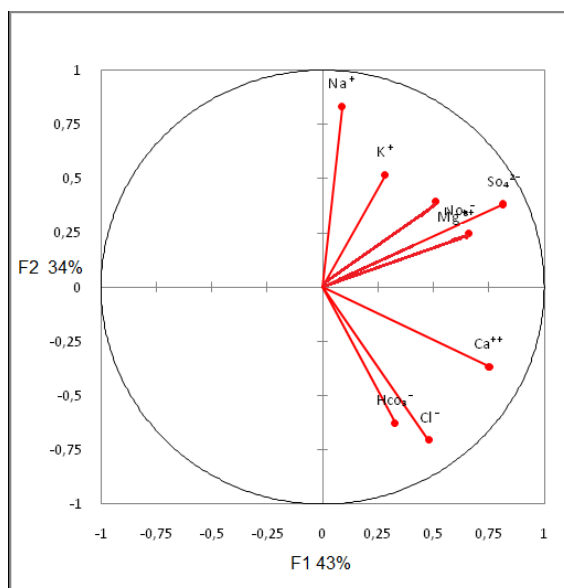


Fig.42-a. Plan des facteurs F1/F2

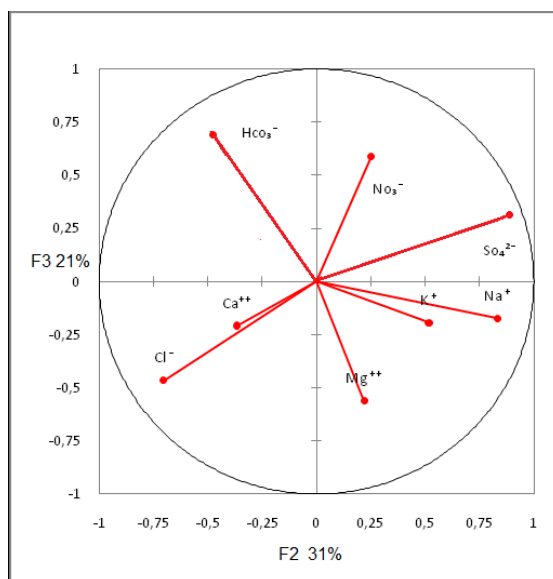


Fig.42-b. Plan des facteurs F2/F3

Conclusion
et
Recommandations

Conclusion générale

L'étude que nous avons entreprise dans la région de Bousàada, nous a permis d'approfondir les connaissances des différents paramètres hydrochimiques concernant les eaux souterraines de la nappe de tertiaire continentale ainsi les principales sources de pollution dans la région.

L'étude de la contamination des eaux destinées à l'irrigation a permis de dégager la principale source qui est l'utilisation des engrais organiques et inorganiques en raison d'une forte activité agricole qui menaçant actuellement les ressources en eaux de la région.

De point de vue géomorphologique, la région d'étude est caractérisée par un relief très fort à l'Ouest et au Sud, le reste de la région est une vaste plaine. Elle est occupée par un réseau hydrographique relativement dense et une végétation assez fragile.

L'étude lithologique, nous ont permis de distinguer deux aquifères :

- Système aquifère superficiel d'âge quaternaire, qui est caractérisé par une capacité quasiment nulle à cause du tarissement de la nappe.
- Système aquifère profond d'âge Tertiaire continental constitué essentiellement par des conglomérats et argiles sableuse, qui est pratiquement la principale ressource exploitée dans cette région.

La zone d'étude fait partie de climat aride avec de précipitation moyenne de l'ordre de 157.65 mm/an et de température moyenne de 19.7°C. L'évapotranspiration pour la station de Boussaâda est de l'ordre de 146.26 mm soit de 92.77% des précipitations moyennes annuelles.

D'après l'analyse climatologique, on peut dire que la lame d'eau précipitée est insuffisante pour alimenter la nappe du moins du niveau de la plaine.

L'interprétation des diagrammes de PIPER et SCHOELLER-BERKALOFF a montré que les éléments (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- et SO_4^{2-}) sont les éléments dominants donc les eaux souterraines de cette région fait partie de la famille chimique Chlorurée sulfatée calcique et magnésienne.

La plupart des échantillons prélevés présentent une eau de qualité moyenne pour l'irrigation. Par ailleurs ces eaux ne représentent aucun risque sur la sodisation et la perméabilité des sols.

Recommandations

Les mesures suivantes peuvent être prises comme première étape dans le système actuel d'irrigation et de culture pour remédier à la contamination :

- le contrôle de l'eau doit éviter de dépasser la capacité de rétention d'eau, tout en considérant la nécessité d'une fraction de lixiviation du sel ;
- les engrais azotés doivent être fractionnés en fonction des besoins de la plante et des analyses de sol ;
- la surface du sol doit être couverte toute l'année.

Dans un deuxième temps, de nouvelles techniques d'irrigation plus efficaces, telles que l'irrigation localisée, devraient être mises en œuvre pour minimiser les besoins en eau et préserver la qualité de l'eau. Cela implique la formation des agriculteurs, qui sont nombreux dans la région du sud de Hodna, avec des programmes à moyen et long terme. Des recherches plus approfondies devraient être entreprises sur le cycle de l'azote et la fertilisation azotée, en tenant compte des spécificités des conditions arides, afin d'obtenir des références agronomiques locales.

En conclusion, nous souhaitons que cette contribution hydrochimique que nous avons menée au niveau de la plaine de Boussaâda se trouvant en étage bioclimatique aride, a apporté un certain nombre d'informations supplémentaires et de précisions qui pourront orienter les futurs travaux dans le domaine de la lutte contre la contamination des eaux souterraines et la gestion de ces ressources.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

A

Aerts R., Chapin FS., III (2000). The mineral nutrition of wild plants revisited: A revaluation of processes and patterns. *Advances in ecological research*, 30, 1-67.

Ahonon A.S., (2011). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface dans les zones montagneuses du sud-ouest du TOGO : cas du Canton de la vie, Master international, environnement eau et santé, Université de Lome, TOGO, 35p.

Amroune A., Mettai M., (2000). Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Boussaâda. Mémoire d'ingénieur, université Constantine, 7-196p.

Archibald F., (2000). The presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water systems - a cause for concern, *Water Qual Res J. Canada*, 35, PP: 1-22.

Atmani S., Baza K., (2017). Contribution à l'étude hydro chimique des eaux d'irrigation en zone semi-aride -cas de la plaine de BOU SAADA (Sud-Est Algérien). P 138.

Ayad w., (2017). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de la région d'EL-HARROUCH (wilaya de SKIKDA), mémoire d'obtention du diplôme de doctorat 3ème cycle LMD en microbiologie, Université Badji Mokhtar – Annaba. P : 14-15-16.

Ayers R.S., Westcot D.W., (1988). La qualité de l'eau en agriculture et l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

B

Banas D., Lata J.C., (2006). Les nitrates, rapport, laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution, université Paris-sud, France.

Belghiti M.L., Chahlaoui A., Bengoumi D., Elmouqtaine R., (2013). Etude de la quantité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio- Quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). *Larrhyss jornal*, n° 14, Juin 2013, pp.21-36.

- Bencheikh S., Goudjile M., (2011).** La pollution minérale et organique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla, Sud-Est Algérien, diplôme de Master, université de Kasdi Merbah Ouargla, p13 p14 p15 p23 p24 p26 p27 p28.
- Beniston M., (2009).** Changements climatiques et impact, Lausanne : presses universitaires romandes, p 41.
- Benmani K., (1995).** Pollution des eaux par les nitrates en Algérie. 2^{ème} colloque national Climat Et Environnement. Oran. Alérie.
- Birech S., Messaoudi I., (2006).** La contamination des eaux par les métaux cas de chott ain baida de la région de Ouargla, mémoire d'ingénieur, université de Ouargla).
- Bontoux F., (1993).** Introduction à l'étude des eaux douces : qualité et santé, eaux naturelles, eaux usées, eaux de boissons. 2eme édition : Cebedoc. P : 81-82-120
- Bopp C., Brenner F., Wells J., Strockbine N., (1999).** Escherichia, Shigella and Salmonella, In Manual of clinical microbiology (Eds, Patrick R. Murray and American Society for Microbiology) American Society for Microbiology Press, Washington, D.C., PP : 459-474.
- Bouaroudj S., (2011)-** Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation. MÉMOIRE Magistère, université Constantine, 3p.
- Bouchenouk I., (2013).** Processus d'enrichissement en nitrates des eaux souterraines dans les zones semi-arides, cas de la plaine de BOUKADIR (nord-ouest Algérien), mémoire d'obtention du grade de magister en géologie, Université d'Oran, P : 62-65
- Bouderka N., Souid A.K., Lakhili F., Lahrach A., Benabdelhadi M., (2016).** Evaluation de l'impact de la pollution agricole sur la qualité des eaux souterraines d'eaux de la source d'Ain Salama-Jerri (région de Meknès-Maroc). Larrhyss journal, n°12,
- Bouguetit K., Benhamida N., (2015).** Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla (Cas de la nappe du Continental Intercalaire), Mémoire d'obtention de Master Académique en Sciences et Technique, Université KASDI MERBAH OUARGLA. P 50.
- Boulahia A., (2016).** L'eau d'irrigation en Algérie université Constantine.
- Boyadgiev TG., (1975)** Soils of Hodna (in French). Tech. Rep. Rapport Algérie 9, FAO, Rome.

C

Cantor. K. P., (1997). Drinking water and cancer. *Cancer Cause Control* 8, pp. 292-308.

CEAEQ., (2000), Recherche et dénombrement des coliformes totaux ; méthode par filtration sur membrane, Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec, 25 p.

Chapin. FS ., (1980). The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systemics*, 11, 133-260.

Chennouf. F, Siradj. F., (2008). Isolement des bactéries métallo-resistant à partir de Chott Ain El-Baidha et lac Temaçine, mémoire de l'obtention du Diplôme d'Etudes Supérieures en Biologie, université de Kasdi Merbah Ouargla. P. 89.

Chevalier. P., (2003). Coliformes totaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 4 p.

CNES., (2000). La formation en agriculture : CNES. 24 p.

Collin J.J., (2004). Les eaux souterraines : Connaissance et gestion, HERMANN, Editeurs des sciences et des arts, paris, PP : 27-49.

D

Defrance Schki. M., (1996). L'eau dans tous ses états, édition ellipses, paris, p 632.

Drinking Water and Cancer: Incidence in Trnava District, Slovakia. *Environ. Res. Section A*, 88, pp. 182-187.

Dussart. B., (1992). Limnologie, L'étude des eaux continentales, 2ème édition, Boubée, p736.

Dib I., (2009). L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de gadaïne - ain yaghout (est algérien). Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER en HYDRAULIQUE Option : Construction hydro – technique et environnement (Mobilisation des ressources hydriques et leur impact sur l'environnement), UNIVERSITE HADJ LAKHDAR BATNA.

E

Edmond. M.B., Ober J.F., Weinbaum, D.L., Pfaller M. A., Hwang T., Sanford M.D., (1995). Vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* bacteremia : risk factors for infection, *Clin*

Infect Dis, Vol 20, N°5, PP: 1126-1133.

F

Fiambach H.B., (1998). Chang from chlorine résidual distribution to no chlorine residual distribution in groundwater system, Water supply, Vol 6, N°3/4, Germany, PP: 145-152.

G

Ghazali. D, Zaid. A., (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source AIN SALAMA-JERRI (région de MEKNES –MAROC), Larhyss Journal, N° 12, Janvier 2013, PP : 25-36.

Gleeson. C, Gray. N., (1997). The coliform index and waterborne disease: problems of microbial drinking water assessment, E & FN Spoon, London, 194 p.

Gouadia. L., (2008). Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est Algérien. Thèse de doctorat. Univ Annaba, 130p).

Gouvernement du Quebec., (2004). Etude du risque de gastro-entérite chez les familles utilisant l'eau d'un puits domestique, Direction risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Institut national de santé publique, Québec, p 08.

Gulis. G, Czompolyova. M, Cerhanw. J. R., (2001). An Ecologic Study of Nitrate in Municipal.

Güler, C., Thyne, G.D., Mccray, J.E., Turner, A.K., (2002). Evaluation of graphical and multi variate statistical methods for classification of water chemistry data. Hydrogeology Journal. 10: 455-474.

H

Haslay. C., Leclerc. H., (1993). Microbiologie des eaux d'alimentation, Edition Technique et Documentation Lavoisier.

Hill. M.J., (1991). Nitrates and nitrites in food and water. Ellis Horwood, London, pp. 196.

K

Koller, E., (2004). Traitement des pollutions industrielles, Dunod, Paris, ppp 4-6-7.

L

- L'hirondel J., l'hirondel J.L., (2002).** Nitrates and Man: toxic, harmless or beneficial? CABI. Publishing, New York, pp. 168.
- Lacroix. A, Beaudoin. N., (2007).** Désintensification et préservation des ressources naturelles (eau et sols). Dossier de l'environnement de l'INRA n° 24, pp 83-85.
- Landreau. A, Roux. J.C.,** les nitrates dans les eaux souterraines. Exemple de répartition et d'évolution des teneurs dans quelques aquifères française, pp : 26-29.
- Louazene. M., (2016).** Contribution à l'optimisation des systèmes photovoltaïques utilisés pour l'irrigation dans les zones sahariennes – Application zone de Ouargla Thèse de Doctorat en Sciences université Hadj Lakhdar – Batna, p87

M

- Madani. T. A. A, Kabani A, Orr P, Nicolle L., (1999).** Enterococcal bacteremia in a tertiary care centre in Winnipeg, Canadian Journal of Infectious Diseases, Vol 10, PP : 57- 63.
- Maïga F.S., (2002).** Manuel du cour d'hygiène du milieu, F.M.P.O.S .
- Mariotti A, Landreau A, Simon B., (1988).** 15 N isotope biogeochemistry and natural denitrification process in groundwater: application to the chalk aquifer of Northern France. Geochim. Cosmochim. Acta, 52, 1869- 1878.
- Maynard D.N., Hochmuth G.J., (1997).** Knott's Handbook for vegetables growers. 582p. (http://www.agr.gc.ca/pfra/water/microirr_htm), 4p.
- Mebarki, A., (1982).** le bassin du kebir , ressources en eaux et aménagement en Algérie, thèse doctorat 3ème cycle, université de Nancey II, p303.
- Miller T.w, Chalet L, cole D.J, Cole L.J, Flor J.E, Goegelman R.T, Gullo V.P, Joshua H, Kempf A.J, Krellwitz W.R, et al., (1979).** Avermectins, new family of potent anthelmintic agents: isolation and chromatographic properties. Antimicrob Agents Chemother. Vol. 15 (3), pp. 368-371.

N

- Nouayti. N, Khattach. D, Hilali. M., (2015).** Evaluation de la qualité physicochimique des eaux souterraines des nappes du Jurassiques du haut bassin de Ziz (haut Atlas central, Maroc), J.Mater.Environ. Sci 6(4) (2015) 1068-1081.

O

O.M.S., (1997). Health and sustainable development, programmes on Health and Environment World Health Organization, Genève.

OMS., (2000). Directives de qualité pour l'eau de boisson ; volume 2, critères d'hygiène et documentation à l'appui, 2^{ème} édition, 1050 p.

OMS., (2002). Journal officiel de la république algérienne n°27 (26 avril 2006 p10, 11, 12).

Ouakouak. A., (2017). Elimination du cuivre, des nitrates et des phosphates des eaux par adsorption sur différents matériaux, mémoire d'obtention du diplôme de doctorat en science hydraulique, Université de BISKRA, pp. 20-22.

P

Pinheiro A., (1995). Un outil d'aide à la gestion de la pollution agricole : le modèle POLA.

R

Rodier J, Bazin C, Broutin J-P, Chomobon P et Rodi L ., (1996)-L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eau résiduaires, eau de mer, DUNOD, 8^{ème}. Paris, 1384p.

Rodier. J, Legube. B, Merlet. N., (2009). L'analyse de l'eau, 9^{ème} édition, Ed. Dunod, 1579p.

S

Seghir. K, (2008). Vulnérabilité à la pollution, protection des ressources en eau et gestion active du sous-système aquifer de Tebessa Hammamet (Est Algrien). Thèse de doctorat.. Univ Annaba, p.151.

U

UNICEF., (1999). Manuel sur l'eau, N°2, PP : 42-43.

W

Wenzel R.P., (1995). Vancomycin-resistant Enterococcus faecium bacteremia : risk factors for infection, Clin Infect Dis, Vol 20, N°5, PP: 1126-1133.

WRB (2006) World reference base for soilresources—a framework for international

classification, correlation and communication. Word soilresources reports 103, FAO, Roma.

Z

Zahran. HH., (1999). Rhizobium-Legume Symbiosis and Nitrogen Fixation under Severe Conditions and in an Arid Climate. Microbiology and Molecular Biology Reviews 63 : 968-989.

Ziani. D., (2017). Quantification De La Pollution Anthropique Des Eaux Souterraines De l'aquifère De Ain Djasser. Est Algérien, mémoire d'obtention du diplôme de doctorat en science hydraulique, Université de Batna 2, P. 153.

Zouag. B, Belhadj. Y., (2017). Analyse physico-chimique et bactériologique et parasitologique de l'eau de mer traitée par la station de dessalement de Souk Tleta « Tlemcen », mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de docteur en pharmacie, université de Tlemcen, p 155.

Annexes

Annexe 1

Tableau 1 : température minimale et maximale de la région de bousàada durant la période (1994-2016)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	Mai	J	Jt	A
T min (c°)	18,83	13,18	6,7	3,903	4,53	5,65	7,83	12,38	17,08	21,5	24,13	23,13
T max (c°)	31,55	26,6	18,33	15,7	15,6	16,55	19,98	26,03	31,43	35,98	39,23	37,38

Annexe 2

Tableau 2 : Résultats de pH équilibre et Co2 de la région de bousàada

Forage	pH équilibre	Co2
F1	8,3	14
F2	7,2	10
F3	7,09	19
F4	7,5	38
F5	7,72	20
F6	7,6	21
F7	7,3	20
F8	7,42	25
F9	6,9	8
F10	7,9	30
F11	7,09	17
F12	6,6	20
F13	7	24
F14	7,7	20
F15	7,3	15

Annexe 3

Tableau 3 : Résultats des rapports i.e.b

Forage	i.e.b
F1	0,4
F2	-0,02
F3	0,12
F4	-0,1375
F5	0,04
F6	0,06
F7	0,49
F8	0,03
F9	-0,05
F10	0,4
F11	0,01
F12	0,27
F13	-0,03
F14	-0,09
F15	-1,04

Annexe 4

Tableau 4 : Résultat des IP.

Forage	IP
F1	52,45
F2	40,93
F3	30,72
F4	32,75
F5	23,49
F6	30,65
F7	21,8
F8	29,48
F9	51,42
F10	24,48

F11	28,82
F12	32,44
F13	23,55
F14	35,88
F15	32,51

Annexe 5

Tableau 05 : Résultats des concentration des nitrate de la campagne de 2017 :

Paramètres Forage	Concentration des nitrate	
	mg/l	még/l
F1	9	0.14
F2	2.904	0.05
F3	1.89	0.03
F4	80	1.29
F5	8	0.12
F6	9.30	0.15
F7	6.5	0.10
F8	6.60	0.10
F9	5.60	0.09
F233	4	0.06
F225	130	0.48
F226	125	2.01
F232	86	1.38
236	36	0.58
214	79	1.27

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد حجم تلوث المياه الجوفية ، وخاصة مياه طبقة المياه الجوفية في المرحلة الثالثة عن طريق النترات. المياه هو استخدام الري بشكل رئيسي في سهل منطقة بوسعادة - ولاية المسيلة. لتقييم تأثير النترات على المياه الجوفية لسهل بوسعادة، تم إجراء تحاليل فيزيوكيميائية من 15 عينة من هذه المياه خلال شهر مايو 2018. الهدف من أخذ العينات هو تحديد البدني والبيانات الكيميائية والبكتريولوجية ومقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من حملة 2018 بالنتائج التي تم الحصول عليها من حملة عام 2017. تظهر الدراسة أن تلوث المياه من أصل زراعي بسبب الاستخدام المكثف للأسمدة العضوية وغير العضوية للأغراض الزراعي. الكلمات المفتاحية: بوسعادة ، التلوث ، الري ، الجودة الفيزيائية ، المياه الجوفية

Résumé

Cette étude vise à quantifier la contamination des eaux souterraines, en particulier les eaux de la nappe de tertiaire continentale par les nitrates. Ces eaux sont à pour but d'utiliser principalement en irrigation au niveau de la plaine de Bousàada - wilaya de M'Sila.,

Pour évaluer l'impact des nitrates sur les eaux souterraines de la plaine de Bousàada on fait des analyses physico- chimiques de 15 échantillons de ces eaux durant le mois de Mai 2018. L'objectif de l'échantillonnage est déterminer les propriétés physico-chimiques et bactériologiques et de comparer les résultats obtenus de campagne 2018 avec les résultats obtenus de campagne 2017. L'étude à permet de connaitre que la contamination des eaux est d'origine agricole à cause de fortes utilisations des engrais organiques et inorganiques à des fins agricoles.

Mots-clés : Bousàada, Contamination, Irrigation, Qualité physico-chimique, Eaux souterraines.

Abstract

This study aims to quantify the contamination of groundwater, in particular the waters of the continental tertiary aquifer by nitrates. The purpose of these waters is to use mainly irrigation in the plain of Bousaada -wilaya de M'Sila.

To evaluate the impact of nitrates on the groundwater of the Bousaada plain, physicochemical analyzes of 15 samples of these waters were carried out during the month of May 2018. The objective of the sampling is to determine the physical and chemical and bacteriological data and to compare the results obtained from the 2018 campaign with the results obtained from the 2017 campaign. The study shows that water contamination is of agricultural origin because of heavy use of organic and inorganic fertilizers for agricultural purposes.

Keywords: Bousaada, Contamination, Irrigation, Physicochemical quality, Groundwater.