وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA

BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY

جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté des sciences de la terre

Département de Géologie

Thèse

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat en Géologie

Option : ***Eau et Environnement***

Comportement de certains polluants organiques dans les eaux de la région d'Annaba Nord-Est algérien ; vulnérabilité et risque de pollution

Par

SASSANE Amina

DIRECTEUR DE THESE: N. KHERICI Professeur (U.B.M. Annaba)

DEVANT LE JURY

Président : ZOUINI Derradji	**Pr. Univ.**	**Badji-Mokhtar**	**Annaba**
Examinateurs :			
DERRADJI El Fadel	**Pr. Univ.**	**Badji-Mokhtar**	**Annaba**
BENHAMZA Moussa	**Pr. Univ.**	**Badji-Mokhtar**	**Annaba**
KACHI Slimane	**Pr. Univ.**	**08mai 45**	**Guelma**

Année 2017

REMERCIEMENTS

Avant tout nous devons remercier le bon **DIEU** tout puissant qui m'a facilité le travail en mettant dans mon chemin des gens qui m'ont énormément aidé et soutenu

Je remercie vivement et profondément mon directeur de thèse Monsieur le Professeur KHERICI. N, je suis très reconnaissante de m'avoir formé, orienté et conseillé durant plusieurs années, merci pour votre gentillesse et votre soutien

Au terme de ce travail, je tiens à remercier également Mr, ZOUINI .D. Professeur à l'université d'Annaba, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de de la soutenance.

Je tiens à remercier, Mr DERRADJ.E.F Professeur à l'université d'Annaba., ainsi que. Mr KACHI. S. Professeur à l'université de Guelma, et Mr BENHAMZA.M Professeur à l'université d'Annaba trouvent mes vifs remerciements de juger ce travail.

Très chaleureusement, je remercie tout le personnel du laboratoire de la station d'épuration d' Annaba, surtout le chef de laboratoire Mlle Zineb NISSEREK pour son soutien et ses efforts

Je profite de l'occasion pour remercier le responsable du laboratoire de ADE Annaba, et Mr Bouchebcheb du l'Agence nationale des ressources hydraulique (ANRH) d'Annaba, pour ses aides documentaires utiles.

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble des enseignants, mes collègues et les étudiants de département de géologie de l'université d'Annaba.

Je dédie ce modeste travail à ceux qui me sont les plus chers au monde, mon Père et ma Mère en témoignant de ma grande reconnaissance à fin de m'orienter vers la bonne voie.

A tous ceux que j'aime en particulier : Mon mari et mes petits-enfants Seifeddine et Mayssa.

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

ملخص

Abstract

NTRODUCTION GENERALE...…….....1

CHAPITRE : 1 CADRE GENERAL DE LA REGION D'ETUDE...……....3

Introduction…….....4

1. Situation géographique :……...…….....4

1-2. Géomorphologie :……...…….....4

a) La plaine d'Annaba :……..6

b) Le cordon dunaire :… …….…….....6

c) Les montagnes :…… …….....6

1-3 Réseau hydrographique ……..6

-Oued Bouhdid : ……..7

-Oued Boudjemâa : ……...7

-Oued Seybouse : …….....8

-Oued Méboudja : ……8

2. Aperçu Socio- économique:……8

2.1. Contexte industriel :……9

2.2. Contexte végétal et agricole :……10

Conclusion …….....11

CHAPITRE : 2 CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURALE……..12

1. Aperçu géologique…….....13

1.1. La géologie régionale :……..13

1.2. La stratigraphie :…….....14

1.2.1. Les terrains métamorphiques ……14

-Unité de base :……..14

-Unité intermédiaire :……...14

-Unité supérieure : ……...14

1.2.2. Les terrains sédimentaires :……..14

- **Le Secondair.....……..14**
- **Tertiaire…….....15**
- **L'Oligocèn. …….....15**
- **Le Mio-Pliocène ……....16**
- **Le Quaternaire ……....17**

a-Quaternaire ancien (haute terrasse)……17

b- Quaternaire moyen……..18

c-Quaternaire actuel ……..18

1.3. Tectonique ……18

2. Aperçu hydrogéologique ……...19

2.1. Aquifère superficiel :……20

2.1.2. La nappe du cordon dunaire : ……20

2.1.3. La nappe des terrasses :……..21

2.1.4. La nappe des alluvions récentes et actuelles :....…….21

2.2. Aquifère profond…… ……..21

2.2.1. La nappe des cipolins :… ……..21

2.2.2.La nappe des graviers…… ……..21

3 .Piézomètre de l'aquifère :… ……24

3.1. Inventaire des points d'eau: …….24

3.2. Etablissement de la carte piézométrique :… ……25

3.3. Interprétation des cartes piézométriques……26

Conclusion……27

CHAPITRE : 3 CADRE HYDCLIMATOLOGIQUE ……28

1. CLIMATHOLOGIE……29

Climatologie de la zone d'étude : …….29

1.2. Variations des facteurs climatiques : …….30

12.1. Les Précipitations……..30

Précipitations moyennes mensuelles……..30

Précipitations moyennes annuelles……31

1-2-2-Coefficient pluviométrique (H) : ……31

Répartition saisonnière des précipitations : ……33

Détermination du type du climat (Indice de de MARTONNE) ……34

Selon de MARTONNE …….34

a)La station des Salines …….34

b) La station de Pont Bouchet ……..34

- **Les autres facteurs météorologiques :……..35**

1.2.3. L'humidité relative ……35

1.2.4. Le Vent :… ……..35

1.2.5. La température : ……...35

Diagramme pluviothermique : ……..37

2. Le bilan hydrique :…….38

2.1. L'évapotranspiration : ……...38

2.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP) :……...39

2.1.2 L'évapotranspiration réelle (ETR) : ……..39

2.1.3 .Calcul de l'évapotranspiration potentiel ……39

2.1.4. Calcul d''évapotranspiration réelle ……40

a)Formule de C.W. Thornthwaite ……...40

b) Formule de TURC……...40

c)Formule de COUTAGNE……41

3. Calcul du bilan hydrique :……41

. Interprétation du bilan hydrique ……....44

4. Ruissellement :……...41

4-1 Formule de TIXERON-BERKALOFF ……...44

4-2 Formule de TIXERON-BERKALOFF modifiée par ROMANTCHOUK…..44

5. Infiltration……....45

6. La réserve facilement utilisable (RFU) :……....46

Conclusion……46

CHAPITRE : 4 COMPORTEMENT DE……..48

CERTAINS POLLUANTS ORGANIQUES

Introduction……49

Objectif de travail :……49

1. Différentes origines de la pollution des eaux……50

a)Pollution agricole……..50

b) Pollution urbaines et industriels……50

2. Méthode de prélèvement……....53

2.1. Prélèvements ……...53

2.2. Matériels et méthodes d'analyse:……..54

3. Les paramètres physico-chimiques :……....54

2.4. Les paramètres organiques :…….54

3. Résultats et interprétations :……57

3.1. Variation des paramètres physiques :……..57

- **La température …….57**
- **Potentiel d'hydrogène pH……....57**
- **La conductivité……58**
- **Oxygène dissous ……...59**
- **Demande biochimique en oxygène ……60**
- **Demande chimique en oxygène……61**
- **Les composés azotés……..62**
- **Les nitrates ……...63**
- **Les Nitrites……64**
- **Ammonium……65**
- **Les phosphates ……67**

3. Sol -zone non saturée - nappe ……..69

3.1. Evaluation du pouvoir épurateur ……70

3.2. L'influence de la profondeur sur la qualité des eaux ……...74

3.2.1. Les principaux mécanismes de transport de masse de polluant ……...75

3.2.1. La température :……..75

3.2.2. L'oxygène dissous……76

3.2.3. Les nitrates :……77

3.2.4Les nitrites :……78

3.2.5. Le phosphate ……...78

3.2.6. La demande chimique en oxygène :……...79

3.2.7. La demande biochimique en oxygène : ……79

3.2.8. L'ammonium : ……80

4. Indices de pollutions……81

4.1. Indice de pollution organique(IPO) …….81

4.2. L'indice de l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (I.H.E) ……...82

4.3. Lisec-Index (BECKERS & STEEGMANS, 1979) :……..82

4.4. Interprétations et discutions des résultats :……..83

5. Etablissement de la carte d'évaluation et sensibilité de pollution …….90

Conclusion…….91

CHAPITRE : 5 VULNERABILITE ET RISQUE DE POLLUTION…….93

Introduction ……...94

1. Différents types de la vulnérabilité ……..95

1.1. La vulnérabilité intrinsèque… ……..95

1.2. La vulnérabilité spécifique ……95

2. Utilisation des SIG dans l'évaluation de la vulnérabilité des nappes:……95

3. Utilité des cartes de vulnérabilité:…….95

4 .Application de méthodes d'estimation de la vulnérabilité :……96

4.1 Méthode DRASTIC : ……..96

5. Evaluation de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC:

5.1.1. Profondeur de plan d'eau (D): ……...96

5.1.2. Recharge efficace (R): ……...97

5.1.3. Lithologie de l'aquifère (A) :……..98

5.1.4. Type de sol (S) ……99

5.1.5. Topographie (T) …….103

5.1.6. Lithologie de la ZNS (I) …….104

7. Conductivité hydraulique de l'aquifère (C) ……...105

5.1. Degrés de vulnérabilité de la nappe d'ANNABA selon DRASTIC : …….106

5.2. La méthode SINTACS ……108

5.2.2. Evaluation de la vulnérabilité par la méthode SINTACS …….109

5.2.3. Traitement des paramètres SINTACS: …….109

5.3. Carte de risque à la pollution……115

5.3.1. Carte d'inventaire des sources de pollution potentielles ou réelles……115

Conclusion……..118

CONCLUSION GENERALE. ……....119

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES……..120

LISTE DES FIGURE

Fig.1 :Carte de la situation géographique de la plaine d'ANNABA……05

(*in* SABOUA, 2010)

Fig.2 : Réseau hydrographique et les sous bassin versant de la plaine…….....07

de Annaba (*in*SABOUA, 2010)

Fig. 3 : Classement de la population de la wilaya d'Annaba……09

Fig.4 : Occupation du sol dans la zone d'étude (Image LANDSAT 2014)……10

(ANDI 2013).

Fig.5: Les terres agricoles, couvertures végétales, sols nus et……..11

surfaces bâties dans la zone d'étude Image (Land SAT 2014)

Fig.6: Situation géologique des plaines de la région d'Annaba……13

d'après STROJEXPORT, 1975. (In A. Hani, 2003 légèrement modifiée)

Fig.7 : Coupe lithologique schématique du massif de l'Edough (Aissa, 199……..... ..15

Fig8.Bloc diagramme au travers de la plaine de Annaba…….17

(Hani, 2003, modifié)

Fig.09: Coupe géologique Nord-Sud à travers la plaine d'Annaba…….19

(In A. Hani, 2003)

Fig.10: Extension des différents aquifères dans les plaines……..20

de Annaba-EL-Kala (d'après Gaud, 1976, modifiée 2013).

Fig.11 : Profil hydrogéologique schématique (Nord-Sud)……22

de la plaine d'Annaba (In A. Hani, 2003, Légèrement modifié)

Fig.12 : Profil hydrogéologique schématique (NW-SE) de la plaine d'Annaba …….23

(In HANI, 2003, Légèrement modifié).

Fig.13 : Description géologique et hydrogéologique de la plaine…….23

de Annaba (*In* DEBIECHE, 2002)

Fig.14 : Carte d'inventaire des points d'eau. (In .ZERROUKI)……..24

Fig.15: Carte piézométrique pour la période des hautes eaux – Mars……...25

2006 (In. ZERROUKI, 2007)
Fig.16 : Carte piézométrique pour la période des basses eaux- Juill.……...26
2006 (In.ZERROUKI.2008)

Fig.17 : Localisation des stations climatologiques dans la région de Annaba……..30
.
Fig.18. Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (mm),(1980-2014)… …31

Fig:19: Diagramme du coefficient pluviométrique des deux stations……...32

Période (1980-2014)
Fig.20: Répartition Saisonnière des pluies pour la station de Pont –Bouchet…….33

Fig.21: Répartition Saisonnière des pluies pour la station des Salines ……..33

Fig.22 : Températures moyennes mensuelles à la station des Salines :……..36
Période (1980-2014)
Fig.23 : Diagramme pluviothermique de la station des Salines :…….37
Période (1980-2014)
Fig.24: Diagramme pluviothermique de la station de Pont Bouchet :…… ...37
Période (1980-2014)
Fig.25 : Représentation graphique du bilan hydrique selon…….42
THORNTHWAITE, Station des Salines, période (1980-2014)

Fig.26 : Représentation graphique du bilan hydrique selon……....43
THORNTHWAITE, Station de Pont Bouchet, période (1980-2014)

Fig.27 : Carte de l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne ……...46
de l'Est Algérien (in MEBARKI. A ; 2005 ; source : étude A.N.R.H., 2002)
Fig.28 : Principales causes de pollution……....53

Fig. 29: carte de localisation des points de mesure……..55

Fig.30 : Variation spatiale des températures…….57

Fig. 31: Variation spatiale du pH……...58

Fig.32: Variation spatiale de la conductivité……...59

Fig.33 : Variation spatiale des concentrations en oxygène dissous ……...60

Fig.34 : Variation spatiale de la DBO_5…….....61
Fig.35: Variation spatiale de la DCO ……62

Fig. 36:Cycle de l'Azote. (Mariotti, 1982)…….63

Fig.37 : variation spatiale des concentrations en nitrates……...64

Fig.38 : Variation spatiale des concentrations en nitrites……...65

Fig. 39: cycle de l'azote D'après (Recou et al, 1997)…… ..65

Fig. 40: Oxydation de l'azote ammoniacale……..66

Fig.41 : Les concentrations en ammonium……66

Fig.42: Les variations des valeurs de phosphate ……....67

Fig.43 : Carte de la qualité des eaux de la région d'Annaba…….....69

Fig.44 : La carte du pouvoir épurateur sur le trajet vertical M_d ……..74

Fig.45 : Mode de transfert des émissions polluantes vers les sols……..75

et les eaux souterraines (in Rouebhia, 2005)

Fig. 46 : La température en fonction de la profondeur……..76

Fig.47 :L'oxygène dissous en fonction de la profondeur……....77

Fig.48 : Les valeurs de nitrates en fonction de la profondeur……..77

Fig.49 : Les valeurs de nitrites en fonction de la profondeur ……...78

Fig.50 : Les concentrations de phosphate en fonction de la profondeur……..78

Fig.51: La demande chimique en oxygène en fonction de la profondeur……79

Fig52 : Les concentrations en (DBO_5) en fonction de la profondeur…… ..80

Fig.53 :L'Ammonium en fonction de la profondeur ……...80

Fig.54: IPO relatif aux points de prélèvement : S1, S2, et S3……....83

Fig.55:IPO relatif aux points de prélèvement F1, F2, F3 et F4…….84

Fig.56 : IPO relatif aux points de prélèvement P1, P2, P3 et P4……..84

Fig.57: IPO relatif aux points de prélèvement P5, P6 et P7……..86

Fig.58 : IPO relatif aux points de prélèvement F5, F6, et F7……....86

Fig.50: IPO (P5, P6 etP7) ……....89

Fig.59 : Comparaison des trois indices de pollution organique ……...90

calculés des eaux
Fig.60 : Carte d'évaluation et sensibilité à la pollution des eaux …….91

Fig.61: Schéma représentant les paramètres intervenants dans……..97
l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution
par la méthode DRASTIC (SINAN et BOUIBRINE, 2007).

Fig.62: Carte du paramètre D"DEPTH" : profondeur de ……..100
l'aquifère de la région de Annaba

Fig.63 : Carte du paramètre "R" : la recharge nette de l'aquifère de……101
la région de Annaba

Fig. 64 : Carte du paramètre "A" : Nature lithologique ……... ….102
de l'aquifère de la région de Annaba

Fig.65 : Carte du paramètre "S" : Nature lithologique de sol ……103
de l'aquifère de Annaba

Fig.66 : Carte du paramètre "T" pente de l'aquifère de Annaba ……..104

Fig. 67: Carte du paramètre "I" lithologie de la zone non saturée ……....105
de l'aquifère de d'Annaba

Fig.68 : carte du paramètre "C" Conductivité hydraulique……106
de l'aquifère de Annaba

Fig.69 : Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux ……...107
de la région d'Annaba d'après la méthode DRASTIC

Fig.70 : Répartition des degrés de vulnérabilité à la pollution des eaux …….107
souterraines de la région de d'Annaba selon DRASTIC

Fig.63 : Carte du paramètre profondeur du plan d'eau (S)…… 110

Fig.64 : carte de la recharge efficace (I)…… .111

Fig .65 : Carte de la lithologie de la zone non saturée (N)……....111

Fig.66 : carte du type de sol (T)……..112

Fig.67 : carte du type de l'aquifère (A)…….....112

Fig. 69 : carte de la conductivité hydraulique (C)…….113

Fig.70 : carte de la topographie (S)……....113

Fig.71 : Carte des indices SINTACS (I) dans la région étudiée……114

Fig. 72 : Répartition des degrés de vulnérabilité à la pollution……114

des eaux souterraines de la région de d'Annaba selon SINTACS.

Fig.73 : Occupation du sol et cas de pollution d'après (Debièche ,2002) …….....116

Fig.74: Carte de risques à la pollution…….....117

LISTE DES TABLEAUX

Tabl.1 : Source de pollution potentielle dans la zone d'étude…….09

(Agence des bassins hydrographiques)

Tabl.2 : Variations de la transmissivité selon la texture des alluvions……...22

d'après N.Khérici.1993.

Tabl.3: Caractéristiques géographiques des stations étudiées……29

Tabl.4 : précipitations moyennes annuelles des deux stations (1980-2014)……..31

Tab.5 : La moyenne mensuelle de l'humidité relative à …….....35
la station des salines (1984-2013)

Tabl.6 : Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à……..35
la station des Salines (1974-2013)

Tab.7.températures moyennes mensuelles à la station des…….36
durant la période (1980-2014)

Tab.8 : ETP selon la formule de« THORNTHWAIT » …….39
à la station des salines (1980-2014)

Tab.9 : Résultats de L'ETR selon la formule de « TURC » ……...41
dans les deux stations (1980-2014)

Tab.10 : l'ETR d'après la méthode de COUTAGNE(en mm) dans……...41
les deux stations (1980-2014)

Tabl.11 : Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE », ……42

Station des Salines, période (1980-2014)

Tabl.12 : Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE »,……43

Station de Pont Bouchet, période (1989-2009)

Tab.13 : Ruissellement selon la formule de TIXERON-BERKALOFF……45

modifié par ROMANTCHOUK (en mm).pour les deux stations (1980-2014).

Tan.n.14 : Estimation de l'infiltration par l'équation fondamentale ……...45

du bilan hydrique dans les deux stations (1980-2014).

Tabl.15 : Inventaire des usines existant dans la région d'étude. Source ……...51

Agence des bassins hydrographiques (2008)

Tabl.16 : Les altérations et leurs effets……....56

Tabl.17 : Grille de Qualité pour Les eaux souterraines (OMS, 2002)…….68

Tabl18:Grille de Qualité pour Les eaux superficielles (OMS, 2002)……...68

Tabl. 19 : Pouvoir épurateur du sol dans la couverture…….71

(ZNS) W.Rehse (1977).

Tabl.20 : Pouvoir épurateur dans les eaux de la région de Annaba……72

Tabl.21 : Grille de la qualité (IPO)……..81

Tabl.22:Classes d'altération chimique de l'IPO…….81

Tabl 23: Intervalle des valeurs attribuées aux……82

cinq paramètres de l'indice IHE

Tabl.24: Classes d'altération chimique de l'indice de l'Institut……...82

d'Hygiène et d'Epidémiologie

Tab.25 : Grille de qualité Lisec index…….83

Tabl.26: Classes d'altération chimique de Lisec index…….82

Tabl.27 : calcul d'Indice de pollution de l'Institut d'Hygiène ……88

et d'Epidémiologie(2014)

Tabl. 28 : Indice de pollution Lisec-Index des eaux souterraines (2014)…….89

Tabl. 29 : Résumé des propriétés de chaque paramètre et son poids……..97

(Attoui .B, 2014).

Tabl.30: Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode……...99

DRASTIC (ALLER et al, 1987).

Tab.31 : Poids attribués aux paramètres SINTACS dans les différents…….109

scénarios de la méthode.

Tabl.32 : Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SINTACS…….109

RESUME

L’eau est une ressource essentielle, sa qualité baisse partout dans le monde en raison des activités de l'Homme, par la croissance démographique, l'urbanisation rapide, le rejet de nouveaux organismes pathogènes et de nouveaux produits chimiques provenant des industries, Actuellement l’Algérie se trouve confrontée aux problèmes causés par une pollution de diverse forme, cette situation provoque la dégradation de la qualité de l’eau existante.

L’étude développée a permis de déterminer les facteurs responsables de la dégradation des ressources en eau par les polluants organiques, et évaluer la vulnérabilité à la pollution des aquifères, à la région d’Annaba Nord- Est Algérien

Afin d’évaluer cette pollution, des analyses physico-chimique et organique, des eaux de surface et souterraine, ont été effectué pour nous permettre d’identifier la qualité des eaux, avec l’étude de l’influence des différent facteurs (la profondeur, la lithologie) et le calcul des indices de pollution.

La situation impose des solutions envisageable telle que l’estimation de la vulnérabilité à la pollution des eaux, durant cette étude deux méthodes sont adoptées DRASTIC et SINTACS couplées au système d’information géographique SIG.

Le traitement des résultats montre que, la qualité des eaux dans la zone d’étude a connu ces dernières années une grande détérioration à cause des rejets industriels non contrôlés et l’utilisation intensive des engrais chimiques dans l’agriculture.

La méthode DRASTIC montre que les terrains à vulnérabilités moyenne occupent (67%) de la superficie de la zone étudiée alors que les terrains à faible vulnérabilité occupent (33%). Cependant, dans la carte SINTACS, plus que 85% de la nappe est à moyen degré de vulnérabilité et environ 15% est à vulnérabilité faible. La méthode SINTACS apparait la plus adéquate aux conditions régionales car elle prend en compte les sources et les propriétés des polluants et leur relation avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque.

Mots clés : Annaba**,** polluants organiques, indice de pollution, vulnérabilité, DRASTIC, SINTACS.

ABSTRACT

Water is an essential resource, its quality is declining everywhere in the world, because of the human activities by population growth, rapid urbanization, the rejection of new organisms pathogenic and new chemicals from industries. With the increased of population and industry development, currently Algeria is facing to various pollution problems this situation caused the degradation of water quality.

the present study conducted allowed the identification of factors responsible for degradation and assessment of water resources by organic pollutants, determining the water quality and to assess the vulnerability and the risk of pollution of aquifers in the region of Annaba North - East Algerian .In order to evaluate this pollution, chemical analysis of water (ground and surface), were performed and identified water quality, with the consideration of the different factors (depth and lithology…) and calculations of pollution indices.

The situation imposes solutions in this direction; with the study of vulnerability to pollution of the water table, two methods of intrinsic vulnerability DRASTIC and SINTACS are adopted in this study, these methods have been applied by the software of geographic information systems (GIS) MapInfo.

The complementarity of the results shows that the water quality in the study area was considerably deteriorated in recent years had with the urban and industrial wastes and the intensive use of chemical fertilizers in agriculture.

What characterizes in the study area is the spatial extent of land with medium vulnerability (67%) compared to low vulnerability lands that occupy less than (33%) in DRASTIC maps .on the other hand In SINTACS card, more than 85% of the web is the medium level of vulnerability and approximately 15% is low vulnerability. we show that the SINTACS method is the most adequate to regional conditions, is based on the combination of the sources of pollutants and the different transfer factors of intrinsic vulnerability.

Keywords: Annaba**,** organic pollutants, pollution indices, vulnerability, DRASTIC, SINTACS

ملخص

تعتبر المياه من الموارد المهمة حيث تشهد غالبية مناطق العالم تدني في نوعيتها وذلك بسبب مختلف نشاطات الإن سان بما في ذلك النمو الديمغرافي والعمراني السريع ، بالإضافة إلى الملوثات والكائنات المجهرية الضارة والمواد الكيمائية الجديدة من نوعها الناتجة عن مختلف أطوار الصناعة ، تشهد الجزائر في هذه الفترة أخطار عديدة أسبابها التلوث بمختلف أنواعه ،والذي أدى بدوره إلى تدهور جودة المياه المتوفرة . خلال الدراسة التي قمنا بها، في هذا السياق والمتمثلة في تعريف العوامل المساعدة على التلوث، وذلك على وجه الخصوص، التلوث بالمكونات العضوية بالإضافة إلى تقييم ضعف وحساسية المياه الجوفية لمنطقة عنابة الشمال الشرقي للجزائر.

لتقييم ورصد درجة هذا التلوث، تمت معاينة فيزيو كيميائية لعينات من مياه السطح والجوف. ومستدله بظروف أخرى (كعمق ومكونات بنية السطح) مع دراسة بعض مؤشرات التلوث. إن اللجوء إلى دراسة ضعف وخطر تلوث المياه الجوفية نوع من أنواع الحلول، والتي تم معالجتها في هذا البحث بالاعتماد على طريقتين,DRASTIC و SINTACS وقد تم تطبيقها من قبل برنامج النظم الجغرافية SIG. معالجة النتائج سمحت لنا برصد نوعية المياه وقد تم تسجيل تراجع في نوعية مياه المنطقة، بسبب العديد من النفايات الصناعية منها والزراعية بدون أي مراقبة.

وما قد ميز المنطقة هو المساحة الشاسعة لمناطق الضعف الضئيل أي ذا ت الحساسية الضعيفة والتي تشكل 67 % مقارنة مع مناطق الضعف المتوسط 33 %وذاك حسب نتائج (DRASTIC). أ ما خريطة SINTACS تشمل على 85 % من مناطق الصف المتوسط والباقي هي مناطق ضعيفة الحساسية 15 %. نستطيع أن نستخلص من هذه الدراسة أن الطريقة SINTACS هي الأنسب لتقدير مدى حساسية المياه الجوفية في منطقة سهل عنابة.

المؤشرات: عنابة وملوثات عضوية، و ,مؤشرات التلوث , التعرض للتلوث ,SINTACS, DRASTIC

INTRODUCTION GENERALE

L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère est devenu une préoccupation mondiale. Dans un proche avenir, la pollution de l'eau souterraine demeure désormais le risque permanent de limitation de la ressource en eau. Avec la croissance démographique que connaît l'Algérie après son indépendance, a eu pour conséquence l'augmentation des besoins primaires des populations sur les ressources naturelles qui se traduit par une production de plus en plus importante des déchets de toute nature.

Les eaux souterraines sont considérées comme étant une source précieuse et importante, suite à leur faible susceptibilité relative à la pollution par rapport aux eaux de surface Ainsi, depuis ces dernières décennies, les études réalisées sur les ressources en eaux de la ville d'Annaba (Nord –Est Algérien),par **NAFAA (1985)**, **HANNOUCHE (1990)**, **KHERICI (1993), DJABRI (1996)**, **LOUHI (1996)**, **ZENATI (1999)**, **DEBIECHE (2002), HANI (2003)**, **DERRADJI (2004)…**etc., ont signalé de nombreux facteur de pollution aussi bien au niveau des eaux de surface que des eaux souterraines, dans la région.

La présente étude est une modeste contribution de notre part dans le but d'essayer de mettre à jour cette situation qui préoccupe tous les secteurs concernés par la problématique de l'eau. Nous y avons essayé d'interpréter et de déterminer le comportement de certains polluants organiques en se basant sur les résultats des analyses qui vont nous permettre d'avoir une idée sur ses origines dans le secteur étudié. En plus nous somme intéressées aux eaux de la moyenne Seybouse dans lequel les diverses industries (sidérurgique, engrais …etc.) déversent leurs rejets souvent non traités.

Pour évaluer la possibilité d'un risque touchant les ressources en eaux, il est donc judicieux d'avoir recours à l'information géographique, sous forme de cartes thématiques numériques, afin d'éclairer la prise de décision en matière de gestion intégrée.

Notre travail est structuré en cinq chapitres :

- Le premier chapitre, est une synthèse des connaissances de la région d'Annaba, qui fournira une approche du point de vue géographique, et le cadre générale de la région d'étude.
- Le deuxième chapitre, est une étude qui s'intéresse à la géologie et la stratigraphie qui caractérise la région d'étude,et fait le point sur l'hydrogéologie et la définition de la géométrie, la structure et la lithologie de la nappe (la réalisation de coupes litho-structurales du réservoir à la base des données de géophysique et des sondages mécaniques).
- Le troisième chapitre, traite les données hydroclimatiques pour évaluer les termes du bilan hydrologiques
- Le quatrième chapitre, porte sur l'évaluation de comportement de certains polluants organiques des eaux de surface et souterraines, en identifiant la qualification des eaux pour l'utilisation humaine.
- Le cinquième chapitre est réalisé dans le but d'établir un lien entre les domaines de recherche liés à l'estimation de la vulnérabilité (par les méthodes DRASTIC et SINTACS) et des risques de pollution des eaux souterraines couplés aux SIG couvrant la région.

CHAPITRE : 1
CADRE GÉNÉRALE

Introduction:

Le site d'étude est situé à l'aval de l'Oued Seybouse entre le village de Dréan et la mer appelée basse Seybouse ou Seybouse maritime(wilaya d'Annaba) au nord-est de l'Algérie à 600 Km à l'Est d'Alger, et s'étend sur une superficie de 200 km^2, et fait partie du grand bassin versant d'Oued Seybouse qui couvre au total une superficie de 6471 km^2(fig.1)

1. Situation géographique :

La zone d'étude est située dans le Nord – Est algérien et fait partie de la Wilaya d'Annaba. Elle se localise dans la partie Est de la plaine d'Annaba. et comporte: les communes d'El Bouni, Sidi Amar, El Hadjar, Hdjar ediss et El karma. Ses limites naturelles sont :

- au Nord, la mer mediterranee ;

- à l'Ouest, du Sud au Nord, le massif de Belelieta (287 m), de Boukhadra (152 m) et du massif del'Edough (1008m) ;

- au Sud les Monts de Cheffia et d'El-Kala (1411m) ;

- enfin à l'Est, le prolongement oriental du systeme aquifere Annaba - Bouteldja.

1-2. Géomorphologie :

Comme elle fait partie de la plaine d'Annaba, la zone d'étude est influencée par les caractéristiques géomorphologiques et le réseau hydrographique local et régional. La geomorphologie du site est caracterisee par une topographie plane sur l'ensemble de la plaine, marquee par des inclinaisons importantes aux bordures de la plaine, a la partie Ouest et Sud, due à l'anticlinal du massif metamorphique de l'Edough, Belelieta et celle de la chaine Numidienne.

Elle peut être subdivisée en plusieurs unités géomorphologiques :

- Plaine d'Annaba Ouest entre le lac Fetzara et l'oued Seybouse (dépression du lac Fetzara).
- Plaine de Annaba centre, localisée entre les Oueds Seybouse à l'Ouest et Bounamoussa à l'Est
- Les marécages de Mekhada, constituant également la limite Nord-Est.

La plaine côtière est située à une altitude inférieure à 150 m dans sa partie amont. Cette plaine se caractérise également par deux importantes chaines de montagnes littorales correspondent à des crêtes souvent allongées et arrondies dont les altitudes

varient entre 200et 400 m (monts de Chaffia).Le mont de l'EDOUGH est nettement séparé des reliefs situés au Nord – Ouest, sa masse principale est plongée en direction du Nord a 55° Est, la ligne de crête, relativement rectiligne et longue de 26 Km, débute au Nord du lac Fetzara, elle s'élève rapidement à plus de 600 m pour culminer à 1008 m d'altitude au Kef Sebaa et redescend à 867 m vers Séraidi, elle s'abaisse ensuite régulièrement jusqu'au Cap de Garde au Nord de la ville.

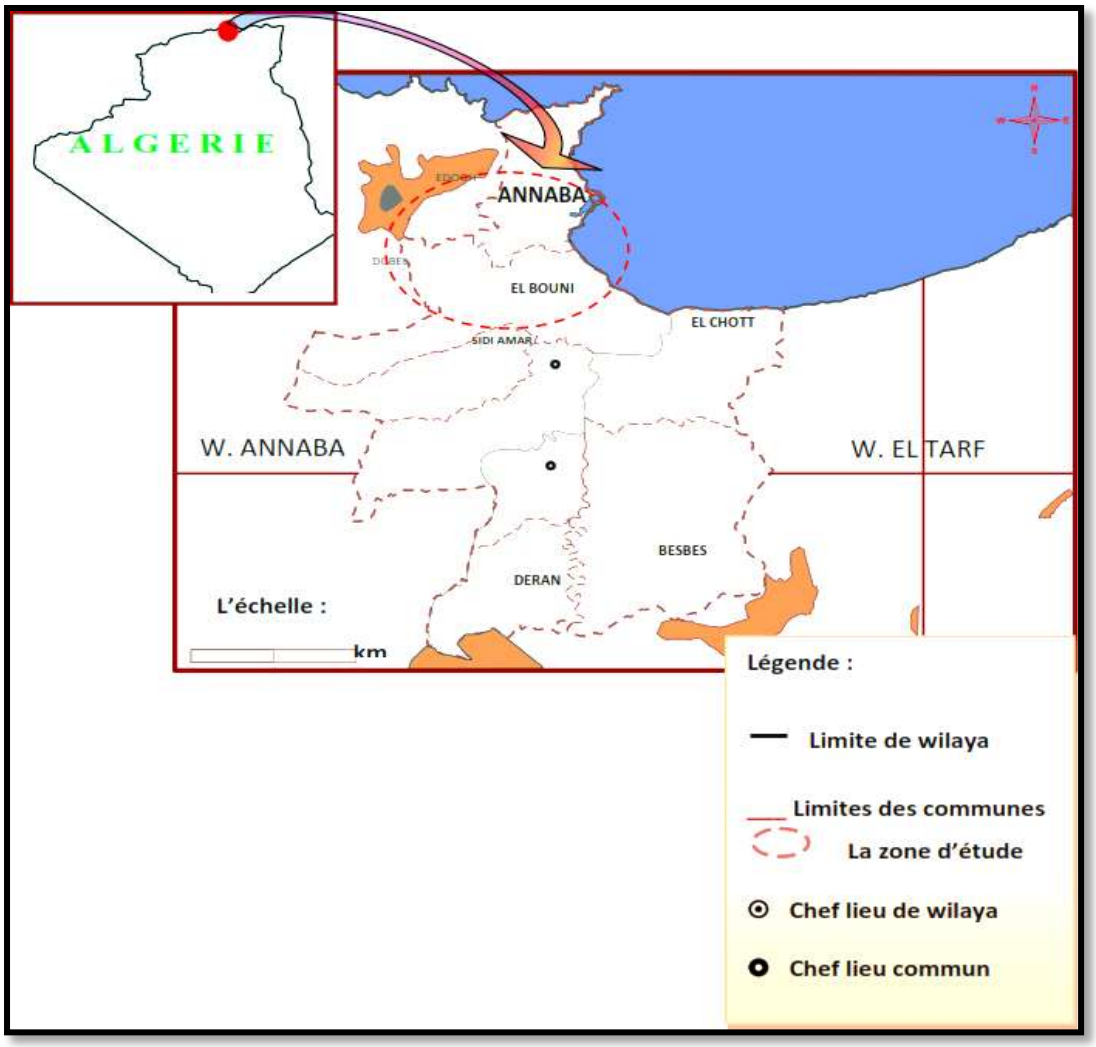


Fig.1: Carte de la situation géographique de la plaine d'ANNABA (*in* SABOUA, 2010)

La géomorphologie d'une région donne une idée sur les possibilités aquifères des formations et leurs sources d'alimentation. La zone d'étude est caractérisée par diverses unités géomorphologiques dont les formations quaternaires sont les plus

dominantes d'où on distingue trois formes : La plaine, le cordon dunaire et les montagnes.

a) La plaine d'Annaba :

Correspondant à la base Seybouse, entre la chaine numidienne et le massif de l'Edough, fait partie du vaste fossé d'effondrement comblé par des sédiments pliocène et quaternaires et renferme deux niveaux aquifères aux potentialités énormes. Elle est enserrée entre deux bassins de moindre importance : Le lac Fedzara a l'ouest et l'Oued Bounamoussa à l'Est. Ceci s'expliquer par le fait que l'oued Seybouse a rencontré une barrière très difficile à franchir, c'est la chaine Numidienne avec ses épaisses couches gréseuses. A la sortie de cette dernière la Seybouse reçoit de l'oued Ressoul un affluent assez dynamique et pénètre dans la plaine de Annaba en perdant sa torrentialité .Les faible pentes ,le cordon dunaire et les champs d'inondation très vaste favorisent largement la stagnation des eaux et rendent l' écoulement fluvial difficile .L'oued Seybouse trouve donc son embouchure dans la mer Méditerranée.

b) Le cordon dunaire :

Il est situé au Nord parallèlement à la mer, c'est une série de dunes constituées essentiellement de sables fins perméables avec une infiltration très importante. Il s'étend du Nord-Ouest au Sud-Est depuis la Seybouse jusqu'à El-Kala. Ces dunes dont l'altitude et la largeur augmentent de l'Ouest à l'Est, isolent la grande plaine d'Annaba.

c) Les montagnes :

La région d'étude se caractérise par un massif montagneux important d'où on observe l'élévation de l'entité cristallophyllienne du massif de l'Edough au contact brutal de la plaine d'Annaba et la mer. Ce massif a une allure d'un dôme anticlinal et il est limité au Sud-Ouest par la dépression du lac Fetzara, à l'Est par la plaine d'Annaba et au Nord par la mer méditerranée. La ligne de crête (ligne de partage des eaux) est longue et relativement rectiligne suit une direction Sud-Ouest Nord-Est en débutant de la bordure du lac Fetzara au Sud-Ouest, s'élève rapidement à plus de 600 m à Koudiet El-Rohna, atteint 1008 m à Kef Sbaa puis s'abaisse régulièrement jusqu'au Cap de garde au Nord de la ville d'Annaba.

1-3 Réseau hydrographique :

Les principaux facteurs physiques déterminant les caractéristiques du réseau hydrographique sont la géomorphologie, la nature géologique du terrain, le climat et

la végétation. Ainsi, la partie montagneuse à versants raides constitués généralement de roches dures est sillonnée par un important réseau hydrographique dense et ramifié (Chaâbets) à écoulement torrentiel temporaire. Ces Chaâbets convergent en aval pour former des Oueds dont l'écoulement trouve des difficultés à atteindre la mer à l'Est et au Nord-Ouest après de nombreuses ondulations de leurs cours en raison de la faible pente de la plaine et de la barrière dunaire littorale. C'est à ce niveau que les débordements sont les plus fréquents et où subsistent de grandes étendues marécageuses. La zone d'étude se compose par quatre principaux cours d'eau, à savoir: Oued Bouhdid, Oued Boudjemâa, Oued Seybouse et Oued Meboudja qui constituent en aval un cours d'eau unique : la Seybouse qui se jette directement à la mer méditerranée.

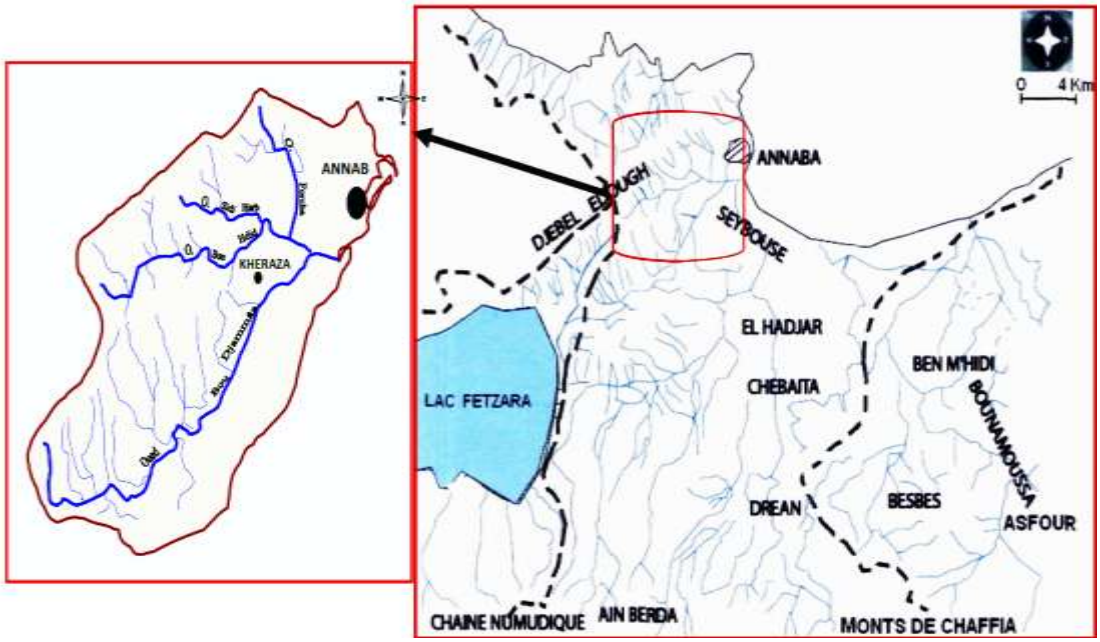


Fig.2 : Réseau hydrographique et les sous bassin versant de la plaine de Annaba (*in* SABOUA, 2010)

- **Oued Bouhdid :**

C'est un affluent de l'Oued Ed-Hab, il a un sous bassin de 2,182 ha.

- **Oued Boudjemâa :**

C'est un oued principal qui comporte plusieurs affluents, il est situé dans un sous bassin de 4,68 ha. Il reçoit les eaux du canal de Kef N'Sour à la hauteur de l'agglomération de Bouhamra et avant sa déviation, cet Oued passait au pied du

massif de Kef N'Sour puis sous la butte de la basilique Saint Augustin pour se jeter à la mer.

- **Oued Seybouse :**

C'est le second oued après Chélif, il se situe au Nord-Est de l'Algérie et s'étend vers le Sud jusqu'à la fin de l'Atlas Saharien d'où il prend naissance dans les hautes plaines de Heracta et des Sellaoua sur une hauteur de 800 à 1000 m, se dirige vers le Nord pour se termine dans la plaine littorale d'Annaba et se jette finalement dans la mer méditerranée. Cet oued présente l'axe de drainage d'un bassin versant de 6471 km2 et s'étend sur une distance de 240 km passant par les territoires de la wilaya de Souk-Ahras, Guelma, Annaba et El-Taref.

- **Oued Méboudja :**

C'est le dernier affluent de l'oued Seybouse, il prend naissance à partir du lac Fetzara par le canal de dessèchement et rejoint l'oued Seybouse à environ 8 km de son embouchure dans la mer méditerranée **(HAMDAOUI ,1997).** Il traverse la partie intercommunale de Sidi Amar, El Hadjar et El Bouni, il a un mauvais drainage au Sud du complexe sidérurgique d'El Hadjar (Arcelor Mitall) avec une croissance importante des mauvaises herbes. Le débit de l'oued Méboudja est moins important que celui de l'oued Seybouse. Une estimation de son débit par jaugeage au flotteur pendant la période de Février-Décembre 1999 a donné des valeurs ne dépassant pas les 20 m3/s; ces mesures ont permis de mettre en évidence une relation entre les précipitations et les débits, car les forts débits enregistrés correspondent à la saison humide (fortes pluies) alors que les faibles débits correspondent aux faibles précipitations. En été, le débit de cet oued ne dépasse pas 5 m3/s, il est essentiellement assuré par les rejets industriels et urbains.

2. Aperçu Socio- économique:

Cette région est connue par sa grande activité agricole et industrielle. La population qui se trouve sur la zone d'étude atteint 500 000 habitants (fig.3), elle est concentrée généralement au niveau des communes et des hameaux (Annaba ville, d'El Hadjar, d'El Bouni et de Sidi Amar).

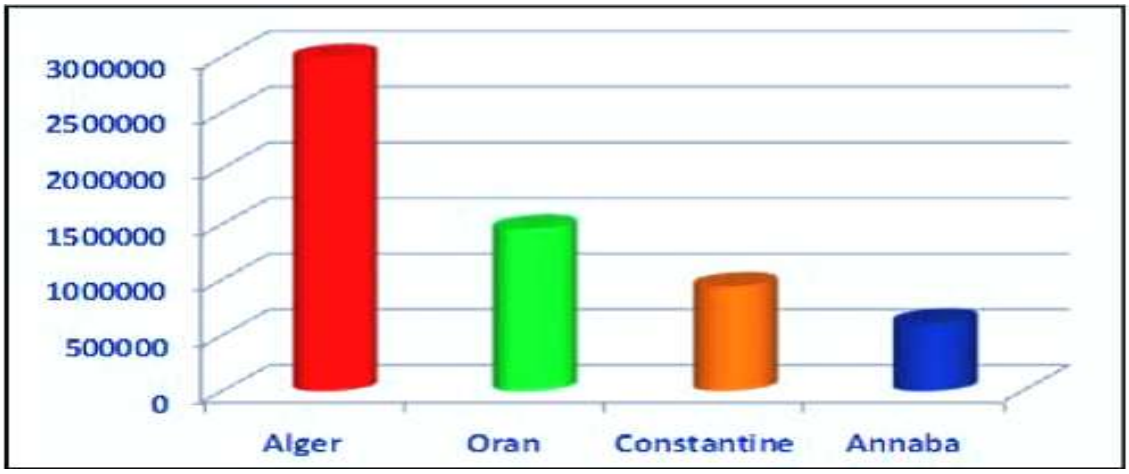


Fig. 3. Classement de la population de la wilaya d'Annaba (ANDI 2013).

2.1. Contexte industriel :

L'industrie est remarquable dans la région, elle se positionne surtout en bordure de l'Oued Méboudja. Trois catégories d'industries sont observées:

(1) Industries lourdes (Complexe Sidérurgique - ARCELOR MITTAL).

(2) Industrie chimique (Complexe des Engrais Phosphatés et Azotés - FERTIAL).

(3) Industrie Agro- Alimentaire représentée par de petites entreprises (conserverie, minoterie).

L'ensemble des rejets urbains et industriels se jette directement dans les Oueds, sauf celui de l'usine FERTIAL qui envoie ces rejets directement dans la mer **(BELABED, 2010).**

Tabl.1 : Répartition de l'activité par secteur et population occupée (Sayad .L, 2015).

N°	Secteur d'activité	Population occupée	%
1	Institutions et administration	35 302	14
2	Industrie	88252	35
3	BTPH	17 650	07
4	Agriculture, Pèche, Foret	80688	32
5	Services	10086	06
6	Tourisme et artisanat	10086	04
7	Transport	5043	02

2.2. Contexte végétal et agricole :

Le couvert végétal est un facteur important dont il faut tenir compte. La zone d'étude se caractérise par une végétation naturelle, un reboisement et des zones culturales; ils se situent en dehors des zones urbanisées.

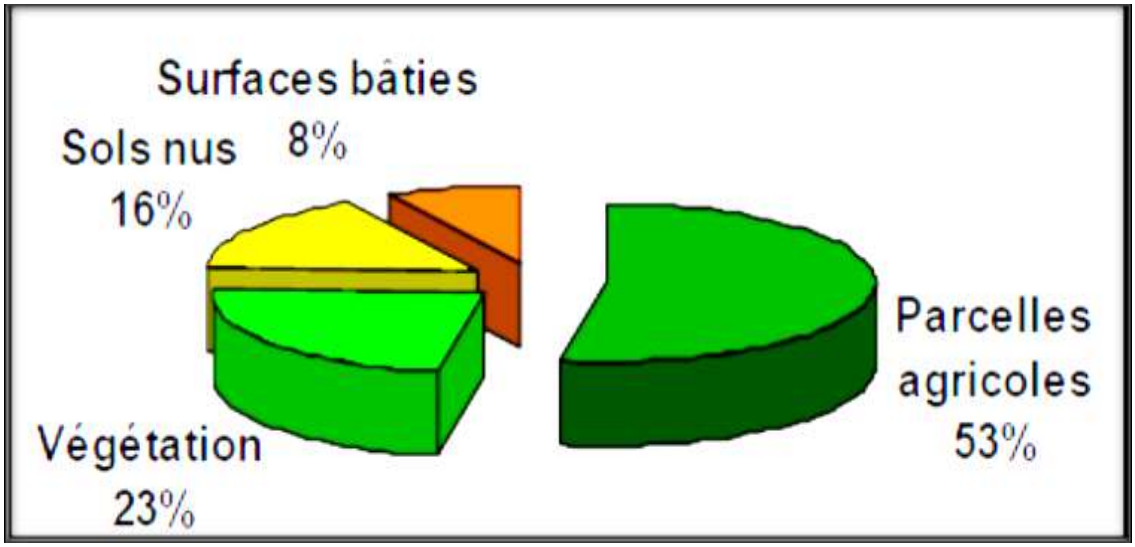


Fig.4 : Occupation du sol dans la zone d'étude (Image LANDSAT 2014)

L'ensemble du territoire montagneux du périmètre d'étude est dominé par une forêt à base de maquis et broussailles de type méditerranéen qui s'étend sur une superficie assez importante de 6650ha soit 26 % de la superficie de la plaine d'Annaba. Le bois naturel qui autrefois était plus développé ne subsiste pratiquement qu'au fond de la vallée de l'Oued Oureida sous forme de chêne liège. Partout ailleurs il a été détruit par les nombreux incendies depuis l'époque coloniale. Dès les années 70, des travaux forestiers ayant pour but la mise en valeur et la protection de cet environnement ont été entrepris par la création des tranchées pare feux, des pistes forestières, des banquettes de drainage des eaux pluviales et des reboisements d'Eucalyptus et de pin Maritime, malheureusement, ces réalisations sont à leur tour en vois de dégradation par l'absence d'entretien et surtout les incendies. Ces reboisements se retrouvent principalement sur les hauteurs d'Oued Zied, Oued Nil, Hdjar Ediss, sur les versants du djebel Bouguentas, sur Kef N'Sour, aux environs du cimetière Sidi Harb et à l'intérieur du parc du Cap de Garde.

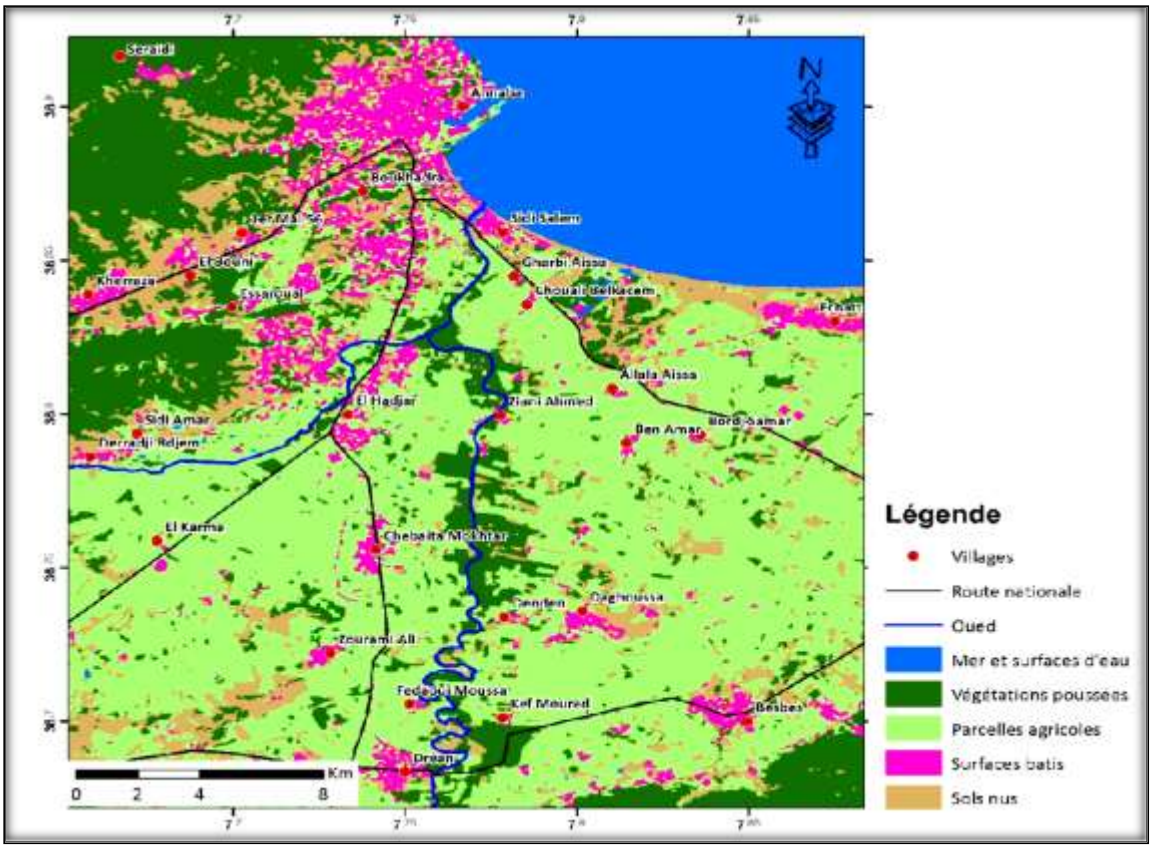


Fig.5: Les terres agricoles, couvertures végétales, sols nus et surfaces bâties dans la zone d'étude Image (Land SAT 2014)

Les terres de la plaine en dehors des tissus urbanisés représentent la quasi-totalité des terres agricoles. Ce sont des terres alluvionnaires d'origine fluviatile et laguno-marin à haute valeur agro-pédologique où toute sorte de culture peut être pratiquée. Certaines terres comme celles de la bordure du lac Fetzara, de Kheraza aux environs de l'ancien confluent Oued Boudjamaa, Oued Méboudja ne sont exploitées que pratiquement ou pendant la saison sèche à cause de la stagnation des eaux en saison pluviale **(SABOUA, 2010).**

Conclusion :

La zone d'étude fait partie de la plaine d'Annaba et comporte une population peut atteindre les 500 000 habitants selon le recensement 2008.La géomorphologique de la région concernée montre l'existence de trois formes morphologiques: La plaine d'Annaba, le cordon dunaire et les montagnes et un réseau hydrographique dense et ramifié, où Oued Méboudja et Oued Seybouse, sont les principaux cours d'eau. La région d'étude a une vocation agricole et une activité industrielle importantes.

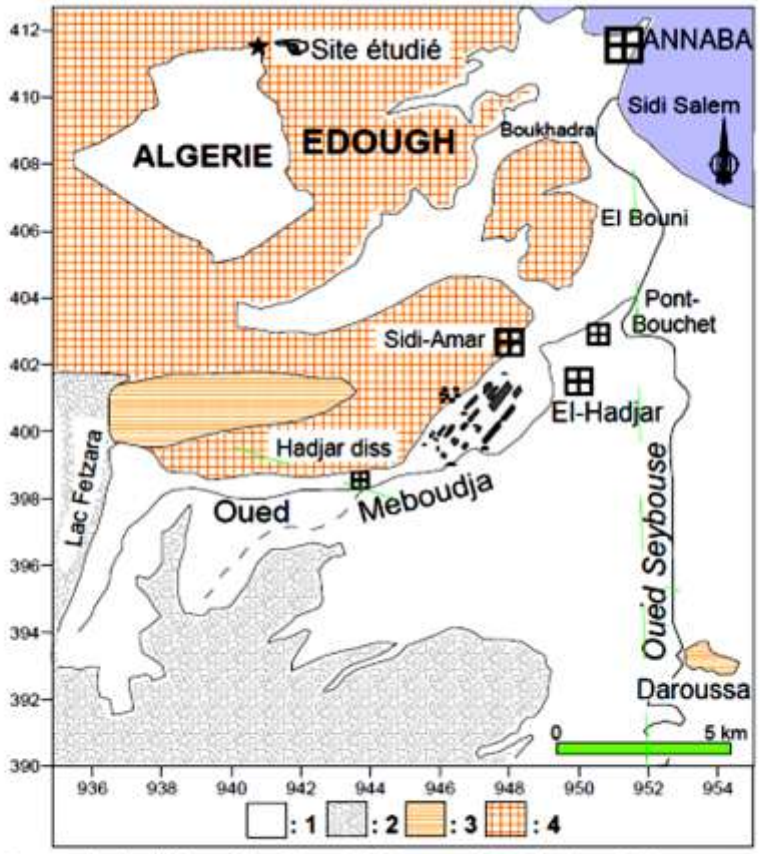
CHAPITRE : 2
CADRE GÉOLOGIQUE ET STRUCTURALE

1. Aperçu géologique :

Dans un aperçu sur les successibilités hydrauliques, l'étude géologique est donc importante pour une réalisation d'une étude hydrogéologique.

1.1. La géologie régionale :

D'après plusieurs études géologiques, dont celle de **(JOLEAUD, 1936, HILLY, 1963), VILA, 1980, (LAHONDERE ,1987) ;(GLEIZES, 1988), et (HAMMOR, 1992)** la région d'étude est composée de terrains sédimentaire et métamorphique d'âges différents.



Légende : 1 : Quaternaire indifférencié (argile, sable, limons ...) ; 2 : Alluvions de hautes terrasses ; 3 : Grès et argiles du Numidien ; 4 : Formations métamorphiques (micaschistes, cipolins et gneiss).

Fig.6: Situation géologique des plaines de la région d'Annaba d'après STROJEXPORT, 1975. (In HANI, 2003 légèrement modifiée)

Légende : **1** : Alluvions récentes et actuelles ; **2** : Dunes; **3** : Alluvions anciennes; **4**: Marécage ou Lac ; **5** : Grés et argile numidiens ; **6** : Formations métamorphiques ; **7**:Faille ; **8** : Axe des fosses ; **9** : Tracé de coupe

1.2. La stratigraphie : Le chrono stratigraphique de la zone d'étude relève des terrains géologiques d'âge diffèrent allant du primaire au quaternaire récent ;

1.2.1. Les terrains métamorphiques :

Ils sont datés du Primaire, occupent uniquement la partie Ouest de la région (l'Edough, Cap de Fer et Bellielita). D'après les nombreux travaux géologiques dont **(VILA, 1970)** et **(GLEIZES, 1988),** le massif pourrait être superposé en trois unités : unité de base. , unité intermédiaire.et unité supérieure.

-Unité de base :

L'ensemble constitue le cœur de l'anticlinal et cette unité gneissique est riche en matériel Quartzo-Feldspathique, en Mica, en Sillimanite et parfois en Tourmaline, elle est datée du Précambrien **(GLEIZE, 1988)**.

-Unité intermédiaire :

Cette série est caractérisée par des Micaschiste qui s'intercalent avec des bancs de Marbre à cristaux plus aux moins bien cristallisés. Le contact entre les Marbres et les Micaschistes est souligné par des Skarns.

-Unité supérieure :

La présence d'Acritarches précise que cette série est d'âge Paléozoïque elle est caractérisée par trois séries cristallophylliennes

- Une série des gneiss ouillés, claires et sombres.
- Une série de micaschistes, Grenats cipolins.
- Une série des amphibolites.

1.2.2. Les terrains sédimentaires :

Les terrains sédimentaires occupent la quasi-totalité de la plaine de Annaba et une grande partie de celui du massif de l'Edough. Ils sont formés avec des calcaires surmontés tectoniquement et des flyschs schisteux à microbrèches. Selon l'échelle stratigraphique, on distingue.

- **Le Secondaire**

Ce sont des terrains représentés par des calcaires à Silex du Jurassique et des flyschs du Crétacé. D'après **(VILA, 1970)** il existe de terrains t transgressifs ayant une couverture sédimentaire de type près- Kabyle. Une alternance de microbrèches, de marnes et de marnocalcaires datées du Barrémien jusqu'au Sénonien, subdivisé selon en deux types :

• Flyschs Massyliens : Occupent la position externe dans le domaine des flyschs.

• Flyschs Mauritaniens : Occupent la position interne dans le domaine des flyschs.

Ces formations flyschoïdes sont très dominantes et progressées dans la région de Aïn-Berda, Chétaïbi et Aïn-Barbar.

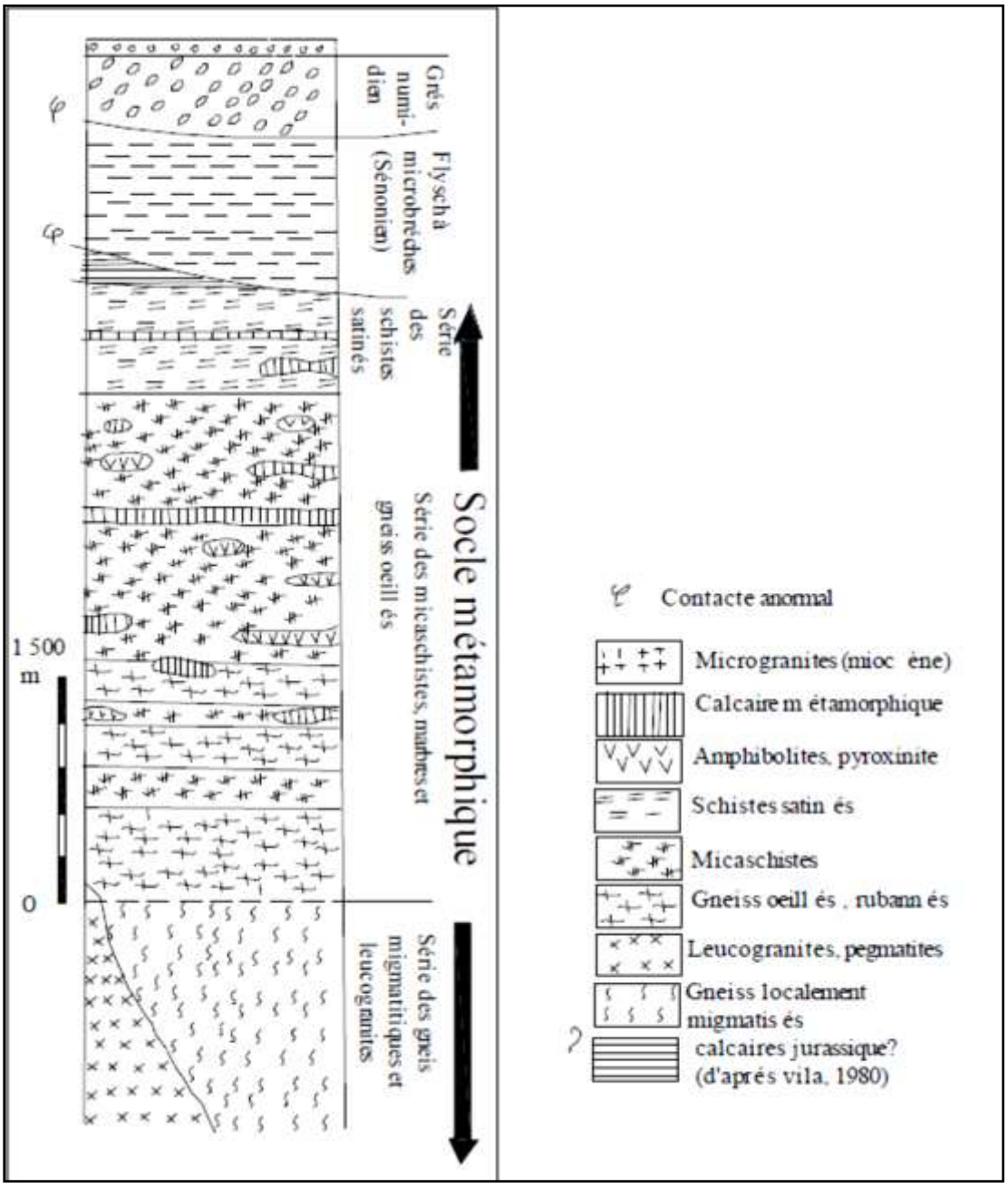


Fig.7 : Coupe lithologique schématique du massif de l'Edough (Aissa, 1996)

- **Tertiaire**

Il couvre probablement la zone d'etude avec les systèmes suivants :

- **L'Oligocène**

Il occupe presque toute la partie Sud de la région (Monts de la Cheffia), au Sud-Est de Bouteldja et dans les djebels Koursi, Bourdim et Oum El-Agareb. Avec un faciès

argileux (argiles numidiennes), l'ensemble des formations peut atteindre plus de 100 m d'épaisseur. Ces argiles, formant la base de la série numidienne, dont l'âge va du l'Oligocène moyen jusqu'à supérieur **(LAHONDERE, 1987).**Une série des grès numidiens en position allochtone ont été datées de l'Aquitanien, superpose sur ces formations argileuses, Rouvier **(in RAMDANI, 1996)**.

• Le Mio-Pliocène

Constitue le remplissage graveleux et sablo-argileux du bassin de la plaine d'Annaba. Ces formations sont d'origine continentale, elles incluent des horizons graveleux et des niveaux de travertins qui constituent le réservoir de la nappe des graviers(**SABOUA, 2010)** les conglomérats des grés et des argiles qui sont liés aux dépôts des fosses d'effondrement Fig.7(la fosse de Ben-Ahmed, orientée S-N, et la fosse de Ben-M'hidi, orientée SW-NE) et qui constituent le réservoir de la nappe captive des plaines de Annaba –Bouteldja **(SONATRACH, 1969 ; STROJEXPORT, 1975)** : Ces deux fosses sont limitées par des failles à très forts pendages (60 à 80°) et séparées par un horst, subméridien, représenté par l'élévation de Daroussa à laquelle appartient, dans la partie méridionale, la butte de Daroussa **(BOUGHERIRA,2015)**.

-

.

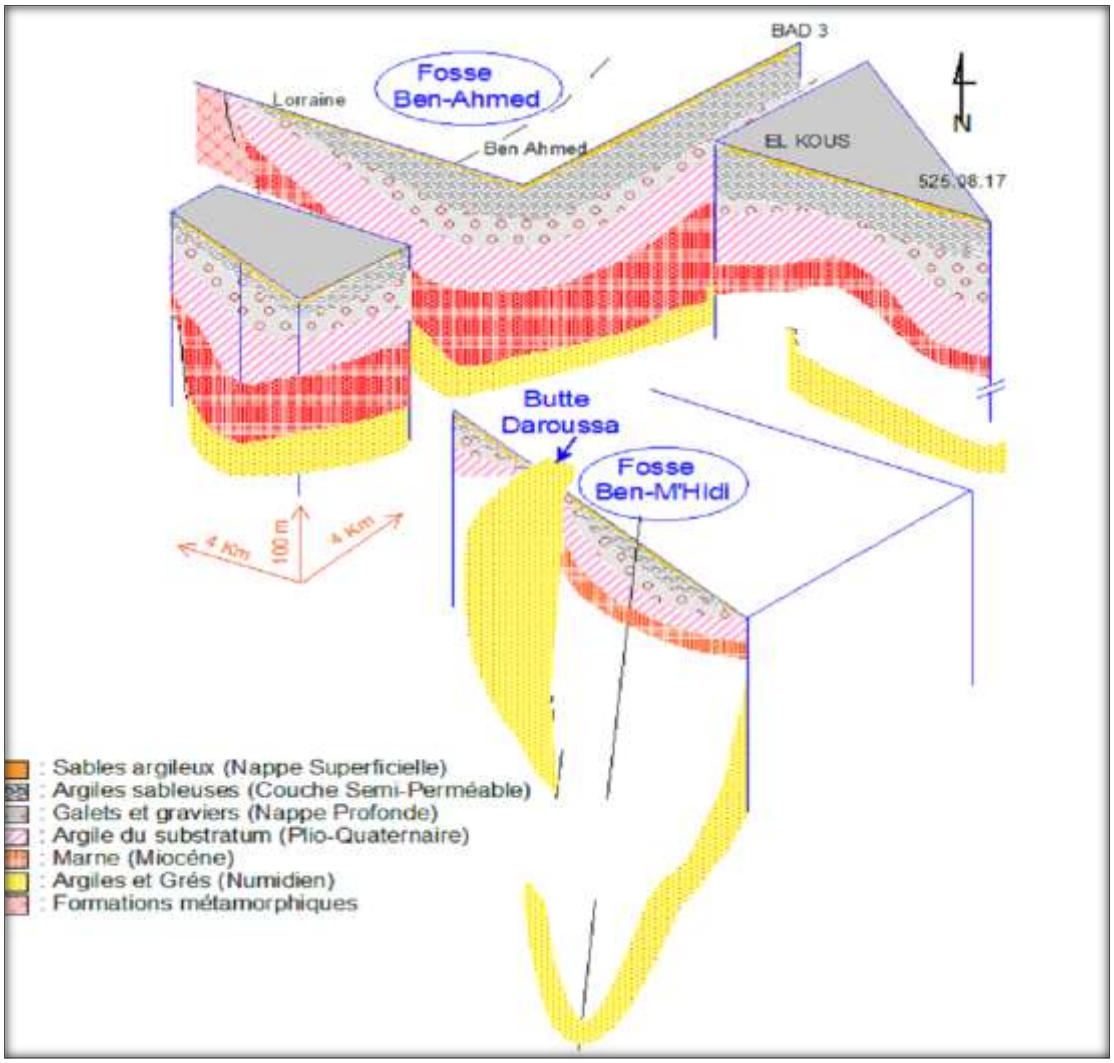


Fig8.Bloc diagramme au travers de la plaine d'Annaba (HANI, 2003, modifié)

- **Le Quaternaire**

Est constitué par les formations suivantes :

- Faciès alluvionnaires ou fluviaux. (Terrasses)
- Faciès éoliens (sables dunaires).
- Faciès colluviaux.
- Faciès marins.

La chronologie mise au point par **JOLEAUD ,1936** de la région d'Annaba est subdivisée en 4 échelles stratigraphiques :

a-Quaternaire ancien (haute terrasse)

Constitué par des formations alluviales (argiles, limons, sables, graviers et galets), il est disposé aux eaux superficielles **(KHERICI, 1993 in HANI, 2003)**, avec une altitude variant entre 75 et 150 m.

b- Quaternaire moyen

Correspond à la basse terrasse de 20 à 50 m, développée sous forme d'argiles et des sables. Elle supporte des terres cultivées. Cette terrasse se développe sur toute la région.

c- Quaternaire récent

Caractérisé par des dépôts alluvionnaires, limoneux très fins, à prédominance d'argile qui couvrent indifféremment l'ensemble de la plaine **(KHERICI, 1993)** il correspond à la basse et la moyenne terrasse.

d- Quaternaire actuel

Les alluvions sont représentées par des dépôts des lits actuels des Oueds, formés généralement de matériaux variés, argiles, sables et des cailloux, résultant de l'érosion des formations traversées par l'Oued. Du point de vu hydrogéologique cette description géologique de la plaine d'Annaba a montré, que les formations contiennent des réservoirs d'eau importants.

1.3. Tectonique

La région de l'Algérie orientale est représentée, généralement par deux grandes unités structurales d'après **(VILA, 1977)**

a) Le massif de l'Edough

Constitué d'un socle Cristallophyllien et d'une couverture sédimentaire.

b) La plaine de Annaba

Elle a connue deux événements tectoniques distincts :

- Durant le Miocène, un enfoncement progressif des Grès Numidiens, dû à des mouvements tectoniques une des conséquences de la phase alpine et continue jusqu'au Miocène supérieur, les phénomènes orogéniques ont donné naissance aux plis numidiques et à un isolement complet du massif de l'Edough et au Sud par un anticlinal principal de la chaine numidique durant le Miocène inférieur
- Durant le Plio-Quaternaire, un effondrement déclenche un remplissage de matériau détritique, ce remplissage conséquence de dépôt de deux fosses d'effondrement d'âge Mio-Pliocène.

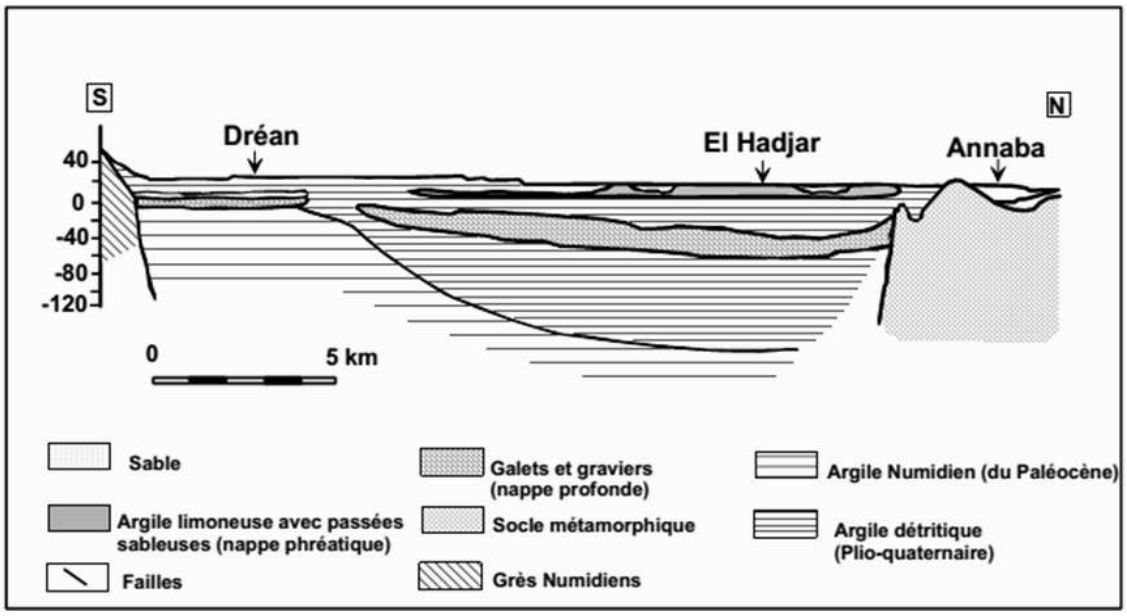


Fig.09 : Coupe géologique Nord-Sud à travers la plaine d'Annaba (In HANI, 2003)

2. Aperçu hydrogéologique

L'étude hydrogéologique a pour but d'identifier le système aquifère et décrit son comportement hydrodynamique, dans une zone très contrastée. Grâce à la détermination de : la perméabilité (K), la transmissivité (T), le coefficient d'emmagasinement (S), le sens d'écoulement et la variation de gradient hydraulique on peut déterminer le processus d'alimentation des aquifères et la circulation des eaux souterraines. La répartition spatiale du système aquifère existe dans la zone d'étude, est représenté par la succession suivante :

- Un aquifère superficiel exploité en grande partie par des puits domestiques et dont la lithologie varie d'une zone à l'autre.
- Une nappe profonde, occupant surtout la partie Nord, reconnue par les forages profonds **(BELABED ,2010)**.

D'après **(KHERICI, 1993),** dans cette zone, la lithologie du sol qui est constitué essentiellement par des alluvions récentes et actuelles, des argiles sableuses, des argiles limoneuses et des sables argileux va identifier la répartition de système aquifère comme suit :

La nappe des gneiss altérés, la nappe du cordon dunaire, la nappe des cailloutis de terrasse et la nappe des alluvions récentes et actuelles.

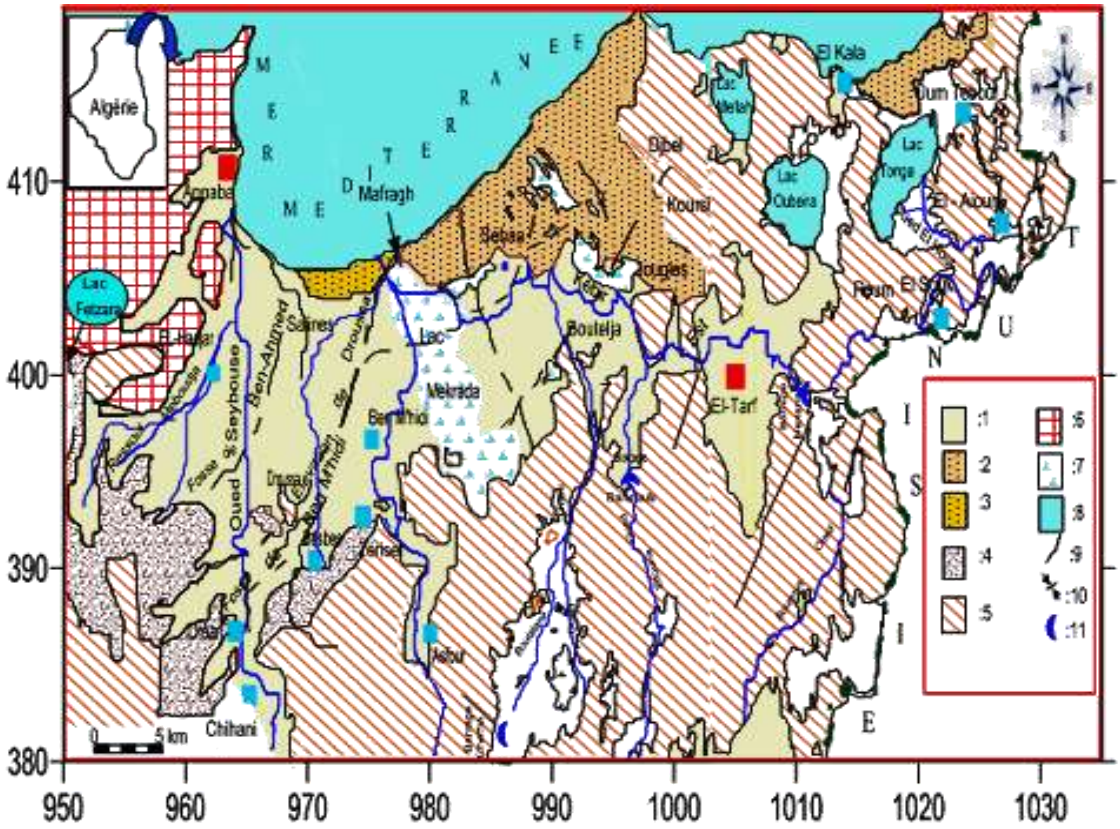


Fig.10: Extension des différents aquifères dans les plaines de Annaba-EL-Kala (d'après GAUD, 1976, modifiée 2013).

1 : Nappe des formations superficielles ; 2 : Nappe des sables du massif dunaire; 3 : Nappe des sables du cordon dunaire ; 4 : Nappe des alluvions de haut niveau ; 5 : Grès et argiles du Numidien ; 6 : Formations métamorphiques (nappe des cipolins) ; 7 : Marécages ; 8 : Lacs ,9 : Failles ; 10 : Fosses. ; 11 : Barrages.

2.1. Aquifère superficiel :

2.1.1. La nappe des gneiss altérés : Elle se situe dans la région Nord-Ouest, sur le flanc Est du massif métamorphique de Bouhamra et de Belelieta, elle est alimentée par les eaux de pluie. Son épaisseur avoisine les 15m. Elle est exploitée par des puits et des forages. La perméabilité varie entre 10^{-6} et 10^{-5} m/s avec un débit moyen de l'ordre de 2 l/s **(KHERICI, 1993).**

2.1.2. La nappe du cordon dunaire : Elle est présente au Nord- Est de la plaine d'Annaba limitée sur une bande littorale le long de la Méditerranée, constituée de sables dunaires éoliens fins à moyens. Elle est alimentée à partir des précipitations .Cet aquifère est caractérisé par une transmissivité T de l'ordre de 10^{-3} m²/s, une perméabilité K variant entre (10^{-2} et 10^{-4} m/s et une porosité efficace de l'ordre de 10

% (**KHERICI, 1993**). Elle présente l'intérêt de protéger la nappe superficielle de la plaine d'Annaba des venues d'eau salées marines **(GAUD, 1976)**

2.1.3. La nappe des terrasses : Elle est localisée sur la partie Ouest et Sud de la plaine d'Annaba dont la transmissivité de cette nappe est faible variant de 10-5 à 10-4 m2/s, elle est exploitée par des puits pour l'agriculture et l'alimentation de petites agglomération **(KHERICI,1993)**

Elle est développée dans des cailloutis et des galets avec une possibilité aquifère très limitées, **(BOUGHRIRA ,2015).**

2.1.4. La nappe des alluvions récentes et actuelles : Cette nappe suit le cordon dunaire vers le Sud, elle couvre la majorité de la plaine et contenue dans les alluvions récentes et actuelles avec des formations argilo-sableuses, argilo-limoneuses incluant quelques lentilles de sables avec une épaisseur d'environ 10 m et une porosité efficace de l'ordre de 2%,(**GAUD ,1976**).

2.2. Aquifère profond :

Cet aquifère situé en dessous de l'aquifère superficiel, peut être expliqué par une alimentation à partir des massifs de l'Edough et de Bellelieta. Cette nappe est captée, elle est surmontée par une couche argileuse dont l'épaisseur varie de 15 à 25 m, la plupart des forages captant cette nappe sont artésiens, elle comprend généralement la succession de deux nappes d'importance inégale, celle des cipolins et celle des graviers.

2.2.1. La nappe des cipolins :

Cette nappe se localise au Nord-Ouest de la région d'étude dans les massifs métamorphiques de Bouhamra et de Bellielita et contenue dans les cipolins fissurés. Elle est formée essentiellement par des lentilles de calcaires fissurées qui sont toujours aquifères à une côte correspondant au drainage de la plaine. Elle présente les caractéristiques suivantes:

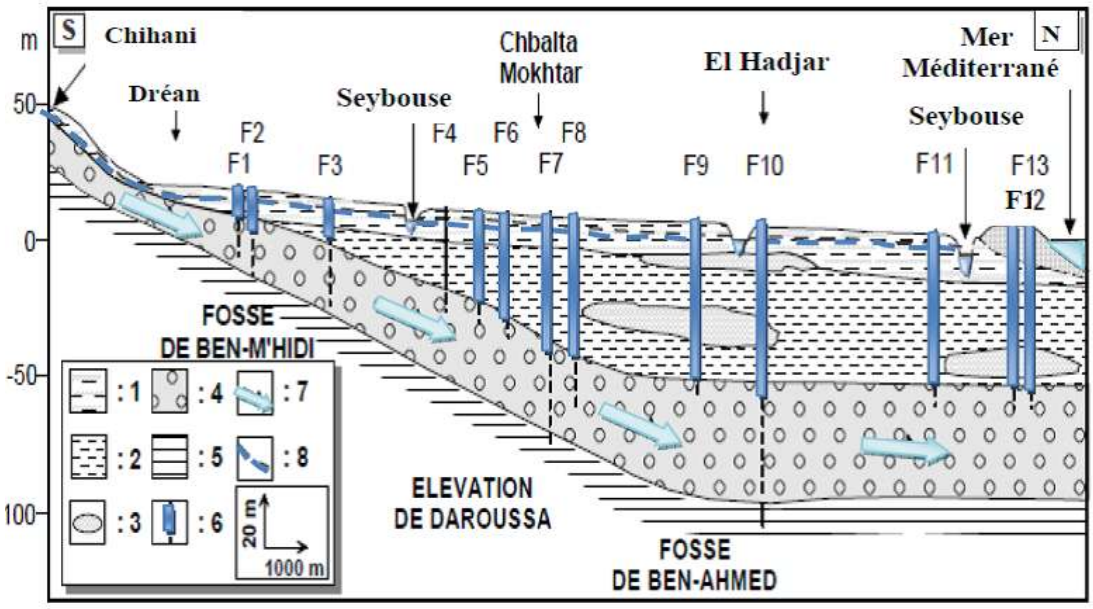
- La profondeur varie de 12 à 80 m ;
- Les forages existants ont des débits d'exploitation variant de 0,3 à 15 l/s ;
- La transmissivité est comprise entre 5.10^{-5} et 10^{-3} m^2/s **(DERRADJI et al, 2005)** ;
- La perméabilité varie de 10^{-6} à 10^{-4}m/s.

2.2.2. La nappe des graviers : Cette nappe est présente au-dessous de l'aquifère superficiel sur toute l'étendue de la plaine et contenue au sein des graviers, des sables

et des galets plio-quaternaires et encaissée dans un bassin d'effondrement dès que les graviers apparaisse en surface la nappe devient libre. L'épaisseur de l'horizon aquifère varie de 2 à 70 m il disparaît complètement et laisse place à une nappe libre entre Chihani et Dréan, c'est la nappe la plus exploitée. A cause de l'hétérogénéité des formations aquifères dans la région d'Annaba la transmissivité de l'aquifère varie entre (T = 3 10^{-2} et 3,5 10^{-3} m^2/s). Si la nappe est captive les coefficients d'emmagasinement sont très faibles de l'ordre de (S =10^{4}) dans les zones où elle est libre atteignent (S =10^{-2}**) (ATTOUI ,2015)**. La perméabilité de cette nappe varie entre 10^{-5} et 10^{-4} m/s).

Tabl.2 : Variations de la transmissivité selon la texture des alluvions d'après (KHERICI, 1993)

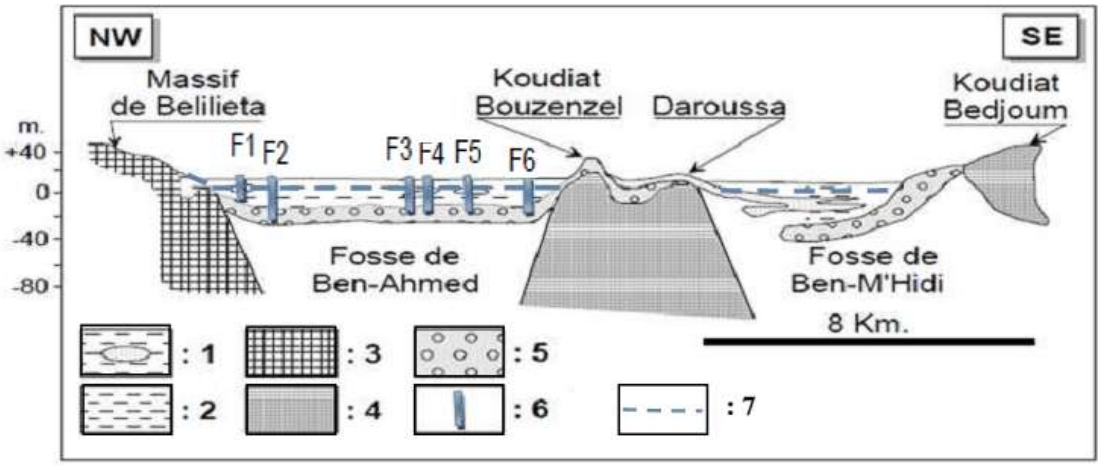
Texture	**T m^2/s**
Sablo-argileuse	**10^{-4}à10^{-3}**
Limono-argileuse	**10^{-6}à 10^{-3}**
Argileuse	**7.10^{-8} à 7.10^{-6}**



Légende :

1: Argile limoneuse avec passées sableuses (nappe superficielle)
2: Argile détritique Plio-quaternaire
3: Lentilles de sables
4: Galets et graviers (nappe profonde)
5: Argile de Numidie ou du Paléocène
6: Forage
7: Direction de l'écoulement
8: Niveau piézométrique

Fig.11: Profil hydrogéologique schématique (Nord-Sud) de la plaine d'Annaba (In HANI, 2003, Légèrement modifié)



Légende :

1: Argile limoneuse avec passées sableuses surmontées par une couche de sable (nappe superficielle) ;
2: Argile détritique Plio-quaternaire ;
3: Formations métamorphiques ;
4: Argile de Numidie ou du Paléocène ;
5: Galets et graviers (nappe profonde) ;
6: Forages ;
7: Niveau piézométrique

Fig.12 : Profil hydrogéologique schématique (NW-SE) de la plaine d'Annaba (In HANI, 2003, Légèrement modifié).

Ere	Système	Lithologie	Epaisseur (m)	Log Strati-graphique	Hydrogéologie	
					perméabilité	type de nappe
Quaternaire	récent	sable	5-15		perméable	*Nappe du cordon dunaire*
	moyen	sablo-argileuse	0-20		semi-perméable	*Nappe phréatique*
	ancien	argile avec des lentilles sableuses	50-150		Imperméable à semi-perméable	substratum
Tertiaire	Pliocène	graviers et galets	10-150		perméable	*Nappe des graviers*
	Miocène	argile	250		imperméable	substratum
	Oligocène	Argilo-grèseux	150		semi-perméable	numidienne
	Eocène inf.	Calcaire massif	-		formations fissurées	Nappe Karstique
Secondaire	Crétacé	calcaire dolomitique	-			
	Jurassique	dolomie	-			
	Trias	dolomie, calcaire et gypse	-		-	-
Primaire	supérieur	micaschistes et gneiss	-		formations altérées	Nappe du Socle métamorphique
	intermédiaire	schistes	-			
	inférieur	gneiss	-			

Fig.13 : Description géologique et hydrogéologique de la plaine de Annaba (In DEBIECHE, 2002)

3 .Piézomètre de l'aquifère :

3.1. Inventaire des points d'eau :

A partir des observations faites sur le terrain, l'ensemble des points d'eau reportés sur la carte ci-dessous (Fig. 14) sont généralement des puits à gros diamètre proche de l'Oued Méboudja, et l'Oued Seybouse, il existe aussi des forages dont la profondeur peut atteindre 100 mètres. La plupart de ces puits servent pour l'irrigation et certains sont utilisés pour l'alimentation des habitants. Les études anciennes montrent que la nappe superficielle alimente la nappe des graviers par une drainance partiellement dans la région qui se trouve entre El Hadjar et Allélik. Avec un débit de drainance estimé à 4,75 1/s au Nord d'El Hadjar et à environ 9,85 1/s dans la région d'El Hadjar **(NAFAA, 1985).**

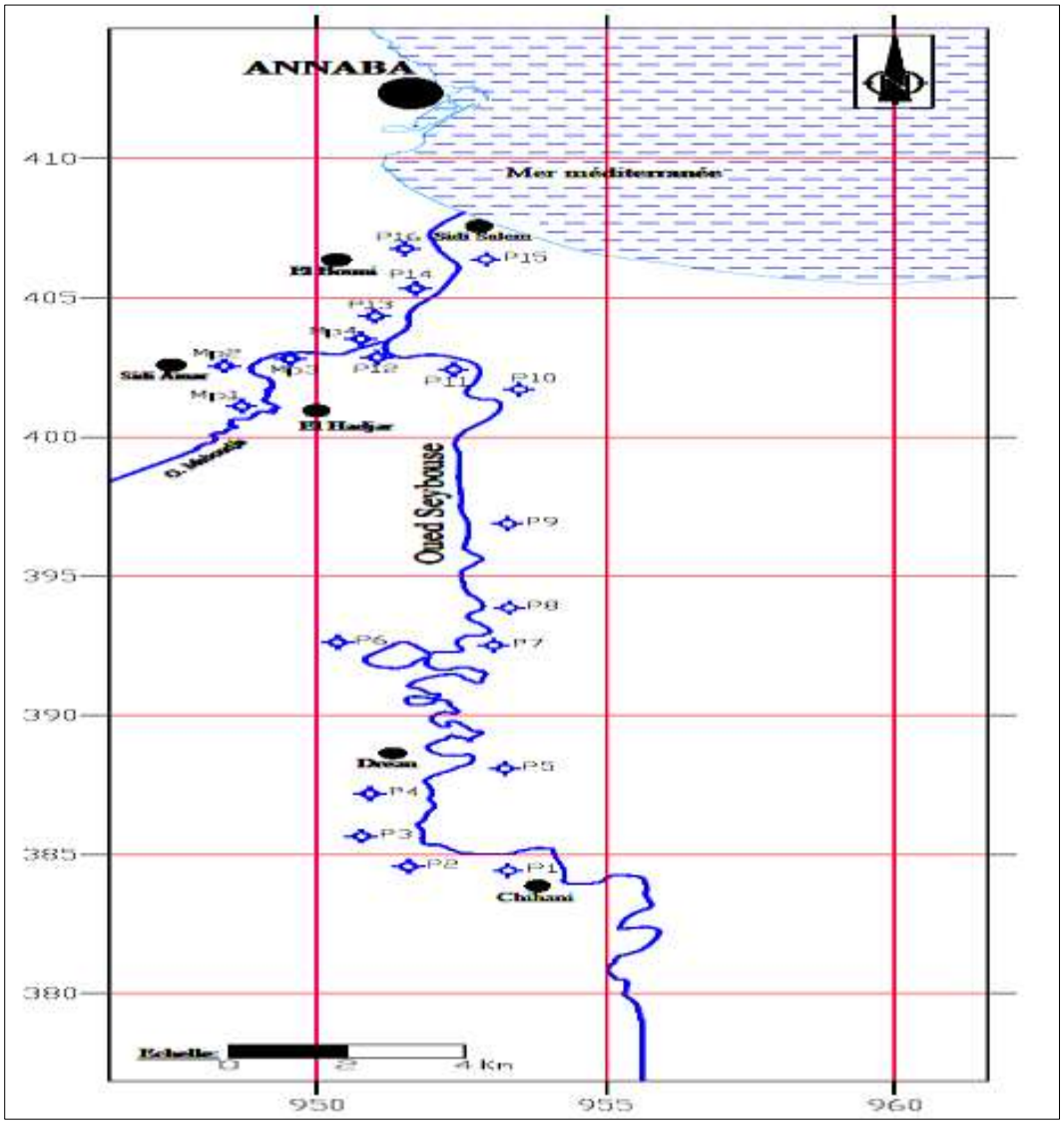


Fig.14 : Carte d'inventaire des points d'eau. (In ZERROUKI, 2008)

3.2. Etablissement de la carte piézométrique :

Le but de établir la carte piézométrique de déterminer l'extension de l'aquifère et le sens d'écoulement des eaux souterraine Dix compagnes piézométriques ont été réalisées dans la région et on s'intéressera aux mesures piézométriques réalisées en 2006 la première au mois de mars (hautes eaux) et la deuxième au mois de juillet (basses eaux).

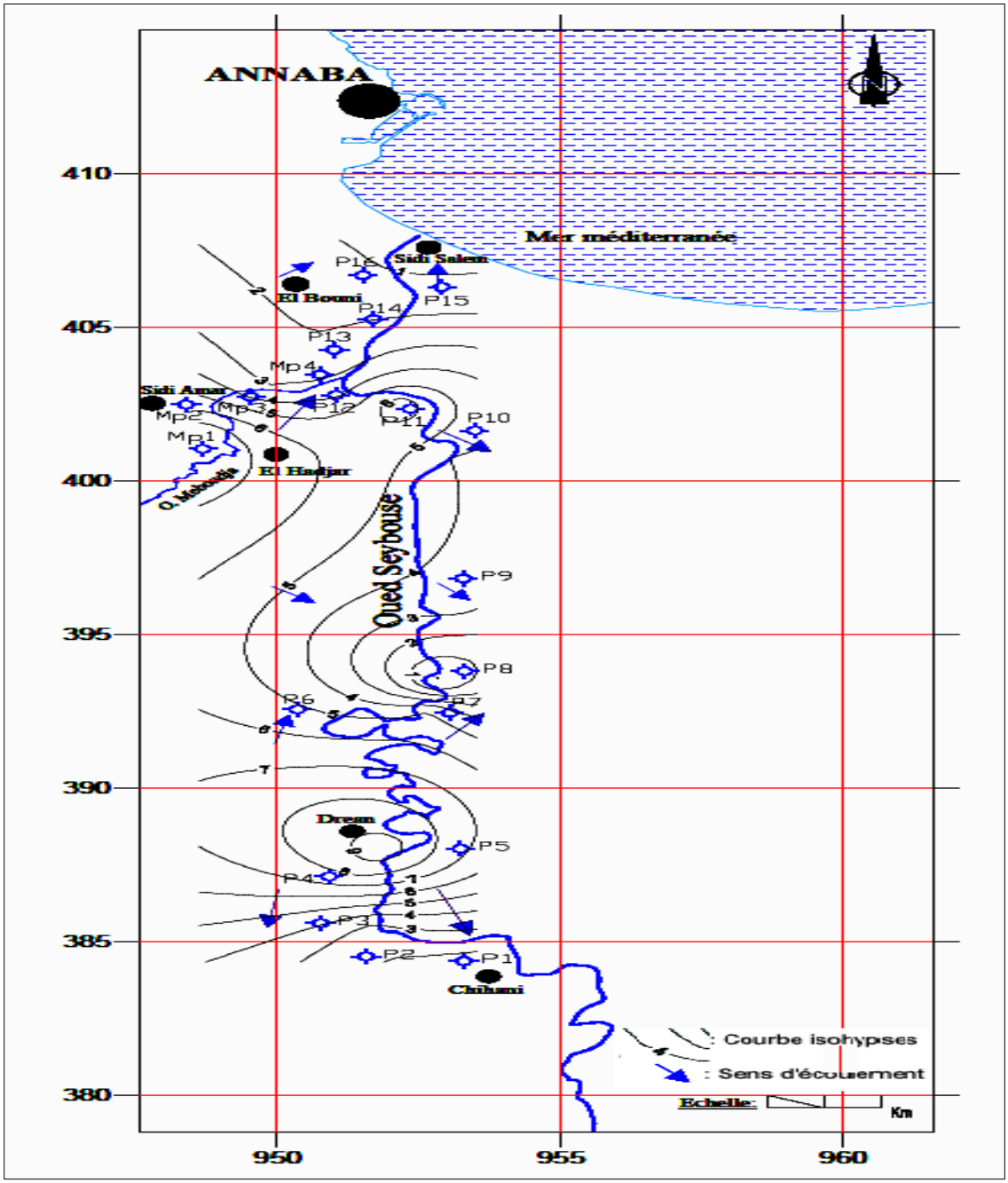


Fig.15: Carte piézométrique pour la période des hautes eaux – Mars 2006 (In ZERROUKI, 2008)

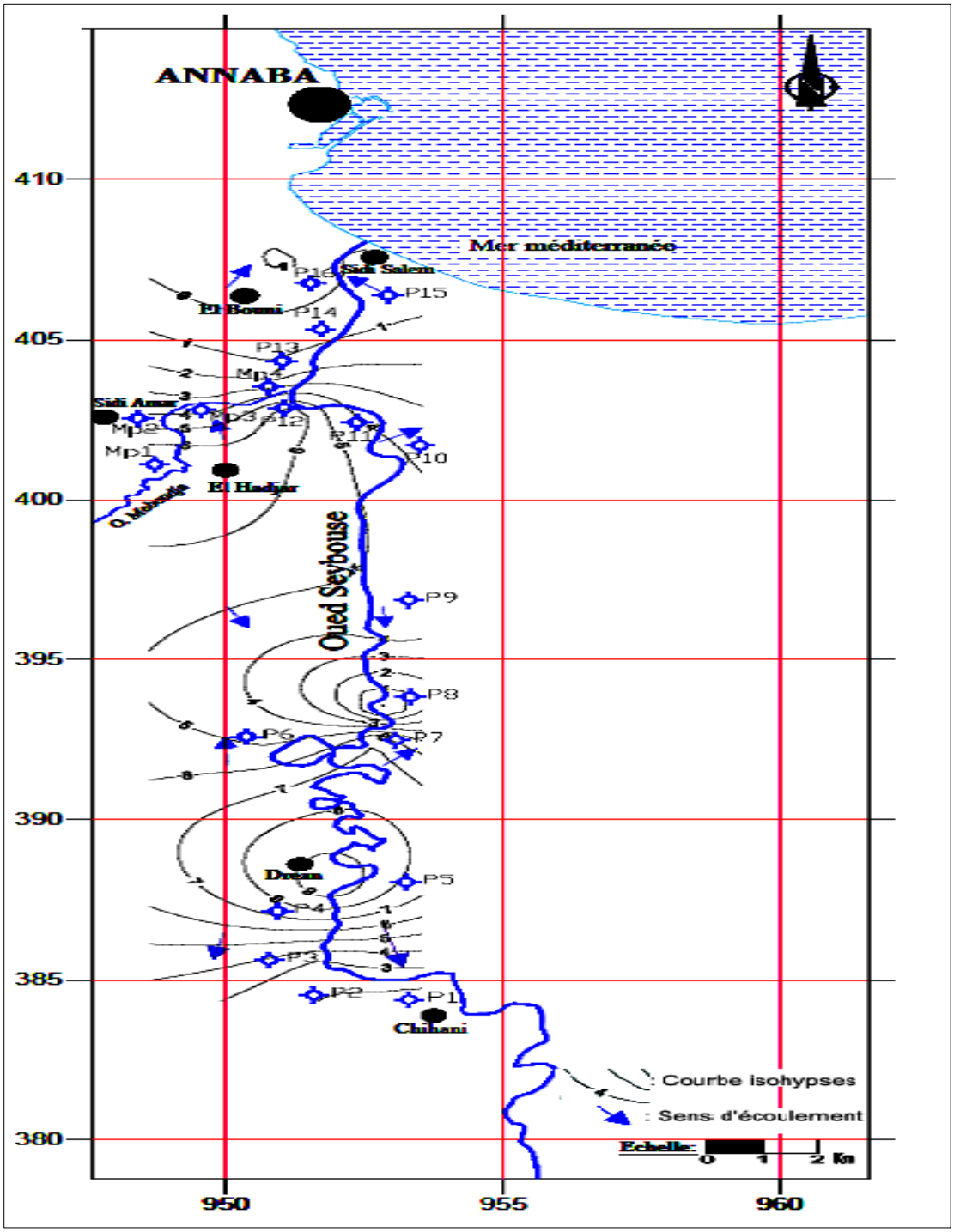


Fig.16 : Carte piézométrique pour la période des basses eaux - Juillet 2007 (In ZERROUKI, 2008)

3.3. Interprétation des cartes piézométriques : On constate un petit changement dans l'allure des isopièzes des deux cartes qui sont presque identiques. L'examen des deux cartes piézométriques (**Fig. 15,16**) montre l'existence d'un drainage de l'Oued

vers la nappe, dont le gradient hydraulique est très faible au centre de la plaine, il varie entre 4,61 et $7,04x10^{-4}$ indiquant l'existence d'une forte perméabilité, ce rapport devient fort entre 2,74 et $2,96x10^{-3}$ indiquant une faible perméabilité ou une pente importantes des terrains **(ZERROUKI, 2007).**le niveau piézométrique de la nappe rabatte pendant la période des basses eaux et augmente pendant la période des hautes, ceci peut avoir comme origine les précipitations où la nappe commence à se recharger, pour diminuer progressivement pendant les périodes sèches

Conclusion

La description géologique fait apparaître dans la zone d'étude, que seules les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire peuvent constituer des réservoirs d'eau importants, par contre, les formations du Primaire et celles du Tertiaire (Eocène inférieur et Oligocène) qui apparaissent à l'entourage du site, sont rarement exploitées.

L'étude hydrogéologique de la région d'Annaba peut nous montrer l'existence de deux types d'aquifères : l'un est superficielle englobe : la nappe des gneiss altéré, des cailloutis et des terrasses, du cordon dunaire et celle des alluvions récentes et actuelles ;et l'autre un aquifère profond comporte la nappe des cipolins et celle des graviers, l'alimentation de ces horizons est assurée par l'infiltration des pluies efficaces, des nappes avoisinantes par drainance, des oueds et des débits de fuites.

CHAPITRE : 3CADRE HYDCLIMATOLOGIQUE

1. CLIMATHOLOGIE

Le climat est un facteur déterminant de premier ordre pour une approche du milieu ; pour mieux comprendre le fonctionnement et les influences du système hydraulique sur la zone d'étude, donc il est nécessaire d'établir un bilan hydrique. C'est un ensemble de phénomènes météorologiques qui sont principalement la température, les précipitations et les vents. Ainsi on peut affirmer que le climat se place en amont de toute étude relative au fonctionnement écologique.

Le climat méditerranéen est aussi caractérisé par une concentration hivernale des précipitations, l'été étant sec **(STEWART ,1975)**;ces caractéristiques du climat méditerranéen à côté de quelques autres, ont fait l'objet de plusieurs études par des scientifiques écologues. Les travaux les plus connus sont ceux de : **(QUEZEL ,1976), (SELTZER 1946), (GAUSSEN ,1953), et (TOUBAL ,1986)**.

Pour connaître les caractéristiques du climat, l'étude doit reposer sur une période d'observation assez longue. Cette période doit s'étaler sur 30 ans, (1981), il faut une période d'au moins 25 à 30 ans.

1.1. Climatologie de la zone d'étude :

Pour réaliser notre travail, on prend en considération les informations recueillies, au niveau deux stations météorologiques : Pont Bouchet et les Salines. Les données sont représentées sous formes de moyennes annuelles des hauteurs de pluie pour une période de 34 ans (1980/2014), et aussi les moyennes mensuelles et annuelles des températures enregistrées dans les mêmes stations. Le tableau 3 donne un aperçu sur la situation géographique de chaque station ainsi que les périodes d'observations pour chacune d'entre elles.

Tabl.3: Caractéristiques géographiques des stations étudiées.

Station climatologique	Code	X (km)	Y (km)	Z (m)	Période d'observations
Pont Bouchet	140631	950,25	402,80	03	1980/1981-2013/2014
Les salines	60360	955,80	403,80	06	1980/1981-2013/2014

Fig.17 : Localisation des stations climatologiques dans la région d'Annaba.

1.2. Variations des facteurs climatiques :

.12.1. Les Précipitations :

La pluviosité conditionne et agit directement sur le sol et la végétation ; elle favorise leur maintien et leur développement. La pluviosité varie en fonction de l'altitude, de la longitude, de la latitude ainsi que l'exposition des versants**.** Les précipitations constituent un facteur essentiel parce qu'elles jouent le rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des eaux superficielles et souterraines donc toute étude climatologique nécessite une analyse bien détaillée des précipitations.

Les pluies en Algérie proviennent d'une part des vents pluvieux qui abordent le Maghreb par le littoral durant la saison froide, d'autre part, des orages dus aux perturbations atmosphériques engendrées par les dépressions en provenance des régions sahariennes surtout en fin de printemps **(SELTZER, 1946)**.

- **Précipitations moyennes mensuelles**

Le présent travail est réalisé, pour mieux évaluer la variation des précipitations moyennes mensuelles nous avons réalisé des histogrammes sur la base des données enregistrées aux stations des Salines, et de Pont Bouchet. Les données recueillies s'étalent sur une période de 27 ans (1980/1981-20013/2014), la figure 16, montre les

variations de la moyenne mensuelle des précipitations au niveau de chaque station sur 27 années d'observations.

- **Précipitations moyennes annuelles**

Les moyennes annuelles calculées, amènent les remarques suivantes :

Les précipitations annuelles moyennes enregistrées dans les deux stations sont de l'ordre de 670.7mm pour la station des salines et de 633.9mm pour celle de Pont Bouchet.

Tabl.4 : Précipitations moyennes annuelles des deux stations (1980-2014)

Station	**Périodes d'observation**	Précipitation moyenne annuelle (mm)
Les Saline	**(1980-81/20013-14)**	670.7
Pont Bouchet	**(1980-81/2013-14)**	633.9

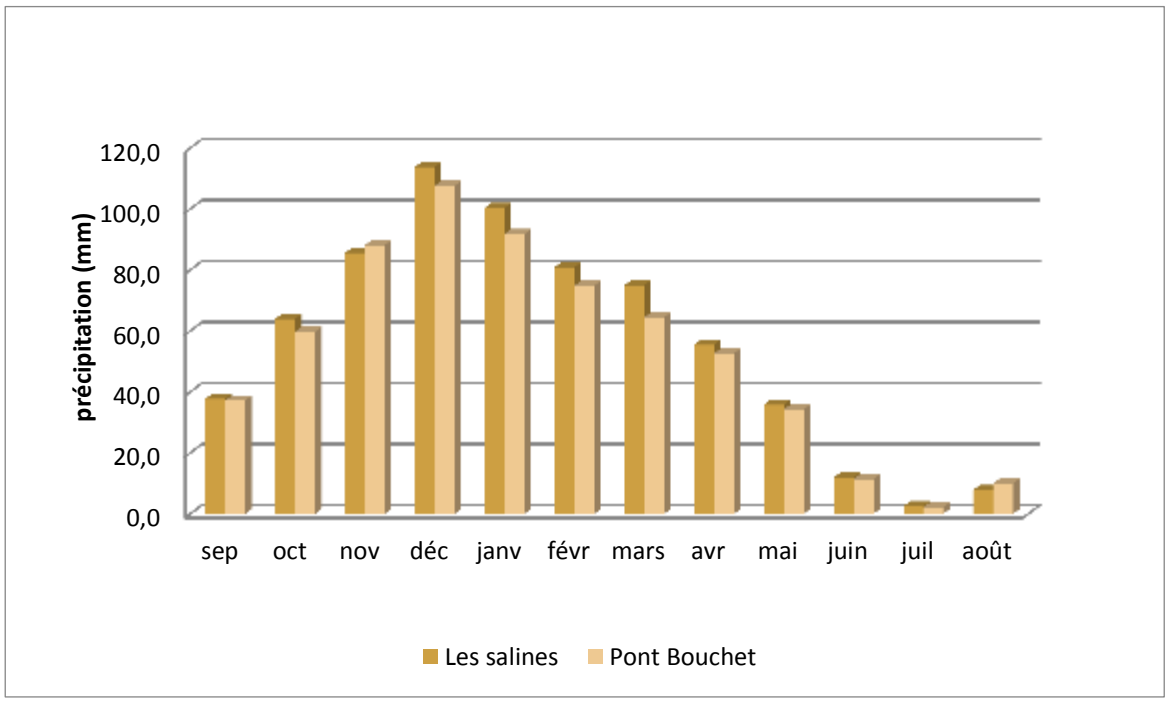


Fig.18. Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (1980-2014).

1-2-2-Coefficient pluviométrique (H) :

Pour connaître la situation de chaque station (excédentaire ou déficitaire), nous avons calculé le coefficient pluviométrique annuel pour chaque station. Ce paramètre est

calculé par le rapport de la pluviométrie de l'année considérée sur la pluviométrie moyenne annuelle observée à une station donnée, selon la relation suivante :

$$Cp = P/P_{moy}$$

Avec :

H : Coefficient pluviométrique

P : Hauteur annuelle des pluies en mm

Pmoy : Pluviométrie moyenne en mm

Nous avons deux cas :

Cp >1 ← année excédentaire (AE)

Cp < 1 ← année déficitaire (AD)

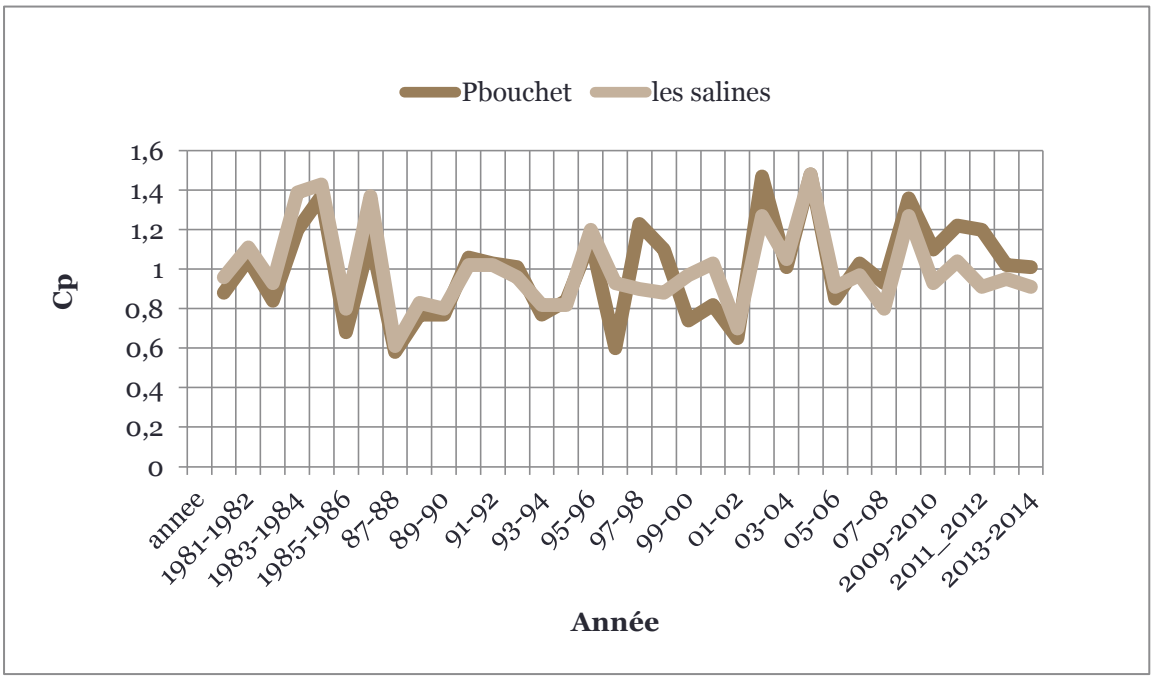


Fig:19: Diagramme du coefficient pluviométrique des deux stations (1980-2014)

La figure 19 montre que les années excédentaires et déficitaires observées sur une période allant de 1980/1981 à 2013/2014 soit 34 ans et on remarque que dans la station des Salines il y a 13 années excédentaires et 14 années déficitaires, et pour la station de Pont Bouchet 14 années excédentaires et 13 années déficitaires. La figure 16 montre une alternance entre les années excédentaires et celles déficitaires pour les deux stations.

Répartition saisonnière des précipitations :

La subdivision des pluies de l'année pour chaque saison est faite suivant les saisons agricoles (Automne : Septembre, Octobre et Novembre, Hiver : Décembre, Janvier et Février, Printemps : Mars, Avril et Mai, Eté : Juin, Juillet et Aout).

La figure ci-dessous montre la répartition saisonnière des précipitations :

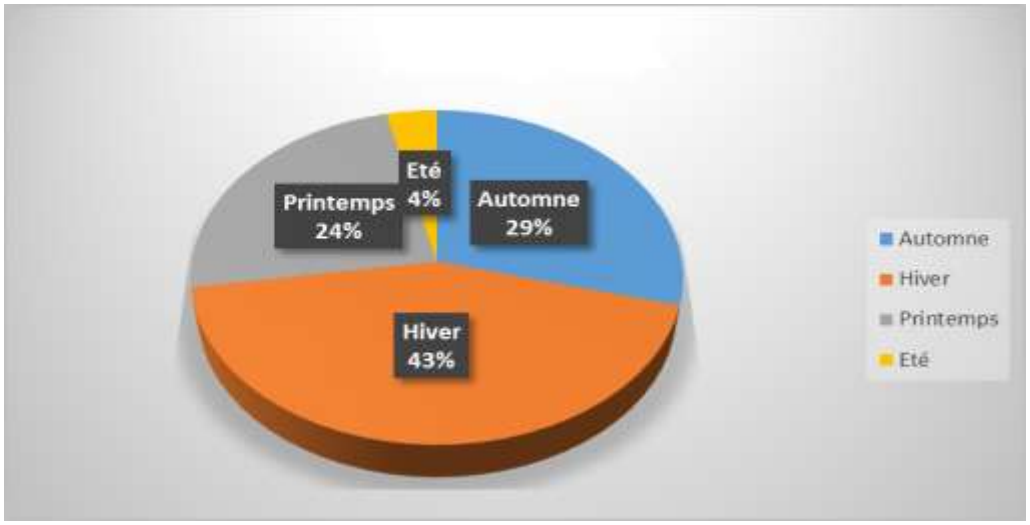


Fig.20 : Répartition Saisonnière des pluies pour la station de Pont Bouchet (1980-2014)

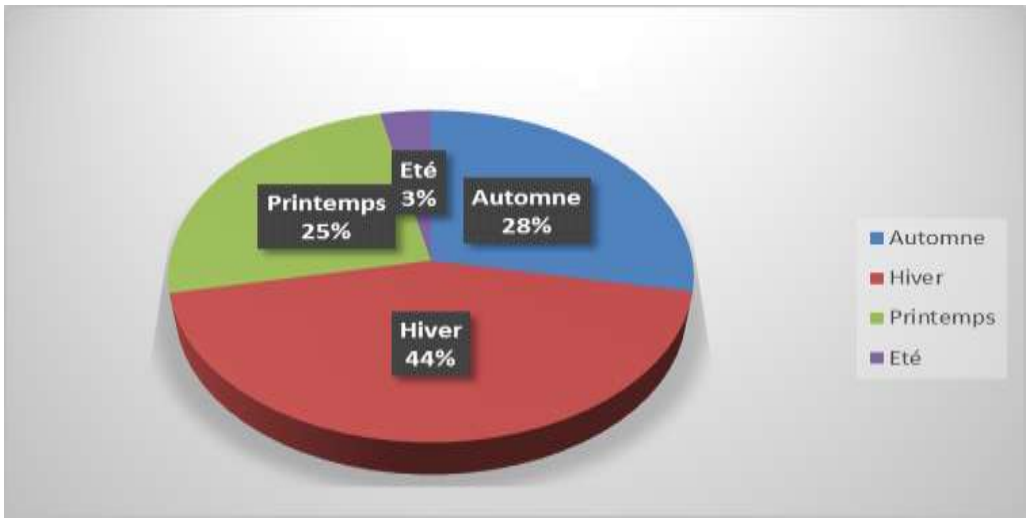


Fig.21 : Répartition Saisonnière des pluies pour la station des Salines (1980-2014)

L'observation des précédentes figures, montre que la saison hivernale est la plus pluvieuse, il tombe en moyenne ente 295mm et 275mm, soit autour de 43% à 44% du total annuel. L'automne et le printemps, se caractérisent par une pluviométrie

allant de 185mm à 151mm soit de 24% à 29% des pluies totales annuelles. En été, la pluviométrie est faible, ne dépassant pas 23 mm, soit au environ de 3% du total des pluies. En conclusion, il s'avère que le climat de la région d'Annaba présente des saisons contrastées, avec une période humide et fraîche de 6 mois et une période sèche et chaude de 6 mois. Il correspondrait à un climat méditerranéen subhumide.

- **Détermination du type du climat (Indice de de MARTONNE)**

Pour la détermination du type de climat DE MARTONNE (1925) a proposé une formule climatologique appelée indice d'aridité qui est en fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations moyennes annuelles :

$$A=P/T+10$$

Avec :

A : Indice d'aridité annuelle.

P : Précipitations moyennes annuelles en (mm).

T : Températures moyennes annuelles en (°C)

Selon de MARTONNE :

A < 5 : le climat est hyper aride.

5 < **A** < 10 : le climat est très sec.

10 < **A** < 20 : le climat est sec. - 20 < A < 30 : le climat est tempéré.

A > 30 : le climat est humide (écoulement abondant). Notre cas :

a)La station des Salines :

$$\mathbf{A=}\ \frac{633.9}{17.8+10}$$

A = 24,42 20 < A < 30 le climat est tempéré

b) La station de Pont Bouchet :

$$\mathbf{A=}\ \frac{633.9}{17.8+10}$$

A = 24,96 20 < A < 30 le climat est tempéré

- **Les autres facteurs météorologiques :**

1.2.3. L'humidité relative :

L'humidité relative de l'air montre l'état de l'atmosphère en expliquant s'il est plus ou moins proche de la condensation, elle correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de vapeur saturante à la même température. Ce paramètre intervient comme coefficient de l'évapotranspiration lorsqu'il est inférieur à 50%. La moyenne mensuelle de l'humidité relative varie de 72% en été (au mois de juillet) à 78.23% en hiver(au mois de Janvier) avec une moyenne annuelle de 74.84%.

Tab.05 : La moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station des Salines (1984-2013)

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout
Moy	72.39	75.87	76.68	70.91	79.75	76.87	75.76	75.32	76.34	74.28	72.0	72.25

1.2.4. Le Vent :

C'est l'un des éléments les plus déterminants des régimes pluviaux, de l'évapotranspiration et par conséquent du climat. A la station des Salines, les vents prédominants, sont de direction NW-SE et leur vitesse moyenne est de l'ordre de 3.28.

Tabl.6 : Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à la station des Salines (1974-2013)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Moyenne	3.68	2.74	2.58	3.23	3.34	3.56	3.51	3.51	3.26	3.06	3.45	3.40

1.2.5. La température :

La température est un facteur très important, dans l'étude du climat de la région. Elle constitue un facteur indispensable et déterminant dans l'étude de l'évapotranspiration et l'évaporation. Les observations des températures extrêmes dont on dispose, sont prises au niveau de la station des Salines, qui est la seule à pouvoir enregistrer ces mesures sur une période de 34 ans .Les valeurs sont portées dans le tableau 7.

Tab.07.températures moyennes mensuelles à la station des Salines durant la période (1980-2014)

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout
Moyen	23.44	19.7	15.92	12.41	11.44	11.58	13.14	15.26	18.32	22.27	24.60	25.56

On remarque que le mois le plus froid est janvier avec une température moyenne de l'ordre de 11.44°C alors que le mois le plus chaud est le mois d'Aout avec une température moyenne de 25.56°C .La moyenne annuelle est de l'ordre de 17.8°C.

Fig.22 : Températures moyennes mensuelles à la station des Salines (1980-2014):

- **Diagramme pluviothermique :**

C'est la combinaison des températures et des précipitations moyennes mensuelles sur la même période d'observation où **P=2T**, il a pour but de déterminer les périodes sèches et humides tel qu'il est mentionné dans les figures 23 et 24.

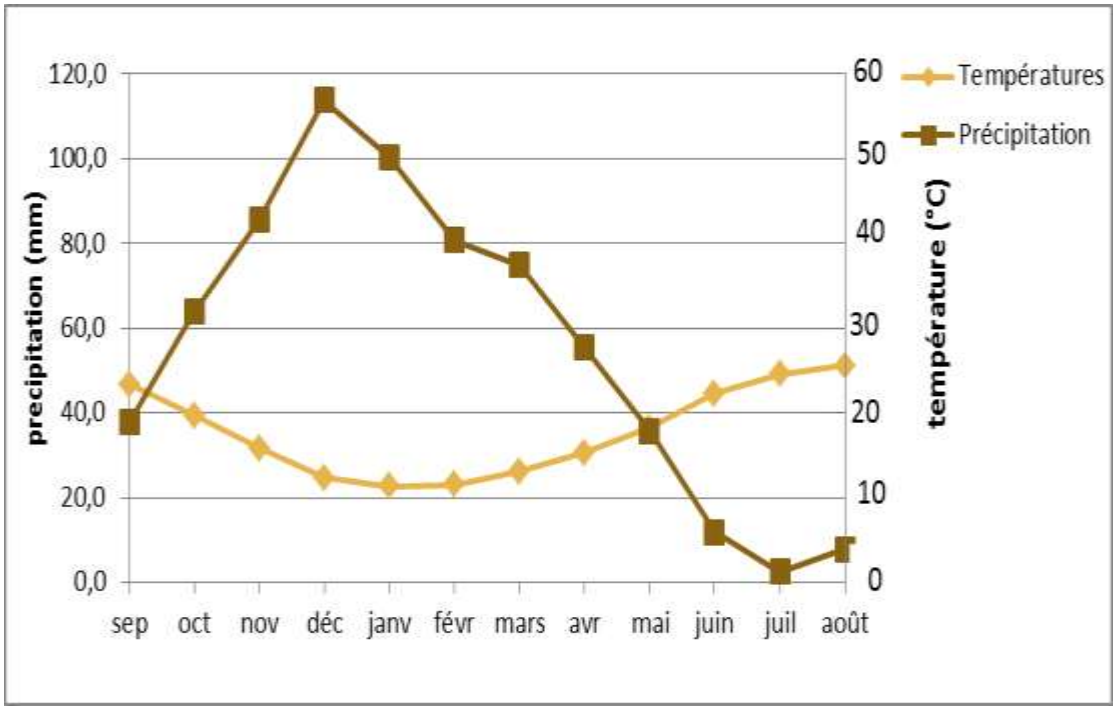


Fig.23 : Diagramme pluviothermique de la station des Salines (1980-2014)

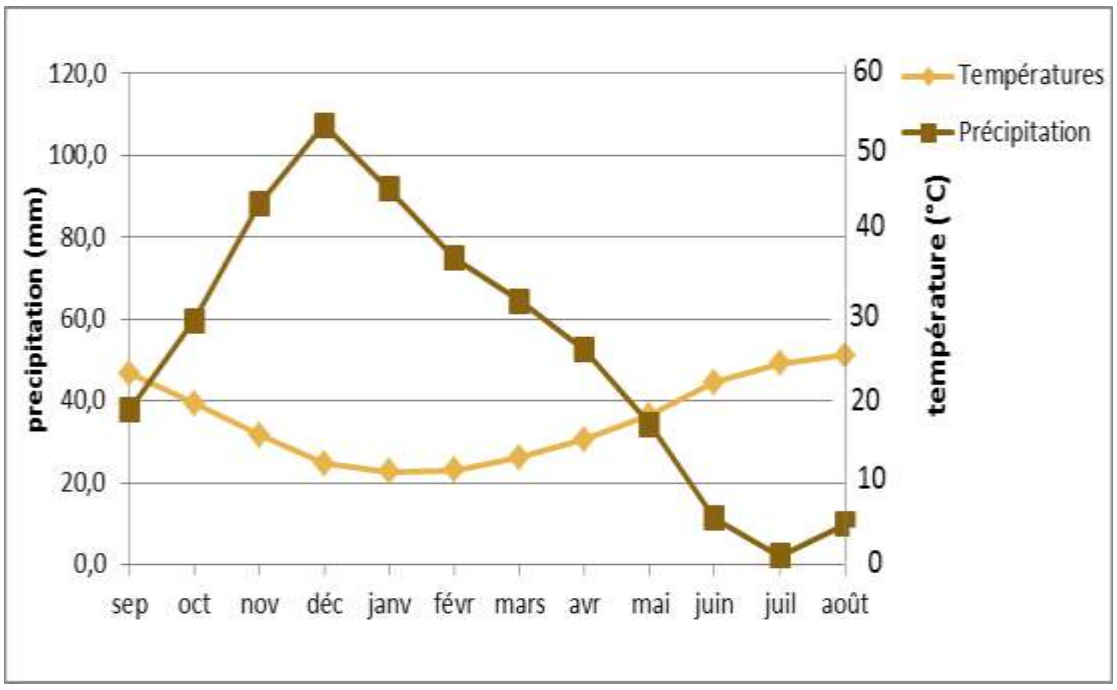


Fig.24: Diagramme pluviothermique de la station de Pont Bouchet (1980-2014)

Un mois sec est celui ou le total des précipitations (mm) est inférieur ou égale à la température moyenne (C°) du même mois. Cette relation permet d'établir un diagramme pluviothermique sur lequel les températures sont portées à une échelle double des précipitations.

Lorsque les températures passent au-dessus de la courbe des précipitations, la saison correspondante est sèche ou déficitaire en eau, et lorsque la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures, la saison correspondante est humide.

Les diagrammes réalisés (figure 19 et 20) montrent la présence de deux saisons. La première sèche et chaude, elle s'étend du mois de Mai, jusqu'au mois de Septembre. La seconde humide, s'étale sur le reste de l'année, c'est-à-dire du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai.

2. Le bilan hydrique :

Le but de l'étude du bilan hydrique d'une région permet d'évaluer la répartition des quantités d'eaux reçues sur une surface entre ses différents composants (écoulement, infiltration et évaporation). Il est calculé par la méthode de THORNTHWAITE, cette dernière est la plus appliquée, car se rapprochant au mieux de la réalité de la zone d'étude, elle prend en considération la RFU, qui est elle-même tient compte du type de sol, de l'enracinement et des plantes et aussi tient compte de la température, la pluie, et l'ETP, selon la formule suivante :

$$P = ETR + I + R$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en (mm) ;

I : Infiltration moyenne annuelle (mm) ;

R : Ruissellement moyen annuel (mm).

2.1. L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est la plus importante des paramètres, c'est la somme des quantités d'eau exprimées en mm, évaporées par la surface du sol et utilisées par les plantes.

On distingue :

-L'évapotranspiration potentielle (ETP).

-L'évapotranspiration réelle (ETR).

2.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP): Est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si ceux-ci contiennent en permanence la quantité d'eau suffisante**.**

2.1.2 L'évapotranspiration réelle (ETR) : Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme de l'évapotranspiration et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie.

2.1.3 .Calcul de l'évapotranspiration potentiel : Elle est estimée par la formule de « THORNTHWAITE »appliquée pour le climat subi-humide et semi-aride par la formule suivante :

$$ETP = 16 * (10t / I)^{a}.k$$

D 'où: $a= 0.016I + 0.5$, $I = \sum i$, $i= (t/5)^{1.514}$

ETP : évapotranspiration potentielle annuelle en mm

T : température moyenne mensuelle en °C

I= somme des indices mensuels de l'année.

i= indice thermique mensuel

K : facteur de correction mensuel, fonction de la durée de la journée

a : exposant climatique.

Tab.8 : ETP selon la formule de THORNTHWAITE à la station des Salines (1980-2014)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOT
I	10.35	8.08	5.74	3.95	3.43	3.51	4.25	5.42	7.12	9.6	11.12	11.86	84.4
ETP	108.8	75.65	44.2	26.3	23.8	23.9	36.7	52.7	80.9	117.5	142.9	144.7	878.1

2.1.4 .Calcul de 'l'évapotranspiration réelle

Elle est estimée par les formules suivantes :

a) Formule de C.W. Thornthwaite

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, on utilise la méthode de C.W. Thornthwaite, où on distingue deux principaux cas :

1er cas : Si : P – ETP > 0 ; c.-à-d. : P > ETP, dans ce cas ETR = ETP, donc il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation, le surplus va représenter l'écoulement superficiel.

2ème cas : Si : P – ETP < 0 ; c.-à-d. : P < ETP, ce cas est caractérisé par les deux cas suivants :

Si : P + RFU > ETP ETR = ETP

Si : P + RFU < ETP ETR = P + RFU.

Les résultats de cette méthode sont présentés dans le tableau du bilan hydrique (Tabl. 11 et 12).

b) Formule de TURC

Cette formule tient compte de la durée de l'insolation et applicable à tous les types de climat, la formule est la suivante :

$$\mathbf{ETR} = \boldsymbol{P}/\sqrt{\mathbf{0,9} + (\mathbf{P}/\mathbf{L})^2}$$

Avec

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

L : Pouvoir évaporant de l'atmosphère, $\mathbf{L = 300+25\ T+0,05\ T^3}$.

T : Température moyenne annuelle (°C).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

Les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous ;

Tab.9 : Résultats de L'ETR selon la formule de « TURC » dans les deux stations (1980-2014)

Station	P (mm)	T°C	L	ETR (mm/an)	ETR en%
Pont Bouchet	633.9	17.8	1027	473.41	74.86
Les Salines	670.7	17.8	1027	486.72	76.80

c) Formule de COUTAGNE

Cette formule fait appel à deux paramètres indispensables (précipitation et température) selon la relation suivante :

$$ETR = P - \lambda * P^2$$

Avec :

λ= 1/ (0,8+ 0,14T)

ETR : Evapotranspiration réelle (mm/an).

P : Précipitations moyennes annuelles (mm/an).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Elle est applicable pour la condition suivante : $1/8\ \lambda < P < 1/2\ \lambda$

Les résultats obtenus sont englobés dans le tableau ci-dessous :

Tab.10 : l'ETR d'après la méthode de COUTAGNE(en mm) dans les deux stations (1980-2014)

Station	P (mm)	T°C	Λ	ETR (mm/an)	ETR en%
Pont Bouchet	633.9	17.8	0.30	525.8	82.94
Les salines	670.7	17.8	0.30	496.9	74.08

3. Calcul du bilan hydrique :

Les tableaux ci-dessous résument les bilans hydriques pour les deux stations, établies selon la méthode de Thornthwaite.

Tabl.11 : Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE », Station des Salines, période (1980-2014)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
Pré	37,8	63,9	85,5	113,8	100,4	80,8	74,9	55,5	35,8	11,9	2,6	7,9	670,7
T°C	23,4	19,7	15,9	12,4	11,4	11,6	13,1	15,3	18,3	22,3	24,6	25,6	17,8
k	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
i	10,40	8,00	5,80	4,00	3,50	3,60	4,30	5,40	7,10	9,60	11,20	11,80	84,70
ETP	109.00	74,40	44,40	26,40	24,15	24,37	37.3	52,50	81,10	117.4	143,42	144,1	878,60
RFU	0	0	41,10	100	100	100	100	100	54,7	0	0	0	
ETR	37,80	63,90	44,40	26,40	24,40	24,30	37.30	52,50	81,10	66,60	2,60	7,90	469,2
EXc	0	0	0	28,5	76,0	56,5	37,7	2,9	0	0	0	0	201,6
Défi	71.2	10.4	00	00	00	00	00	00	00	50.80	140.90	136.20	409.60

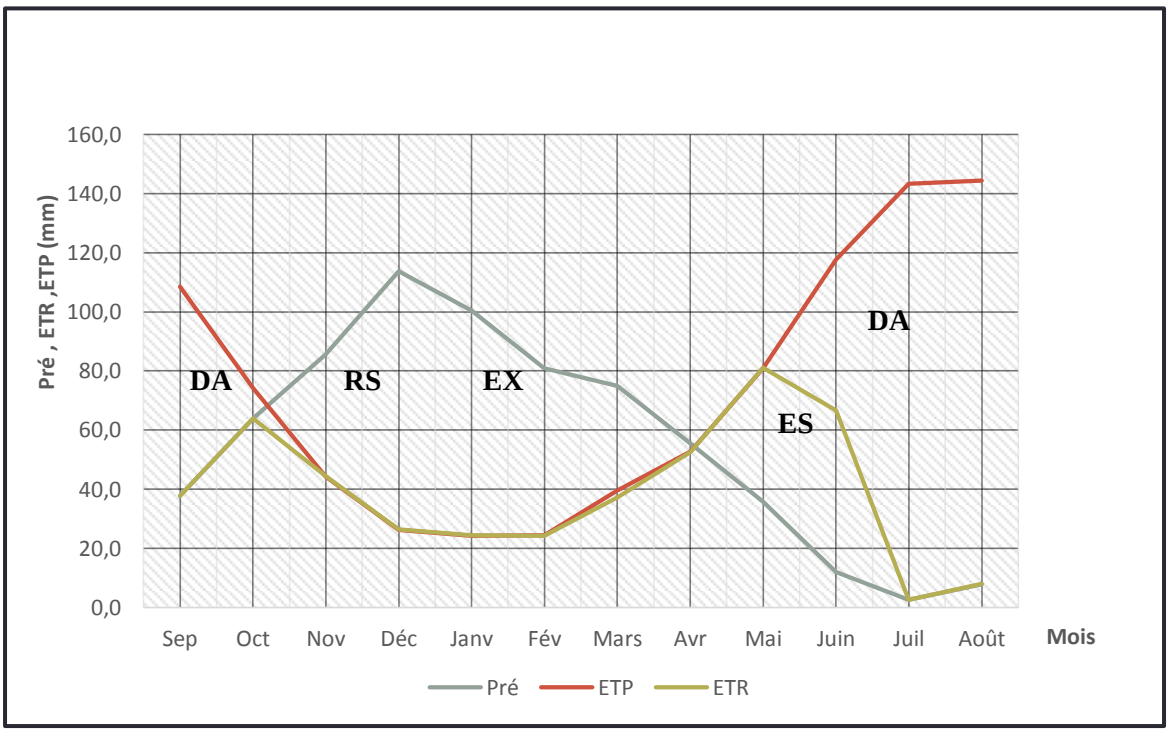


Fig.25 : Représentation graphique du bilan hydrique selon THORNTHWAITE, Station des Salines, période (1980-2014)

Tabl.12 : Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE », Station de Pont Bouchet, période (1980-2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
Pré	37,1	59,7	88,1	107,6	91,8	74,9	64,4	52,6	34,2	11,4	2,1	9,9	633,9
T°C	23,4	19,7	15,9	12,4	11,4	11,6	13,1	15,3	18,3	22,3	24,6	25,6	17,8
K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
I	10,40	8,00	5,80	4,00	3,50	3,60	4,30	5,40	7,10	9,60	11,20	11,80	84,70
ETP	109,0	74,40	44,40	26,40	24,40	24,30	37,30	52,50	81,10	117,40	143,5	144,1	878,8
RFU	0	0	43,7	100	100	100	100	100	53,2	0	0	0	
ETR	37,1	59,7	44,40	26,40	24,40	24,30	37,30	52,50	81,10	64,5	2,1	9,9	463,7
EX	0	0	0	25	67,5	50,5	27,1	0,1	0	0	0	0	170,2
DA	71,80	14,69	0	0	0	0	0	0	0	52,80	141,4	134,2	414,9

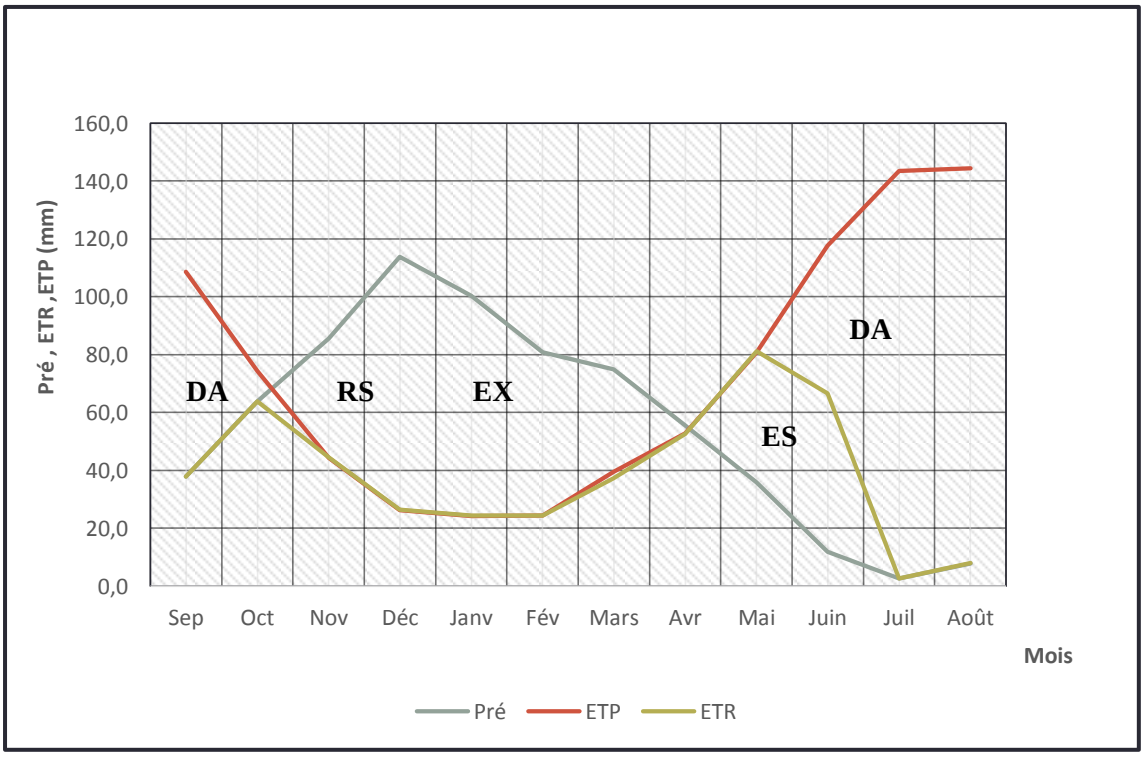


Fig.26 : Représentation graphique du bilan hydrique selon THORNTHWAITE, Station de Pont Bouchet, période (1980-2014)

. Interprétation du bilan hydrique :

Les résultats du bilan hydrique des deux stations illustrés dans les tableaux 11et 12 et les figures précédentes 25et 26, permettent les observations suivantes :

L'évapotranspiration potentielle (ETP) : atteint le maximum au mois de Juillet (144,1mm) et le minimum au mois de Février (24,3mm), alors que le total est de l'ordre de pour les deux stations.

- L'évapotranspiration réelle (ETR) : le total est de l'ordre de 463,8 mm(74,68%) pour la station de Pont Bouchet, alors qu'il est de 469 mm(76.80%) pour celle des Salines.
- La reconstitution de la réserve facilement utilisable (RFU) s'effectue au mois de Novembre et atteint son maximum (100 mm) au mois de Décembre jusqu'au mois Décembre à partir duquel, il y a un surplus d'eau accompagné par un ruissellement et quand elle a tendance à diminuer et au point qu'il sera carrément vide au mois de Juin, il y aura un épuisement du stock et par conséquent un déficit agricole s'étalant jusqu'au mois d'Octobre pour les deux stations, d'où une moyenne annuelle de 422,2 mm pour la station de Pont Bouchet et 411 mm pour la station des Salines.
- L'excédent annuel est de l'ordre de (170.14 mm) présente 26% à la station de Pont Bouchet et (201.6mm) à la station des Salines représentant 31%de précipitations.

4. Ruissellement :

L'évaluation du ruissellement est impérative pour estimer l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface du sol.

Il est calculé selon deux formules :

4-1 Formule de TIXERON-BERKALOFF :

$\mathbf{R = P^3 / 3 \times ETP^2}$ si P < 600 mm.

4-2 Formule de TIXERON-BERKALOFF modifiée par ROMANTCHOUK

$\mathbf{R = P^3 / 3}$ si P > 600 mm.

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle annuelles (mm).

R : Ruissellement (mm).

Les précipitations observées dans la région d'étude dépassent 600mm pour les deux stations donc, on retient l'application de la deuxième formule.

Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tab.13 : Ruissellement selon la formule de TIXERON-BERKALOFF modifié par ROMANTCHOUK (en mm)pour les deux stations (1980-2014).

Station	P (mm)	R (mm)	R en %
Pont Bouchet	633.9	84.9	13.39
Les salines	670.7	100.7	15.01

5. Infiltration

L'infiltration est déduite à partir de la formule générale du bilan hydrique :
elle dépend de plusieurs facteurs,

- La nature du sol.
- La perméabilité et la porosité du terrain
- La couverture végétale.
- L'intensité de la pluie
- Topographie du terrain

P = ETR + I + ⟶ **I = P – ETR - R**

Avec : **ETR** : Evapotranspiration réelle (mm) selon THORNTHWAITE.

Tab. 14 : Estimation de l'infiltration par l'équation fondamentale du bilan hydrique dans les deux stations (1980-2014).

ETR (mm/an)	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)	I en %
Pont Bouchet	633.9	84.9	463.8	85.2	13.44
Les salines	670.7	100.7	496	101	15.05

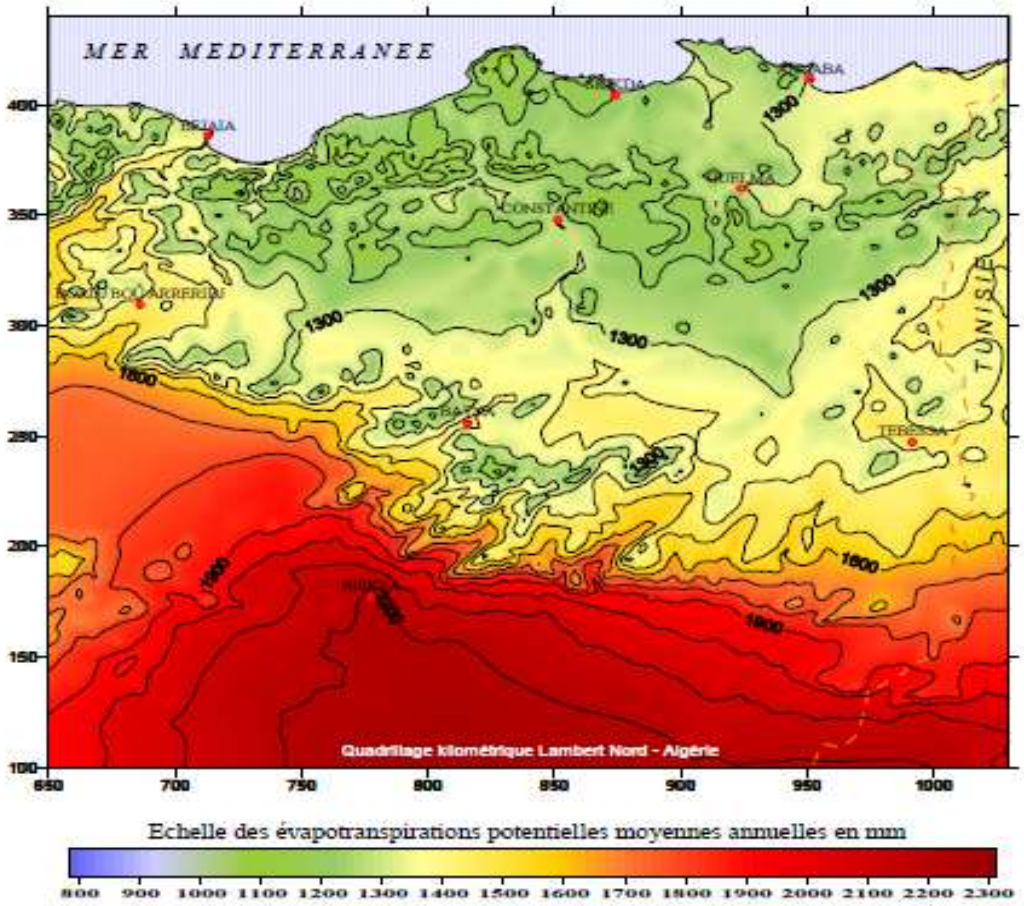


Fig.27 : Carte de l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne de l'Est Algérien (in MEBARKI. A ; 2005 ; source : étude A.N.R.H., 2002)

6. La réserve facilement utilisable (RFU) : Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

-La nature, la composition lithologique et l'épaisseur du sol ;

-La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère ;

-Le climat de la région ;

-Le type de la couverture végétale. Dans notre cas, on admet que la RFU est égale à 100 mm.

Conclusion

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par une période sèche et chaude et l'autre froide et humide, elle reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de (670,7 mm) pour la station des Salines et (633,9 mm) pour la station de Pont Bouchet. La température moyenne annuelle est de l'ordre

de 17,8°C mesurée au niveau de la station des Salines. Le taux d'humidité relative de l'air reste élevé toute l'année d'une moyenne de l'ordre de (74,84%)

L'établissement du bilan hydrique nous donne les résultats suivants :

- L'évapotranspiration potentielle annuelle est de 878,86mm pour les deux stations.
- L'évapotranspiration réelle est de 458,6 mm pour Pont Bouchet et de 469,8 mm pour les Salines.
- La réserve facilement utilisable (RFU), commence à se reconstituer à partir du mois de Novembre, pour atteindre son maximum (100 mm) au mois de Décembre, période pendant laquelle apparaît un excédent de l'ordre de (170.14 mm) (Pont Bouchet) et 201,6 mm (Les Salines). A partir du mois de Juin, la RFU s'est épuisée et reste nulle jusqu'au mois d'Octobre, période qui traduit un déficit agricole, les résultats obtenus de l'infiltration efficace sont de (90mm) pour la station des salines ,131.5mm pour celle de Pont Bouchet et du ruissellement sont de (113.3mm, les salines), (115mm, pont Bouchet).

+

CHAPITRE : 4 COMPORTEMENT DE CERTAINS POLLUANTS ORGANIQUES

Introduction

L'eau douce renouvelable est une ressource indispensable à la vie. Elle mérite une attention toute particulière vu qu'elle est vulnérable à la pollution et sérieusement menacée par les activités humaines En effet, l'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et pesticides et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement. Toutes ces sources sont déversées dans les cours d'eau ; oued Méboudja est devenu le récepteur des eaux usées et des déchets dans leurs formes et grandeurs, qui ont continué à évoluer au fil du temps. Dans le but d'identifier les caractéristiques physico-chimiques, et d'étudier la qualité des eaux de la région d'étude, un plan de travail a été adopté, qui, consiste d'abord à réaliser une analyse de certains polluants organiques persistants nous permettra de mieux identifier les facteurs de pollution. La qualité de l 'eau est déterminée par le paramètre le plus déclassant c'est à dire celui qui définit la qualité la moins bonne sans tenir compte des autres altérations selon des analyses physico-chimique réalisées en Octobre 2014 dans les eaux de l'oued Seybouse et son affluent Méboudja et des eaux de puits couvrant la zone en question. Le but est de déterminer les différents apports anthropiques à caractère polluant dans la région. Pour faire face à ce danger, cette zone a été choisie pour estimer et cartographier la vulnérabilité intrinsèque à la pollution de ses eaux.

Objectif de travail :

Ce travail est basé sur la synthèse des résultats afin d'évaluer l'état de la dégradation des eaux et l'évaluation des aquifères par les polluants organiques persistants, dans un site contaminé situé le long de l'oued Méboudja, dont les points de mesures sont répartis comme suit : l'oued Méboudja, les puits des agglomérations de Sidi Ammar, Hdjar-eddiss, El Hadjar, la zone industrielle de Pont Bouchet, Les salines ,El Kerma allant jusqu'à Chebaita , dans le but de mettre une éventuelle gestion et contrôle de cette ressource en eau.

Dans ce contexte plusieurs études ont été élaborées parmi lesquelles **(NAFAA,1985**,**KHERICI,1993**, **HANNOUCHE,1990**,**DJABRI,1996**,**LOUHI,1996**,**ZENATI,1999**,**DEBIECHE,2202**,**HANI,2003**,et **DERRADJI ,2004)**…etc. Dans le but d'avoir une description réaliste des pollutions qui ont eu lieu dans la région, les échantillons sont prélevés

durant les années (2014) pendant le mois d'Octobre. Comme il y a une relation mixte entre les eaux de surface et les eaux souterraines, la pollution est systématiquement étendue vers les eaux souterraines et superficielles par le phénomène de drainage et de drainance. L'objectif visé dans cette étude est la détermination de la vulnérabilité à la pollution des eaux de la région d'étude Nord Est Algérien.

1. Différentes origines de la pollution des eaux :

La ressource en eaux qui prend chemin à travers la plaine passant par, plusieurs sources de contaminations qui ont été détectées, dû à la forte activité urbaine, industrielle et agricole qui se développe dans la zone d'étude telles que les terres agricoles, les usines et les petites agglomérations de Derradji Rdjem, Sidi Amar et El Hadjar entraînant toutes sortes de polluants dont l'origine est soit industrielle, urbaine, ou agricole. Et l'autre, d'origine naturelle essentiellement due à l'effet des formations géologiques. L'ensemble de ces apports induit une pollution chimique qui provoque l'augmentation de la concentration des éléments chimiques dans les eaux superficielles et souterraines et conduit à une dégradation de leur qualité.

a)Pollution agricole : Son influence apparaît par l'effet de l'utilisation intensive des produits fertilisants (chimiques ou organiques) sur les terrains perméables, ces derniers permettant une infiltration directe de la forme azotée (nitrates) vers la nappe. Le transfert est peut être accéléré par la pratique de l'irrigation. Les élevages intensifs de bovins et volailles produisent une grande quantité de déjections azotées qui doit être stockée en réservoirs étanches avant d'être utilisée comme engrais (ou comme aliments) **(SEGHIR.K ,2008).**

b) Pollution urbaines et industriels : Ils sont liés aux rejets des agglomérations par les réseaux d'assainissement. Ces apports sont caractérisés par de fortes teneurs en ammonium (NH_4^+) et en phosphate (PO_4^-). Les risques de pollution apparaissent à la construction des réseaux routiers puis à leur exploitation (, hydrocarbures, métaux lourds libérés par les véhicules, substances dangereuses échappées par accident, …etc.). En ville, l'imperméabilisation des surfaces (routes, rues, parkings, toits) produit une forte quantité d'eau de ruissellement chargée en produits polluants divers (hydrocarbures, déjections d'animaux, …etc.). Ces eaux pluviales polluées ne doivent en aucun cas être transférées à la nappe. **(SEGHIR.K, 2008)**.

Remarquant que les réseaux d'assainissement des zones industrielles "Pont Bouchet", "Méboudja" et "Sidi Amar » se jettent dans l'oued Méboudja sans aucun traitement (Agence des bassins hydrographiques)

Tabl.15 : Inventaire des usines existantes dans la région d'étude. Source : Agence des bassins hydrographiques(2008)

Commune	l'unité	Branche Industrielle	Unité ou Atelier	Produits chimiques utilises	Lieu de rejet
SIDI AMAR	ISPAT ex (EN SIDER)	Sidérurgie	Tuberie	Phosphates de Zinc	Stockées
			Atelier de chromage (TTS)	Chrome Nickel Cuivre Acide sulfurique	Oued Sol
			Laminoir à froid	/	Sol/Vendu
			Coquerie	Produits utilisés pour le circuit de refroidissement	Oued Vendu Air
			Haut fourneau (HF2)	Produits utilisés pour le circuit de refroidissement	Récupérés
			Aciérie à oxygène	Produits de conditionnement	Air
			Aciérie électrique	Produits utilisés pour le circuit de refroidissement	Récupérés

			Laminoir à chaud	Produits utilisés pour le circuit de refroidissement Acide sulfurique Chrome Zinc Etain	Oued Oued Oued Stockées Stockées Stockées Recyclées
			Laminoir à froid	Produits utilisés pour le circuit de refroidissement	
			Laminoir rond et à fil	Produits utilisés pour le circuit de refroidissement	Récupérée
EL BOUNI	ASMIDAL FERTIAL	Production des engrais phosphatés et azotés	Unité d'acide nitrique	Ammoniac air	Atmosphère
			Unité ammoniac	Air Gaz naturel	Atmosphère
			Unité d'engrais phosphatés	Produits chimiques	Atmosphère Atmosphère Mer
			Unité Phosphate SSP	Phosphate Engrais simple Acide sulfurique	Atmosphère
			Unité NH4 NO3	Acide nitrique Ammoniac	Atmosphère
	ASMIDAL KIMIAL		Unité de production	Acide phosphorique Carbonate de soude Charbon actif Phosphate Carbonate de calcium Sulfate de Fer	Mer Atmosphère

EL Hadjar	SOFAM	Fabrication articles médicaux	/	Polypropylène Divers consommable (papier médical, diluant, silicone, cuve, film plastique.)	Décharge publique ou recyclage Réseau
EL Hadjar	E.N.G.I.	Production De Gaz industriel	/	Carbure de Calcium	Décharge publique

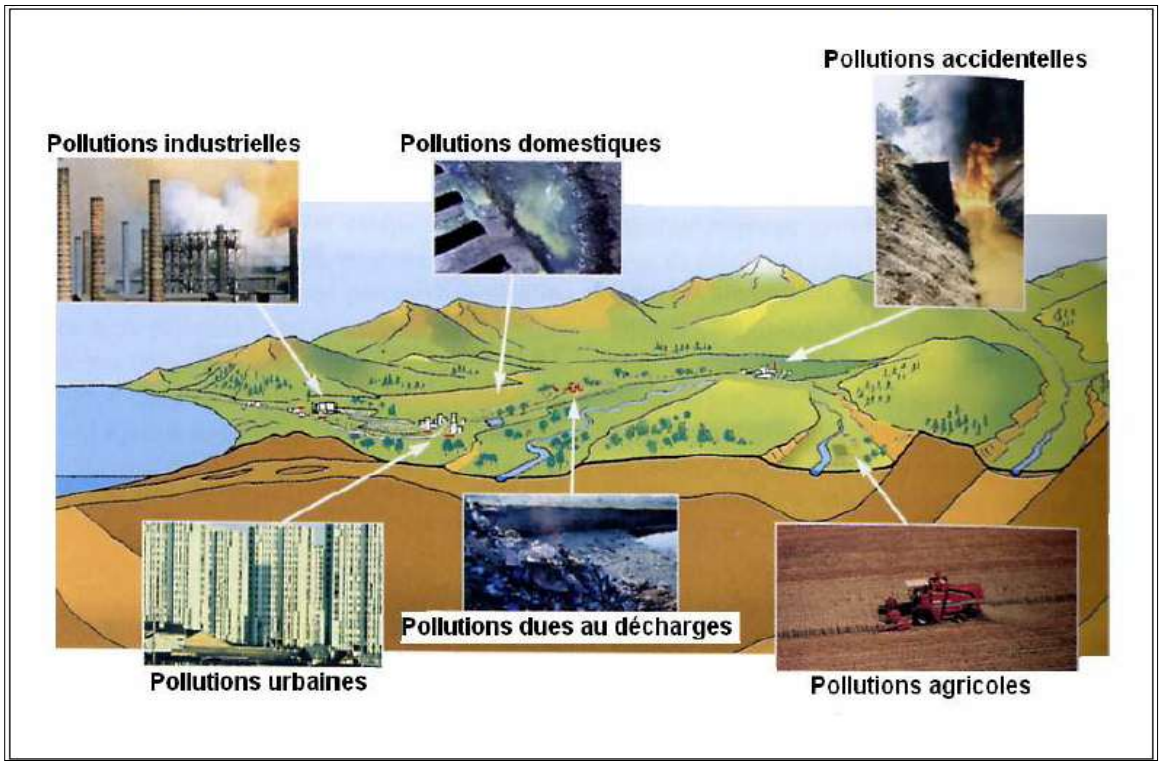


Fig.28 : Principales causes de pollution. (BRGM, 1992)

2. Méthode de prélèvement

2.1. Prélèvements : L'échantillonnage est primordial car il conditionne la pertinence de l'analyse. Il doit être de qualité mais également représentatif du milieu d'analyse. **(SAYAD, 2015)**. Ils sont effectués avec une répartition et une fréquence différente d'un point à un autre, suivant la nature des eaux (superficielles, souterraines), le type des formations géologiques, la profondeur de l'ouvrage de captage, les implantations agricoles existantes et la disponibilité des ouvrages.

Les échantillons d'eau ont été pris en octobre 2014 ; eaux souterraines proviennent d'un réseau de puits (P1, P2……...) et des forages (F1, F2……) recouvrant la zone d'étude. Pour les échantillons d'eau superficielle de l'eau, les prélèvements ont été pris des deux oueds Seybouse et son affluent Méboudja (S1, S2 et S3).

Avec :

- P: prélèvement dans le puits ;
- F : prélèvement dans le forage ;
- S : prélèvement dans l'Oued.

2.2. Matériels et méthodes d'analyse:

Les prélèvement ont été effectué dans des bouteilles en plastique préalablement nettoyées doivent être soigneusement rincées la bouteille est débouchée au moment de la prise, une fois remplie, elle est rebouché, étiqueté et conservée à 4°C préservée à froid pour être analysée ultérieurement, à signaler que les coordonnées des prélèvements ont été déterminées à l'aide d'un GPS

2.3. Les paramètres physico-chimiques :

Le pH, la température et la conductivité sont mesurés in situ au moyen d'appareillage de terrain avec des sondes sélectives (pH-mètre, Mettler Toledo MP 120, conductimètre HANNA instruments Hi 8633).

2.4. Les paramètres organiques :

Les méthodes utilisées lors des analyses physico-chimiques à savoir la température (°C), le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité (C.E.), l'oxygène dissous (O_2), ont été réalisées in situ. Le dosage de l'ammonium (NH_4^+), les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-), et la demande chimique en oxygène (DCO) ont été réalisées dans le laboratoire de la station d'épuration de **L'Allélik** de la wilaya d'Annaba par micro – méthode à l'aide des kits micro méthode LCK marque Hach lange, et d'un spectrophotomètre DR2800 marque HACH LANGE et thermostat avec 2 blocs de chauffage LT200 MARQUE HACH. La DBO5 a été aussi analysée au sein de la step par un appareil automatique de mesure de la DBO5. Pour les prélèvements des forages de la région des salines des mesures physico-chimiques ont été réalisées au Laboratoire Central de l'Algérienne Des Eaux **(SEATA)** suivant les normes connues, sont retenues pour les interprétations que les analyses présentant une balance ionique correcte.

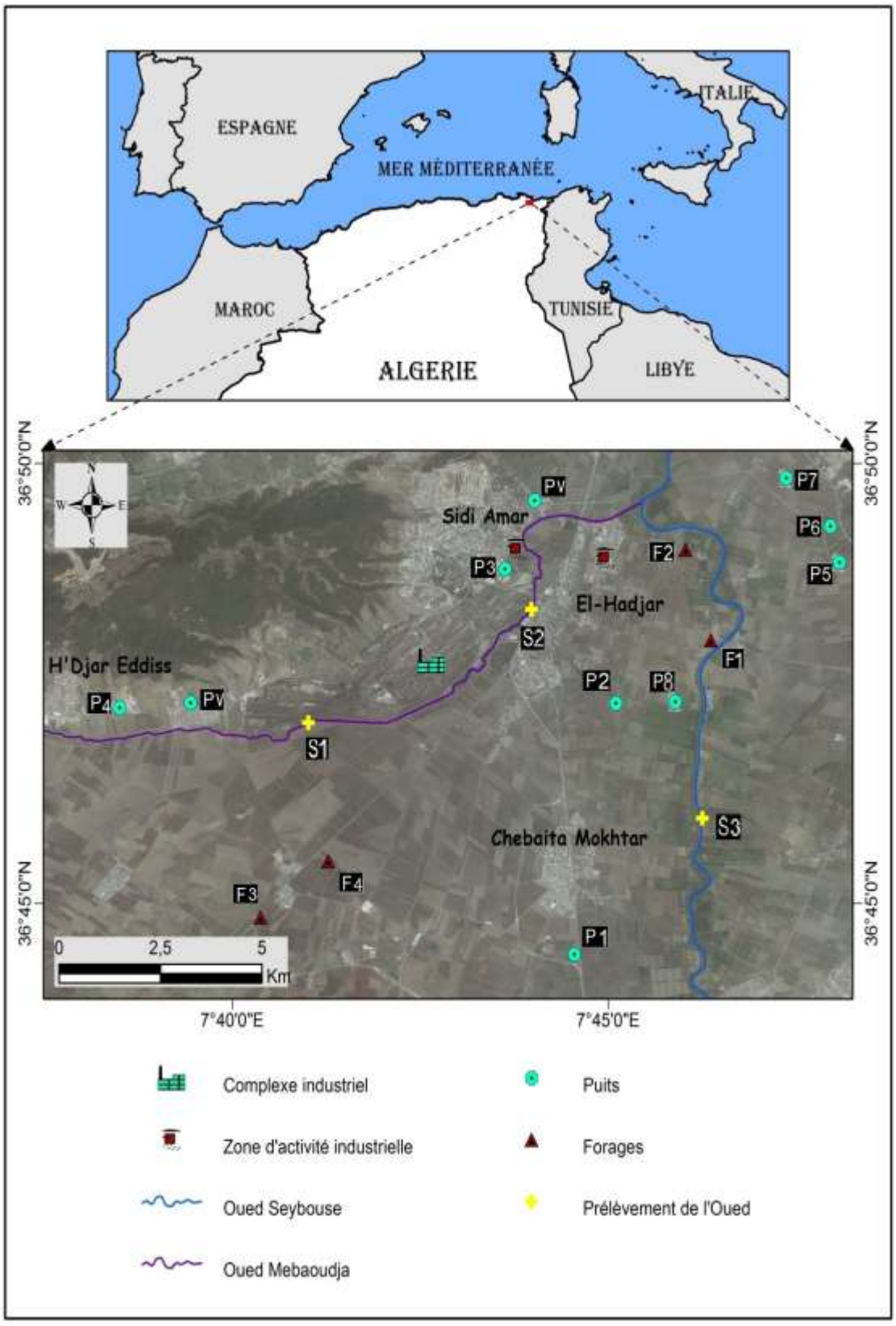


Fig. 29: carte de localisation des points de mesure.

Tabl.16 : Les altérations et leurs effets.

Altérations	Paramètres décrivant l'altération	Effet	Influence sur les usages et fonctions
Matières organiques et oxydables		-Consomment l'oxygène qui est -fondamentale à la vie aquatique -Colmatent le fond des rivières	Biologie et production d'eau potable
Matières azotées	NH_4^+, NO_2, N_{KJ}	-Consomment de l'oxygène -Contribuent à la prolifération d'algue et des végétaux -Peuvent présenter des effets toxiques sur l'écosystème notamment la faune piscicole NO_2^-	Biologie
Nitrates	NO_3^-	-Participent à la prolifération d'algue	Biologie et production d'eau potable
Phosphates	PO_4^{3-}	-Provoquent la prolifération d'algue	Biologie
Minéralisation	Conductivité	-Modifie la salinité de l'eau	Biologie et production d'eau potable

3. Résultats et interprétations :

3.1. Variation des paramètres physiques :

- **La température :**

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercutions écologiques **(LAHONDERE, 1987)**. Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes **(OMS ,2002)**.

Dans la zone d'étude, les températures enregistrées (figure25) oscillent entre 22°C (s) et 17.3 °C et bien sûr elles plus élevée au niveau des eaux superficielles. Suivent la température du climat de la région. . Ces valeurs ne dépassent pas la norme de l'OMS (25°C) et n'ont pas de rôle dans la toxicité des eaux.

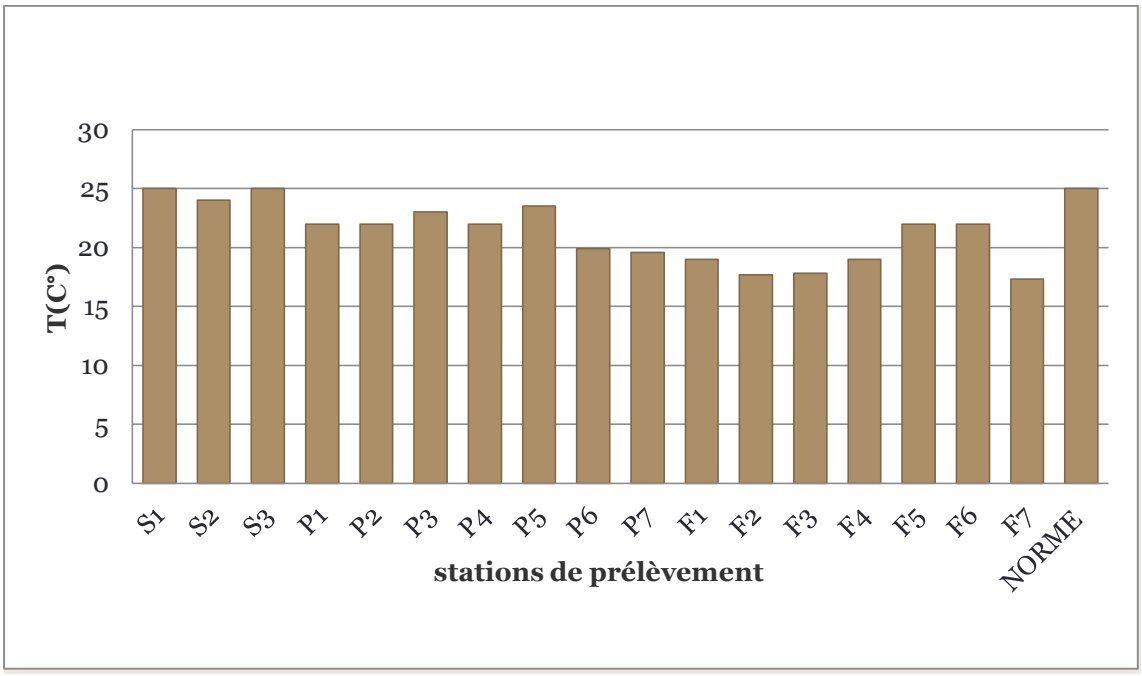


Fig.30 : Variation spatiale des concentrations des températures

- **Potentiel d'hydrogène pH :**

La valeur acceptable du pH varie de 6,5 à 8,5 pour l'eau potable, ses caractéristiques sont liées à la nature géologique des formations aquifères et aux terrains traversés **(BOUBAKAR, 2010)**. Il influence la plupart des mécanismes

chimiques et biologiques dans les eaux. Habituellement, les valeurs du pH se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles **(CHAPMAN et al, 1996)**.

Les valeurs du pH des eaux de la plaine d'Annaba ne montrent pas de variations notables, avec un minimum de 7,04 au point F1 et un maximum de 8,5 dans le prélèvement de l'oued Méboudja S1 et S2, indiquant un milieu légèrement basique dû à l'effet des rejets alcalins provenant des usines. (Figure26)

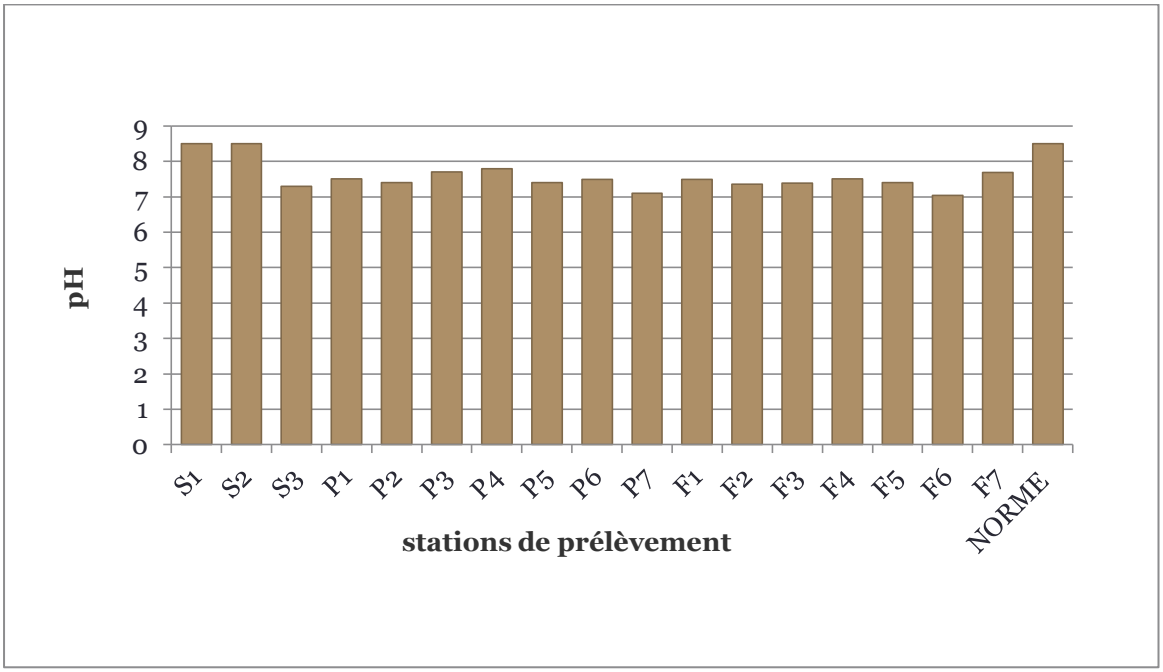


Fig.31: Variation spatiale du pH

- **La conductivité:**

La mesure de la conductivité est une bonne évaluation du degré de minéralisation de l'eau où chaque ion est par sa concentration et la conductivité spécifique]. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 µS/cm **(MAKHOUKHI, et al 2011)**.Les valeurs enregistrées sont importantes et semblent dépasser les normes préconisées surtout au centre de la nappe superficielle dans le prélèvement de l'oued Méboudja Pour les valeurs de conductivité de points P5, F4, S1, S3 elles sont respectivement de l'ordre de (2930µS), (3500µS) (1900µS) et (2350µS). Dans ces zones le contexte géomorphologique, la profondeur des niveaux captés et la nature géologique des formations du sol sont autant de facteurs qui influencent ces variations de conductivité

Les contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration **(GHAZALI et al, 2013)**. Elle permet aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau **(RODIER, 1984)**.

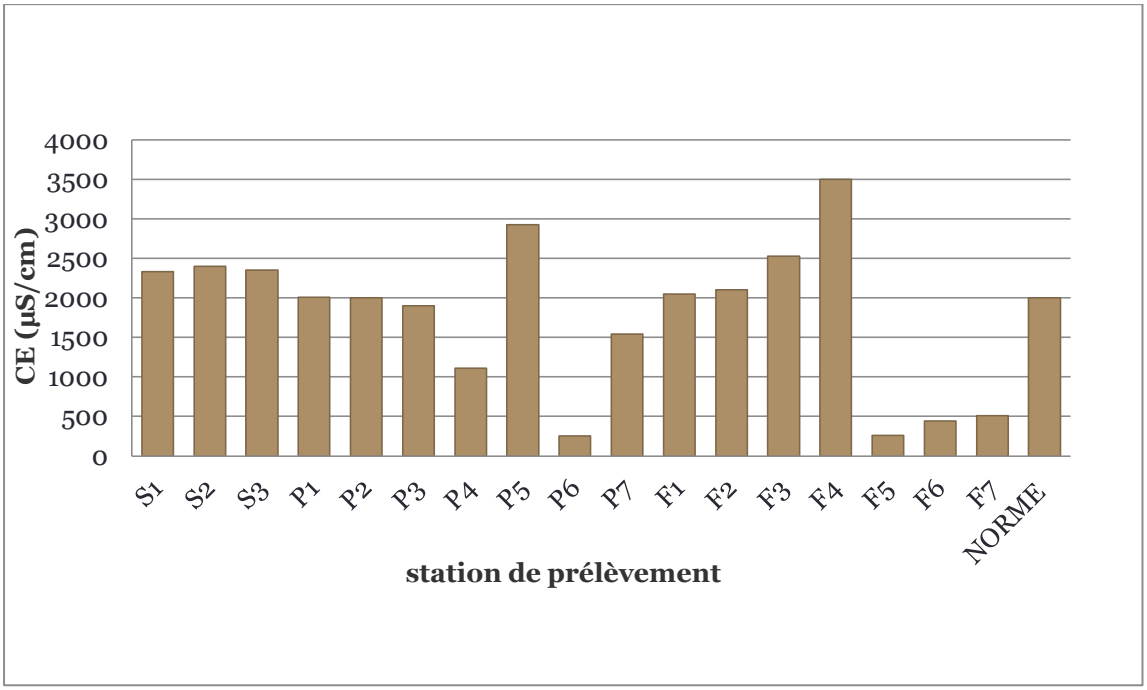


Fig.32 : Variation spatiale de la conductivité

- **Oxygène dissous :**

L'oxygène est l'un des paramètres particulièrement utile pour détecter la pollution de l'eau donc il constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est un des paramètres les plus sensibles de la pollution, sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau (**MAKHOUKHI, et al 2011)**.

Un brassage continue de la masse d'eau ,causé par la vitesse du vent entraînant un enrichissement de la phase dissoute en oxygène dissous pendant la saison humide.

L'échange de l'oxygène avec l'atmosphère et la circulation de l'air augmentent par le haut débit enregistré pendant la période hivernal ce qui influence la concentration en oxygène dissous. Les résultats de la concentration en O_2 ne montrent pas de variations significatives. À l'exception du site contaminé de l'oued Méboudja et de quelques points dans la région étudiée (P5 = 3.28mg/l ; F3 = 4.2 mg/l et F7 = 3.1 mg/l). Ces résultats peuvent être essentiellement dus, à la diminution de la

température de l'eau. Car une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène dissous qu'une eau chaude **(CHAPMAN et al, 1996)**. L'eau polluée et chargée avec la matière organique contribue à la croissance des algues et des plantes. Par conséquent, ils consomment l'oxygène qui est essentiel pour la vie aquatique. En général, le reste des aquifères est bien oxygéné (Fig.28) .Ces résultats montrent que les eaux souterraines sont de qualité moyenne à excellente.

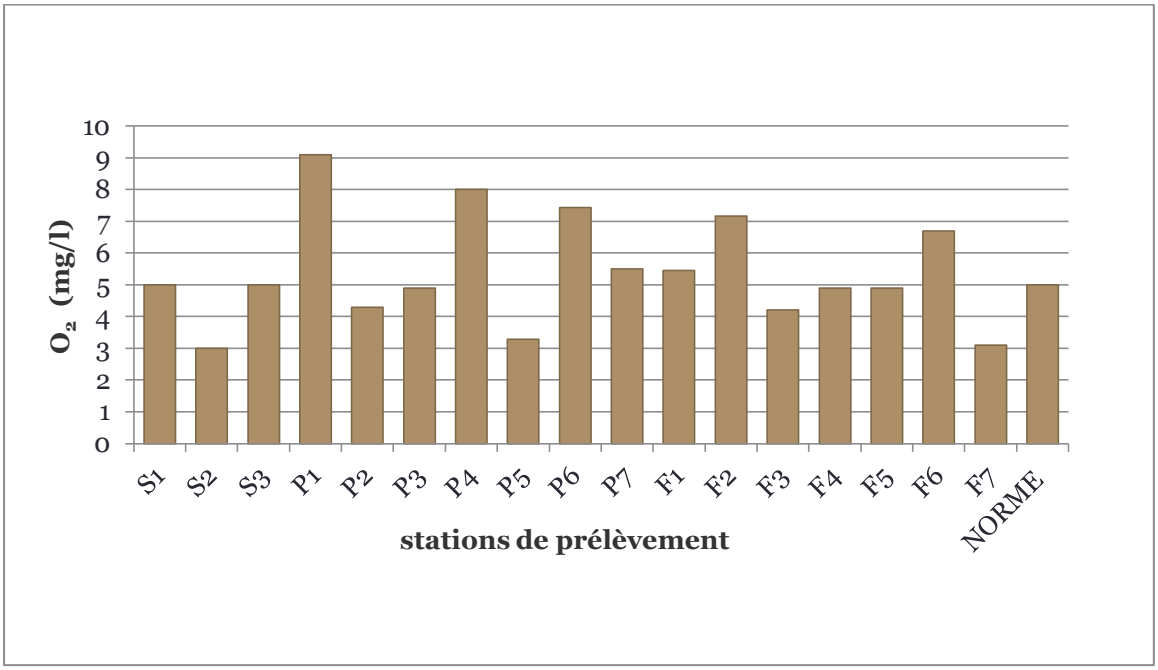


Fig.33 : Variation spatiale des concentrations en oxygène dissous

- **Demande biochimique en oxygène :**

La DBO5 (demande biochimique en oxygène), c'est la quantité d'oxygène dissous consommée par les micro-organismes, à l'obscurité à 20 °C pendant 5 jours. Elle permet l'évaluation des matières organiques biodégradables. **(M. MAKHOUKH1, et al 2011)**.

La figure 29 ; montre une augmentation de la DBO_5 des eaux de l'oued Seybouse et Méboudja, en effet, les valeurs de la concentration en DBO_5 varient entre 3 mg/l (P5) et 26 mg/l (S2). La partie avale de la zone d'étude reçoit alors les eaux usées brutes riches en matières organiques et en substances nutritives provenant des agglomérations urbaines, ce qui provoque un accroissement considérable de la charge organique des eaux superficielles dans un espace restreint. Cependant les autres stations qui sont en général loin de toutes influences externes présentent encore des

eaux d'excellente qualité (F1, F2…F7), notre cas s'explique principalement par la profondeur du niveau statique identifiée entre 9 et 15 m dans la zone où s'implantent les forages. L'augmentation des teneurs en DBO5 est peut être expliquée par l'instauration des conditions de dégradation de la matière organique par les microorganismes dont l'activité s'intensifie avec la diminution de la vitesse d'écoulement et avec le réchauffement des eaux. Cette activité, consommatrice d'oxygène, est à l'origine de l'autoépuration des eaux **(BREMOND et al, 1973)**. Le cas dans les points de prélèvements S2 et S3.

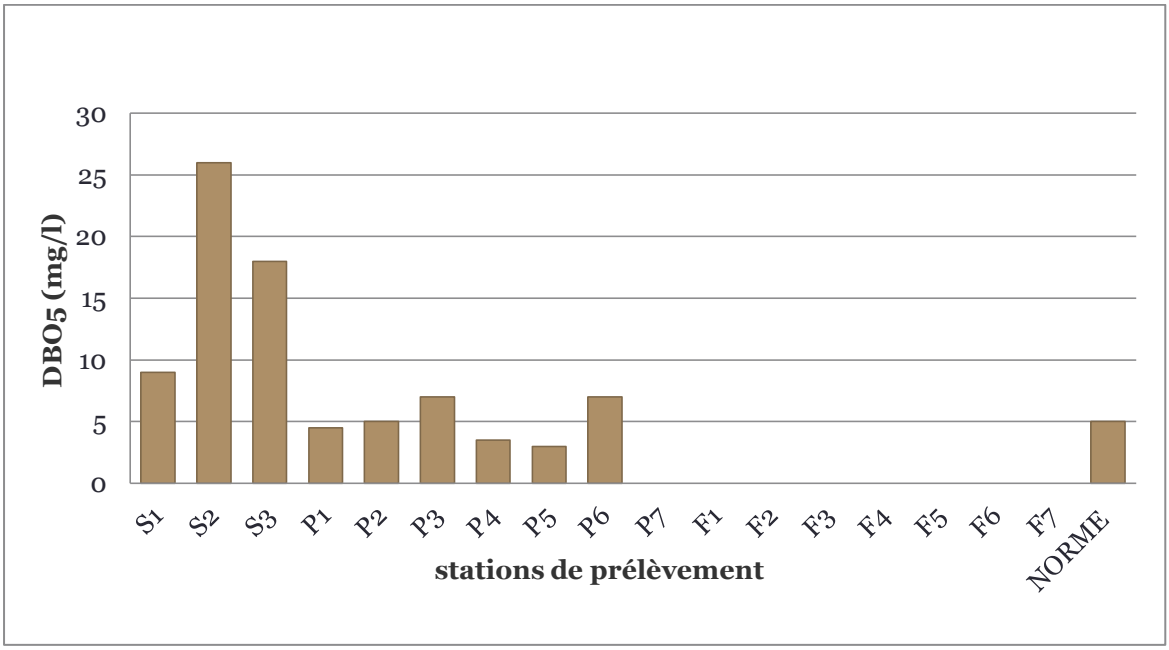


Fig.34 : Variation spatiale de la DBO_5

- **Demande chimique en oxygène(Fig.35) :**

La demande chimique en oxygène (DCO) permet également d'évaluer la charge polluante des eaux représente la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau, ce qui inclut celles qui sont biodégradables. Les différentes mesures de la DCO effectuées sur la période sélectionnée (octobre 2014) révèlent une grande fluctuation de la teneur en matières oxydables, en certains points, on relève des valeurs dépassant la norme. Ces valeurs élevées peuvent être le résultat d'une grande concentration en ammoniac des gaz issus de la fabrication des engrais, surtout dans les stations de prélèvement avoisinantes de l'oued Seybouse (S8, S10 et S13) qui dépassent la norme OMS fixée à 80 mg /l **(OMS 2002)**. La grille des normes

permet alors de classer les eaux des forages et la majorité des puits d'excellente qualité (F1, F2… F 7, P1, P3…..P7)

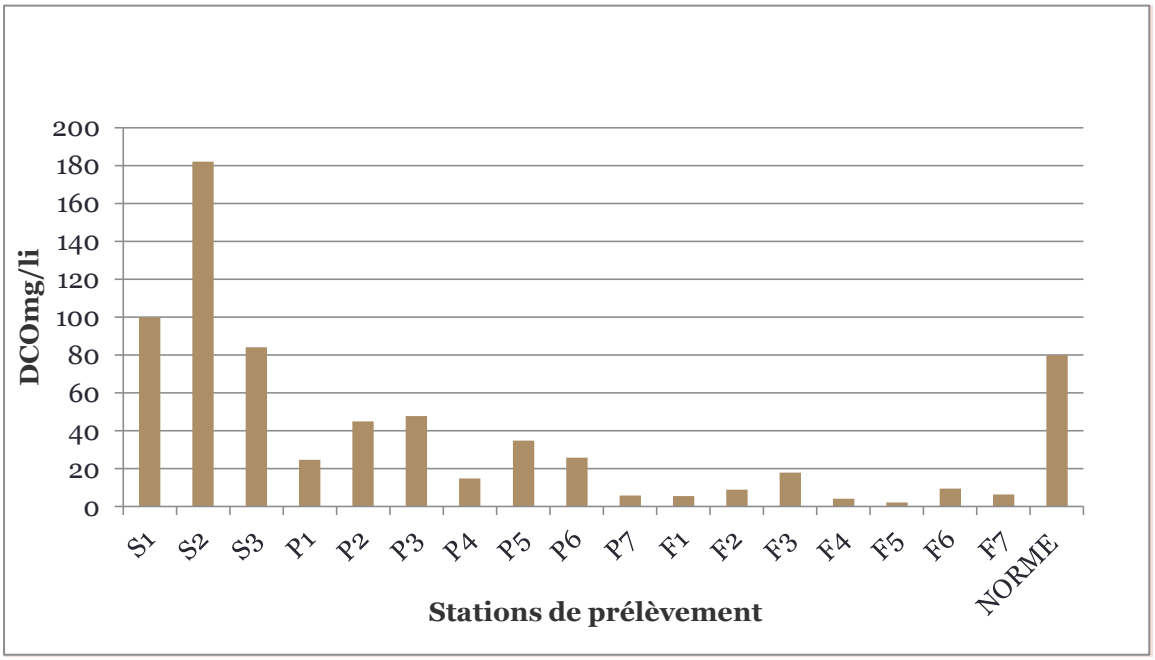


Fig.35 : Variation spatiale de la DCO

- **Les composés azotés (Fig.36) :**

L'azote est un élément essentiel à l'édification de la cellule vivante. Il est considéré comme indicateur majeur de la pollution organique. Il se présente sous deux formes : organique (protéines, acides aminés, etc.) et minéral (ammonium, nitrites, nitrates, etc.). Les formes d'azote étudiées dans la présente étude sont : l'azote ammoniacal (NH_4^+) nitrates ($N0_3^-$) et les nitrites(NO_2).

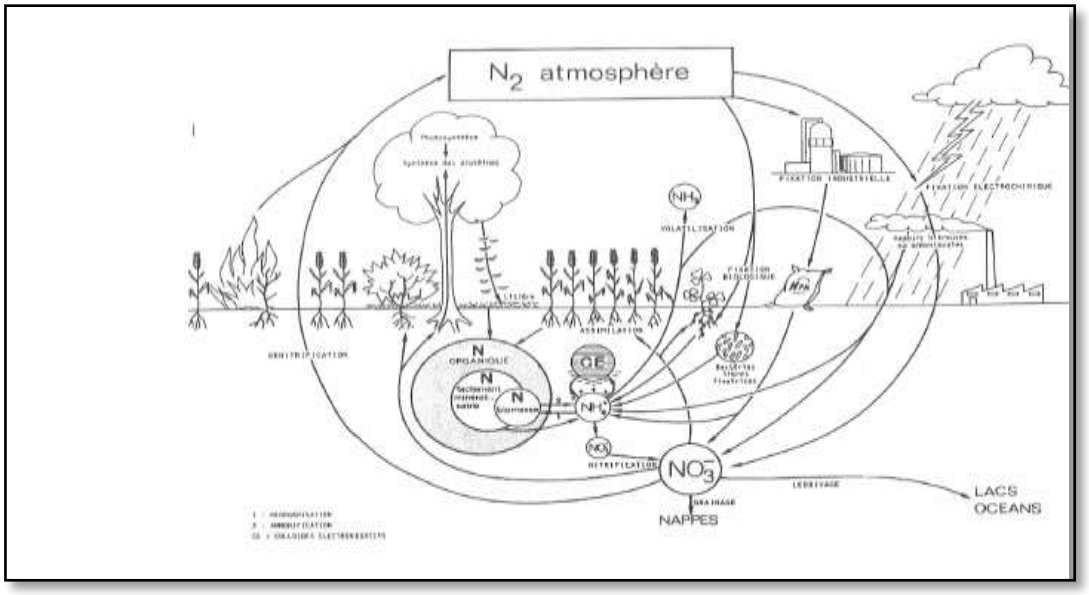


Fig. 36:Cycle de l'Azote. (MARIOTTI, 1982).

- **Les nitrates :**

Les nitrates (NO_3^-) naturels présents partout dans l'environnement, sous forme des ions, les microorganismes existent dans les plantes, le sol ou l'eau détruisent l'azote par oxydation et dans une moindre mesure, par les décharges électriques comme la foudre **(BEATSON, 1978).**

Les sources de nitrates dans l'eau(en particulier les eaux souterraines) comprennent les matières animales et végétales en décomposition, les engrais agricoles, le fumier, les eaux usées domestiques et les formations géologiques contenant des composés azotés solubles **(ADAM, 1980)**. D'après la règlementation algérienne **(JORA, 2011)** et les normes européennes **(N.E, 1998),** il est recommandé pour le cas des nitrates, une valeur maximale de 50mg/l dans une eau destinée à la consommation. Leurs concentrations dans les eaux naturelles sont comprises entre 1 et 10 mg/l **(UNEP/MAP/MEDPOL. 2004)**.

Les résultats de notre étude ont révélé que ,les eaux de la zone d'étude, ne sont pas soumis à un risque de pollution par les nitrates, à l'exception des eaux de surface, de l'oued Méboudja et de quelques sites dans les eaux souterraines (zone avec une pratique agricole importante), les valeurs enregistrées au cours des essais, y compris d'un minimum de 2,4 mg/l et un maximum de 74 mg/l (Fig. 37).

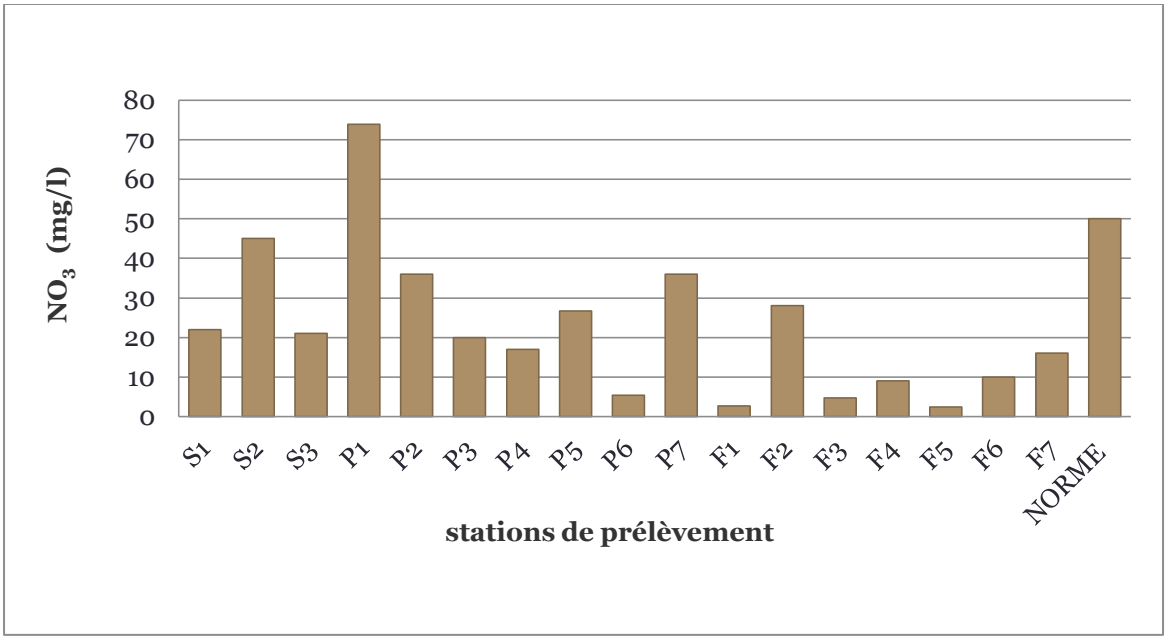


Fig.37 : Variation spatiale des concentrations en nitrates

- **Nitrites :**

Ils sont également assez largement présents, mais à des proportions bien moindres que les Nitrates, sont les produits provenant d'une oxydation incomplète des matières organiques. Se retrouvent dans la plupart des produits alimentaires, dans l'atmosphère et dans une grande partie des eaux. Les fortes teneurs correspondent à la réduction des nitrates en nitrites par les anaérobies sulfito-réducteurs. Et aussi liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, dont la concentration des nitrites ne doit pas dépassée 0.10 mg/l dans les eaux souterraines **(RODIER ,1984**).

Il n'y a aucune différence significative, entre les valeurs des nitrites des différentes sources d'eaux étudiées. Presque toutes ces valeurs sont en dessous de la norme de l'OMS, valeur qui est (0,1 mg/l), tandis que les prélèvements de l'oued S1 (0,9 mg/l), S2 (2,1 mg/l), S3 (0,6 mg/l) et le puits de Chebaita P1 (0,55 mg/l) secteur ayant une activité agricole intense (Fig.38).

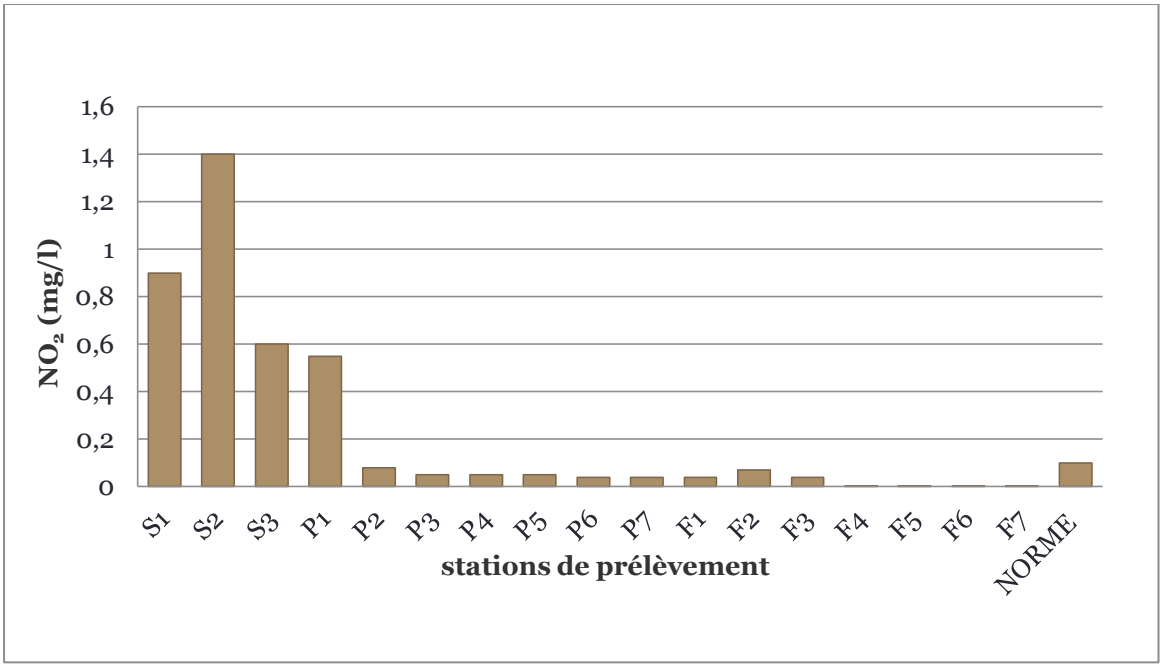


Fig.38 : Variation spatiale des concentrations en nitrites

- **Ammonium :**

L'azote ammoniacal constitue un des cycles complexes de l'azote dans son état primitif. Il existe en faible proportion sous forme de gaz soluble dans l'eau, inférieure à 0,1mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles. Il est considéré comme un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains. Dans les eaux superficielles, il provient de la matière organique azotée et des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère **(CHAPMAN et al, 1996)**.

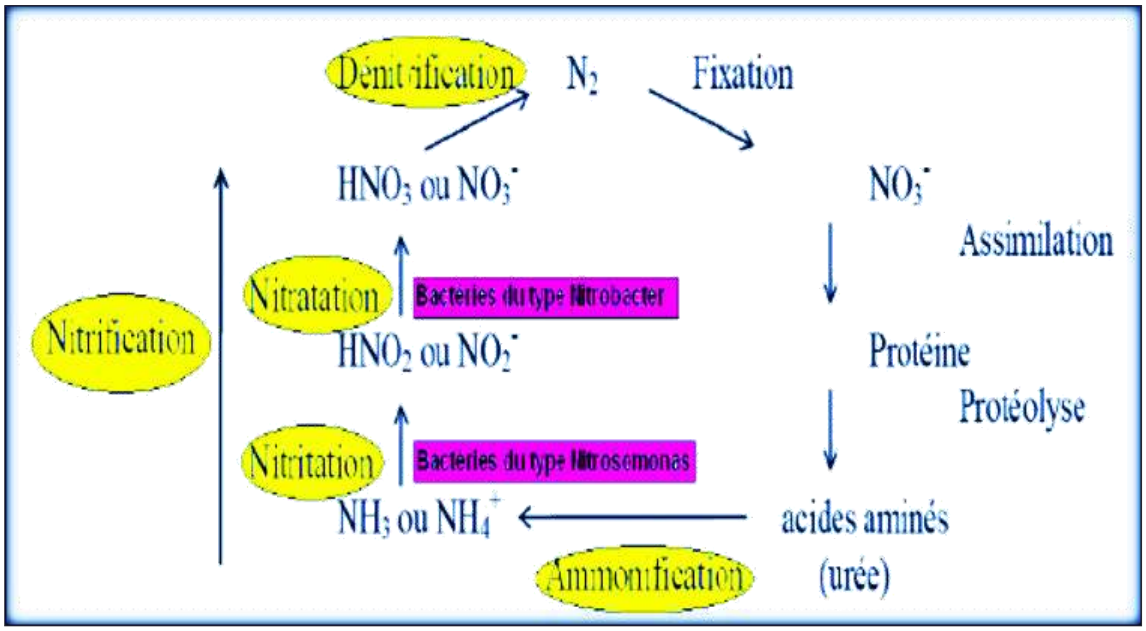


Fig.39: cycle de l'azote d'après RECOU et al, 1997

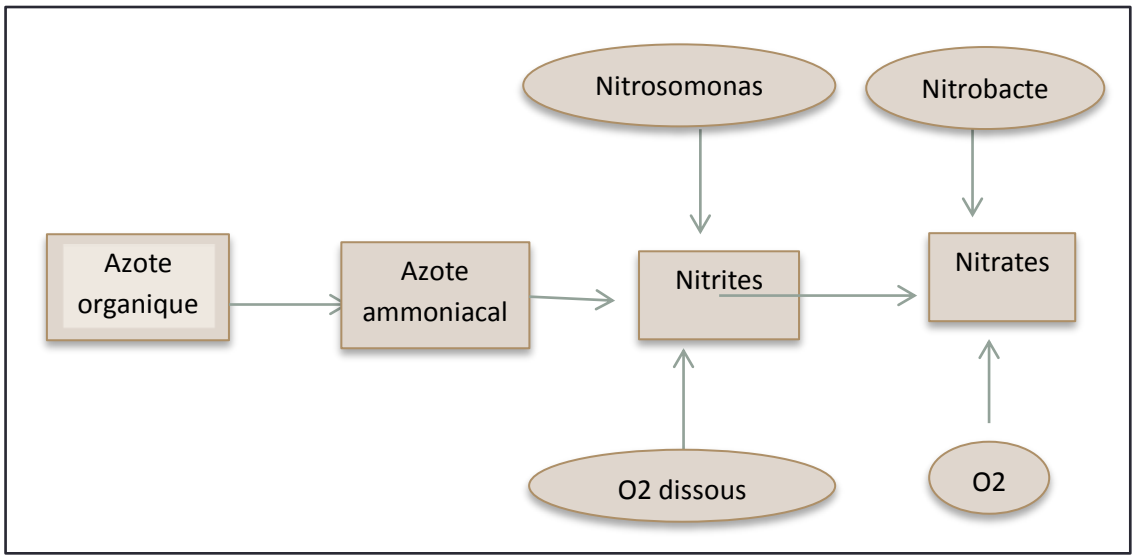


Fig. 40: Oxydation de l'azote ammoniacale

Les 'échantillons prélevés sont de très faibles à nulles concentrations, sauf, dans les eaux de surface, qui sont très élevées, en particulier à la station d'échantillonnage située à la sortie du complexe sidérurgique d'El Hadjar et la zone industrielle (S2 8mg/l), cependant on note au niveau du point F1 une concentration est de 2.81mg /l due probablement à la décomposition incomplète de la matière organique.

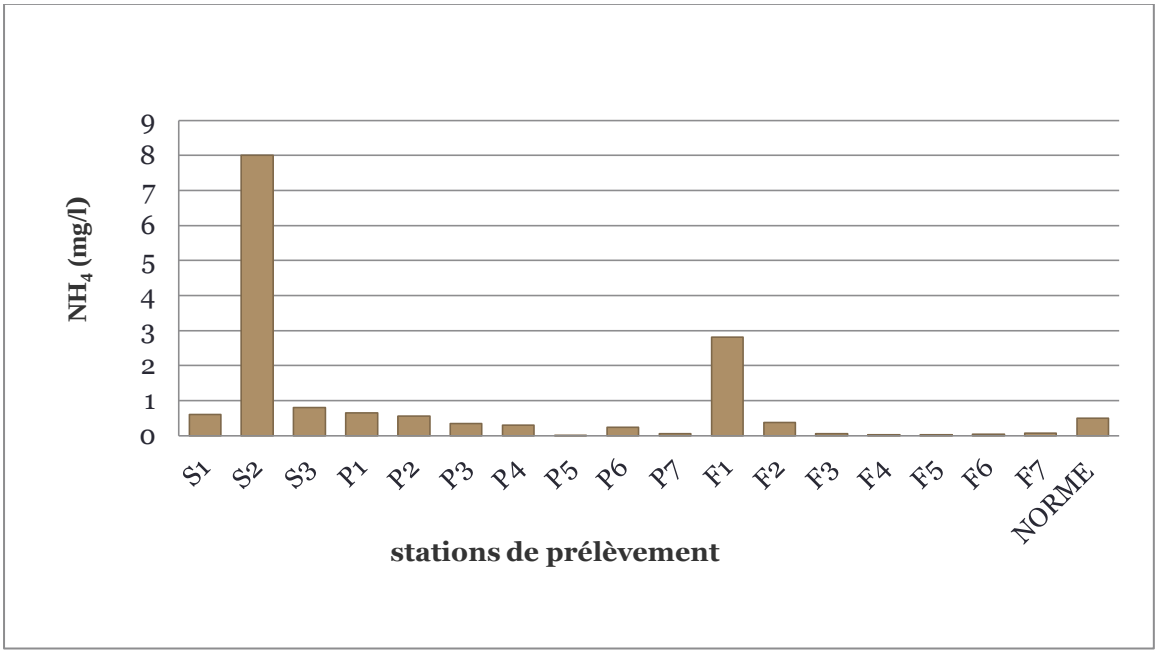


Fig.41 : Variation spatiale des concentrations en ammonium

- **Les phosphates :**

Le phosphore, l'un des nutriments importants, peut se trouver sous différentes formes oxydées. C'est un élément de base des acides nucléiques ADN et ARN. Il participe à la distribution de l'énergie dans le corps humain **(CLAUDE et al, 1998)**, et représente un élément biogène indispensable à la croissance des algues. Les teneurs élevées de cet élément dans les eaux de surface peuvent entraîner leur eutrophisation. Cependant, ils ont un effet bénéfique en jouant un rôle régulateur : ils favorisent tous les phénomènes de fécondation, la mise à fruit et la maturité des organes végétatifs **(VILAIN, 1989**). On peut trouver le phosphate sous différentes formes oxydées, méta HPO_3, pyro $H_4P_2O_7$ et ortho H_3PO_4. En milieu aqueux, la relation suivante donne les réactions chimiques entre les différentes formes de phosphate.

$$PO4^{3-} + 3\,H+ \longleftrightarrow HPO4^{3-} + 2H+ \longleftrightarrow H2\,PO4^{3-} + H+ \longleftrightarrow H_3PO_4$$

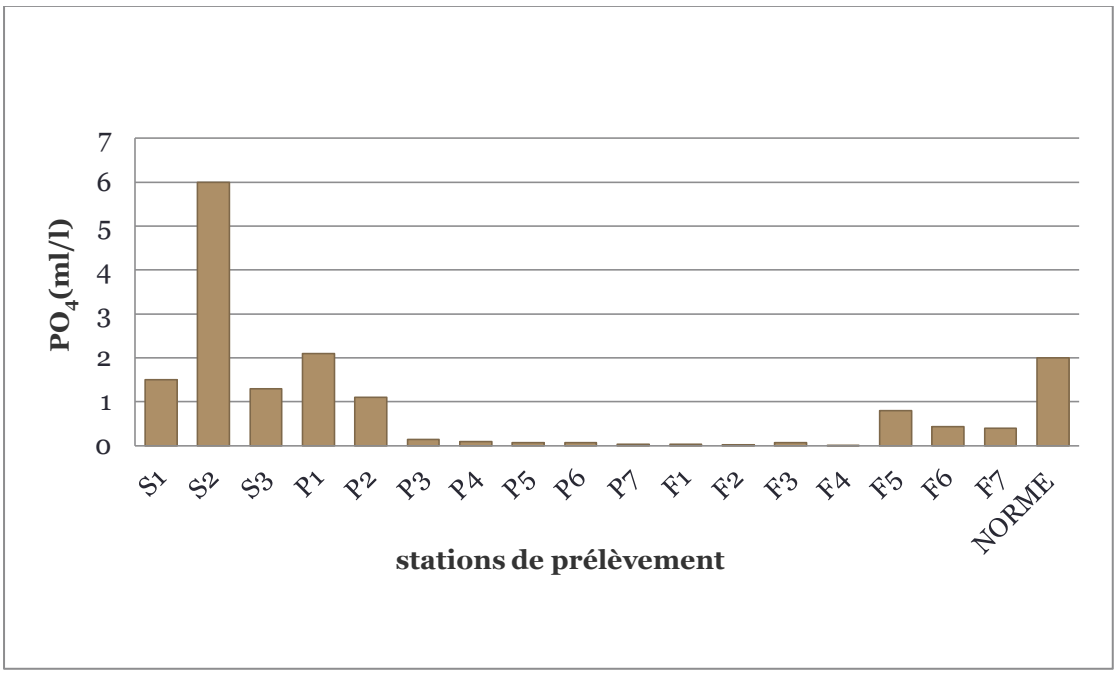


Fig.42 : Variation spatiale des concentrations en phosphate

L'analyse des résultats (figure 42) montre que dans les eaux souterraines les concentrations de la teneur en phosphates restent faibles variant entre 0,01 mg /l (F1) et 2.1mg /l (P1), les faibles teneurs enregistrées spécialement aux niveaux des forages traduisant ainsi l'effet de la dilution et témoigne d'une bonne oxygénation, et peut s'expliquer aussi par la situation du niveau statique identifié entre 9 à15m. Tandis que dans les eaux de surface sa teneur est forte et dépasse la norme des eaux

superficielles, ce qui est le cas dans l'oued Méboudja, entouré des terres agricoles où l'on pouvait remarquer des concentrations allant de 3mgl/lS1 et 6 mg/l S3 à 11mg/l S2 ; qui est peut être d'origine organique ou minéral; le plus souvent, leur teneur dans les eaux naturelles résulte de leur utilisation en agriculture sous forme d'engrais chimiques ou de pesticides

Tabl.17 : Grille de Qualité pour les eaux souterraines (OMS, 2002) :

PARAMETRE / CLASSE DE QUALITE	UNITE	EXCELLENTE (1)	BONNE (2)	PASSABLE(3)	MAUVAISE (4)
Chlorures	mg/l Cl	< 25	25 à 200	200 à 250	> 250
Ammonium	mg/l NH_4	< 0.05	0.05 à 0.5	0.5 à 4	> 4
Nitrates	mg/l NO_3	< 10	10 à 20	20 à 40	> 50
Nitrites	mg/l NO_2	< 0.01	0.01 à 0.1	0.1 à 3	> 3
Phosphates	mg/l PO_4	< 0.01	0.01 à 0.1	0.1 à 3	> 3

Tabl.18:Grille de Qualité pour Les eaux superficielles (OMS, 2002) :

PARAMETRE / CLASSE DE QUALITE	UNITE	EXCELLENTE (1)	BONNE (2)	PASSABLE (3)	MAUVAISE (4)
Ammonium	mg/l NH_4	< 0.1	0.1 à 0.5	0.5 à 8	> 8
Nitrate	mg/l NO_3	< 5	5 à 50	50 à 80	> 80
Nitrite	mg/l NO_2	< 0.1	0.1 à 0.3	0.3 à 2	> 2
Phosphate	mg/l PO_4	< 0.5	0.5 à 1	1 à 2	> 2
Saturation	%	> 90	90 à 70	< 50	0
DCO	mg/l O_2	< 20	20 à 30	30 à 40	>80
DBO5	mg/l O_2	< 3	3 à 10	10 à 25	> 25

D'après les normes OMS (Tabl.17, 18) et le paramètre le plus déclassant c'est-à- dire celui qui définit la classe de qualité la moins bonne on peut classer les eaux de surface et souterraines de la région de Annaba(la moyenne Seybouse),en quatre classes différentes de très bonne et bonne à mauvaise et très mauvaise dont la

pollution occupe plus de la moitié de la plaine et se localise dans les parties Nord et centre. Cette pollution est due à l'intensité des activités agricoles et industrielles, tel que les rejets urbains des eaux usées et les engrais chimiques. Le faible degré de la pollution peut s'expliquer par des différents facteurs parmi lesquelles la profondeur et la lithologie de la zone (fig43).

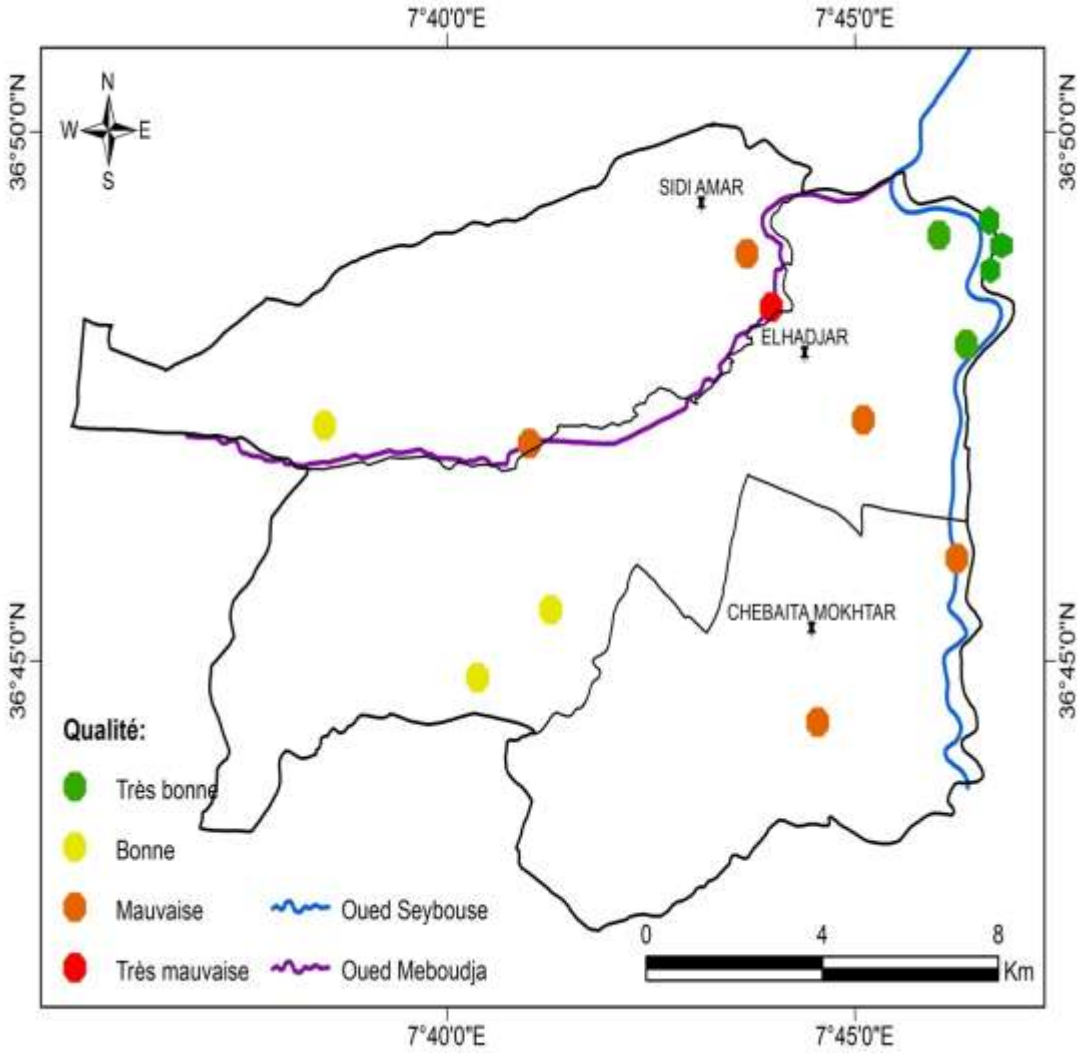


Fig.43 : Carte de la qualité des eaux de la région d'Annaba

3. Sol -zone non saturée - nappe :

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique et biologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'Homme et ses activités. Elle perturbe parfois considérablement la composition physico-chimique des eaux de surface, ces dernières

sont le vecteur principal de transport de ces substances dans les nappes souterraines. Elle change les conditions de vie de la flore et de la faune aquatiques, aussi compromet-t-elle les utilisations de l'eau et l'équilibre du milieu aquatique. Cette perturbation provient :

-Des rejets domestiques, surtout constitués de matières organiques (graisses, déchets organiques divers), mais aussi de produits chimiques (poudres à laver, détergents) qui sont à l'origine d'apports de phosphates et de nitrates dans les eaux usées.

-Des effluents industriels pouvant causer des pollutions organiques (industries agro-alimentaires, papeteries), chimiques (tanneries, usines textiles) ou physiques (réchauffement des eaux par les centrales thermiques, matières en suspension des mines et de la sidérurgie).

-Enfin, l'épandage d'engrais mettant en cause des terrains riches en nitrates, en phosphore Leur entraînement par les eaux pluviales provoque une contamination des eaux superficielles et souterraines. Les rejets sont alors à l'origine de plusieurs types de pollution.

3.1. Evaluation du pouvoir épurateur

Il convient de connaître les fonctions et les limites de la filtration naturelle des eaux d'infiltration. : Les terrains recouvrant les zones aquifères constituent un réacteur qui contribue à épurer, selon la méthode de W.REHESE le calcul du pouvoir épurateur ça se fait comme suite :

1. le calcul de l'épaisseur de la zone non saturée (H) par la différence entre la valeur

topographique (Z) et la valeur piézométrique (Hp) par la relation : $H = Z - Hp$.

2. le calcul du pouvoir épurateur du sol dans la couverture de la zone non saturée (Md) par la relation : $Md = H \times i$

Avec : H : épaisseur de la zone non saturée en mètre;

i : indice correspondant à la formation non saturée.

D'après REHESE, la valeur de i change Selon les matériaux constituants la zone non saturée (Tabl. 19).

Si **Md > 1** : la nappe est naturellement protégée (pas besoin du périmètre de protection) ;

Si **Md < 1** : la nappe n'est pas protégée (prévoir un périmètre de protection)

3. le calcul du pouvoir épurateur du sol dans l'aquifère de la zone saturée (Mr) par la relation : **Mr = 1 –Md ;** Avec : Md : pouvoir épurateur du sol dans la zone non saturée en mètre.

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

Où : i **:** index de l'aquifère relatif à la vitesse d'écoulement (Tableau 19).

Tabl. 19 : Pouvoir épurateur du sol dans la couverture (ZNS) W.REHSE (1977).

Description du matériau	**H(m)**	**i=1/H**
Terre végétale	0.8	1.25
Marne jaune à cailloutis marins	4.5	0.22
Marne bariolées à coquillages marins	3.2	0.31
Argile grise contenant des débris de coquilles	9.71	0.10
Argile grise	0.23	4.43
Terre végétale	0.9	1.11
Terre végétale tuff	1.44	0.69
Argile noire	1.12	0.89
Argile	1.46	0.68
Terre végétale	4	0.25
Argile plastique grise	0.2	5
Argile brune	2.5	0.4
Argile ocre jaune	11	0.09
Argile brune et ocre	12	0.08
Argile brune	5	0.2
Argile jaune, nombreux modules Calcaires	2	0.5
Argile brune, nombreux Galets siliceux	6	0.16

Tableau 20 : Pouvoir épurateur dans les eaux de la région de Annaba

Forage	Lithologie de couverture	E (m)	ENS (m)	NP (m)	Md
P1-HADJAR	Terre végétale	0.8	0.8	2.26	1.99
	Argile	38	1.46		
MP2 HADJAR	Argile sableuse	6	2	2	1
MP3 HADJAR	Terre végétale	1	1	2.46	1.99
	Argile	38	1.46		
P2-SIDI AMMAR	Argile brun	5	2.5	2.5	1
P2-CHEBAITA	Argile sableuse	33	2.5	2.5	1
P3 HDJAR-EDISS	Argile	1.46	1.46	7.46	1.49
	Sable fin	9	6		
F1-EL KARMA	Argile	37	1.46	1.46	0.99
F2 EL KARMA	Terre végétale	1	1	2.46	1.99
	Argile	11	1.46		
F3-PONT BOUCHET	Argile brune et ocre	23	12	12	0.96
F4- PONT BOUCHET	Argile ocre jaune	12	11	11	0.99
F5- PONT BOUCHET	Argile brune	5	2.5	2.5	1
F6- PONT BOUCHET	Terre végétale	3	0.8	2.08	2
	Argile jaune, nombreux modules Calcaires	50	2		
F7-LES SALINES	Terre végétale	0.8	0.8	5.3	2
	Marne bariolées à coquillages marins	4.5	4.5		
F8-LES SALINES	Argile grise contenant des débris de coquilles	37	9 .71	9.71	0.97

F9-LES SALINES	Argile grise	37	0.23	0.23	1.01
F10-LES SALINES	Terre végétale	0.8	0.8	2.24	1.99
	Terre végétale tuff	3.40	1.44		
F11-LES SALINES	Argile noire	38	1.12	1.12	0.99
F12-LES SALINES	Argile	2	1.46	1.46	0.99
$_{F13}$-LES SALINES	Terre végétale	4	0.8	1	2
	Argile plastique grise	23	0.2		
$_{F14}$-LES SALINES	Argile brune	27	2.5	2.5	1
F15	Argile ocre jaune	12	11	11	0.99
F-2	Argile brune et ocre	23	12	12	0.96
F-3	Argile brune	5	2.5	10.5	2.96
	Argile jaune, nombreux modules Calcaires	2	2		
	Argile brune, nombreux Galets siliceux	18	6		

Avec :
E : épaisseur de la couche
ENS : épaisseur non saturée de la nappe
NP : niveau piézométrique de la nappe
M_d : pouvoir épurateur sur le trajet vertical

En fonction des conditions hydrogéologiques locales, et d'après le tableau 20 on remarque une autoépuration (pouvoir épurateur très élevé) entre 0.99 et 2 et pouvant atteindre la valeur de 2.96 parce que la couche argileuse joue le rôle protecteur et sablo-argileuse donne l'autoépuration suffisante , ainsi la détermination d'un périmètre de protection n'est pas nécessaire donc on va donner d'autre hypothèse du transfert d'un polluant ,de la surface du sol jusqu'à la profondeur .Il est donc nécessaire d'effectuer d'abord une étude d'évaluation de la qualité de l'eau et de disposer des méthodes permettant une approche globale des problèmes de pollution, en vue de prendre des dispositions de prévention et de protection nécessaires.

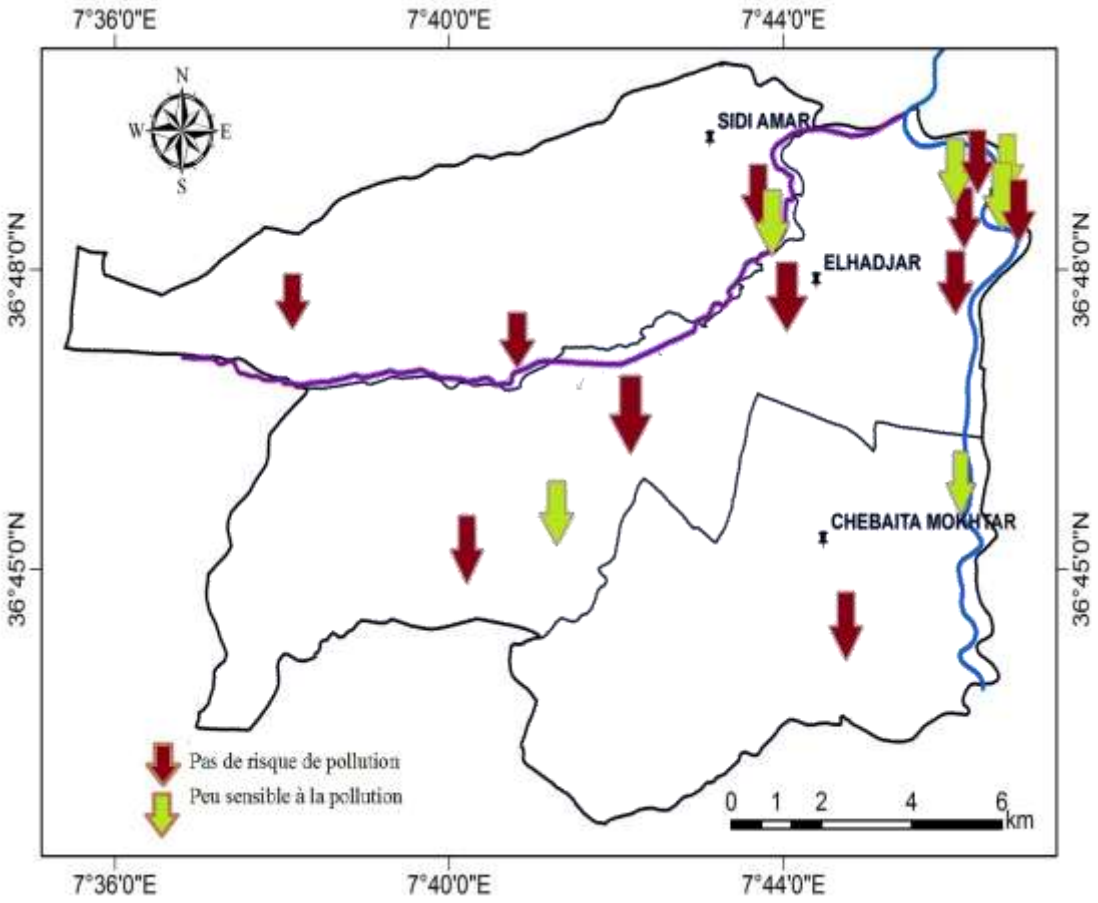


Figure. 44 : La carte du pouvoir épurateur sur le trajet vertical M_d.

3.2. L'influence de la profondeur sur la qualité des eaux :

La qualité des eaux, d'une façon générale, doit être évaluée aujourd'hui car on sait bien que les eaux souterraines sont vulnérables aux pollutions diffuses, qui se manifestent souvent après un temps d'accumulation **(JOURDA, 1991)**.

Les ressources de cette nappe sont menacées par l'utilisation de plus en plus accentuée d'engrais chimiques dans le domaine agricole, ainsi que par les rejets urbains et industriels en l'absence de stations d'épuration. En effet des teneurs en nitrates dépassant les normes ont été observées dans de nombreux points de prélèvements surtouts dans l'échantillonnage de de l'oued et certains puits environnants. Cette pollution est due essentiellement à l'intensification agricole, industrielle et les rejets urbains, sans aucune surveillance. Donc on peut dire que cette situation est critique. Pour atteindre l'aquifère profond verticalement, les polluants

transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacle, parmi lesquels on cite :

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

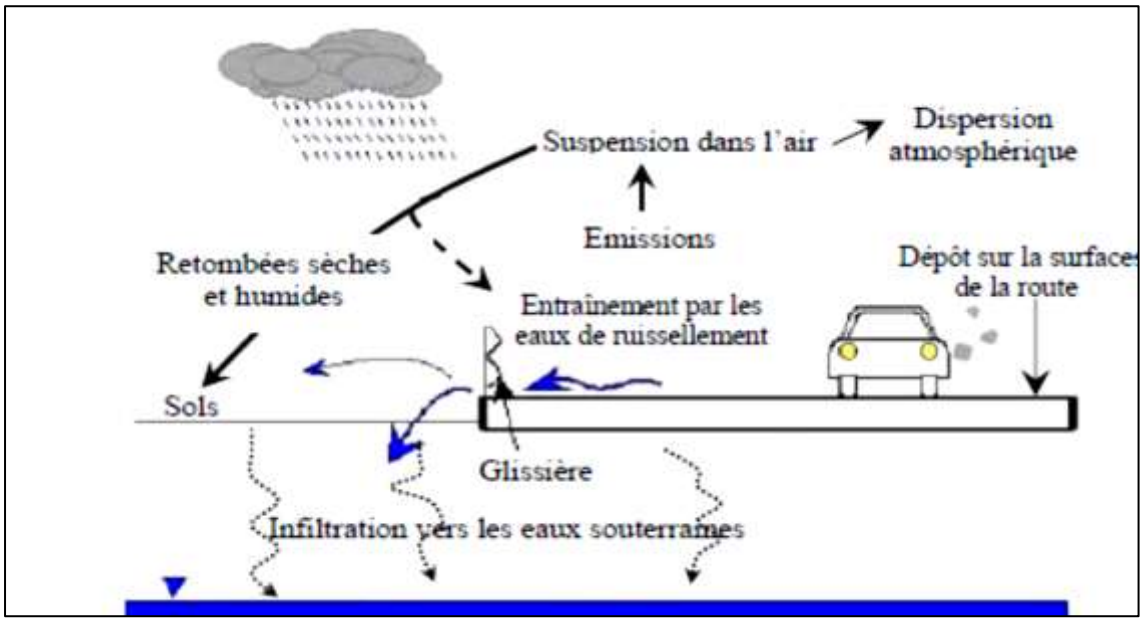


Fig. 45 : Mode de transfert des émissions polluantes vers les sols et les eaux souterraines (in ROUEBHIA, 2005)

3.2.1.Les principaux mécanismes de transport de masse de polluant :

La propagation d'élément dessous dans une nappe est sous l'indépendance des principaux mécanismes suivants :

-La convection : qui est l'entrainement d'élément à la vitesse moyenne de l'eau

-La dispersion : l'étalement du panache sous l'effet de l'hétérogéniste du milieu

-Les échange avec la phase solide et la phase eau immobile : ces échange induisent un retard à l'avancement du polluant et atténuent les concentrations.

-La dégradation ou **la biodégradation** pour certain élément ; Ces mécanismes provoque une diminution de la concentration de polluant initial durant le trajet

3.2.1. la temperature :

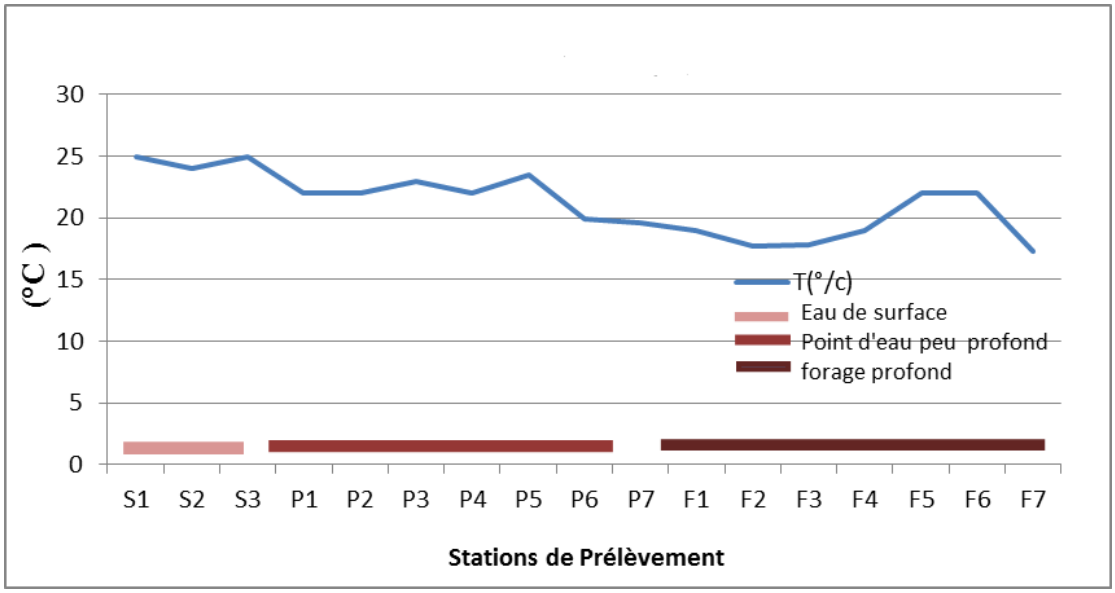


Fig. 46 : La température en fonction de la profondeur

Une température de 25C° à 28C° constitue une condition favorable pour la culture des micro-organismes, donc l'élévation de la température crée la vulnérabilité vis-à-vis de la pollution **(KACHI ,2007).** La température des eaux superficielle est plus élevée par rapport aux eaux souterraines, l'évolution de la température en fonction de la profondeur des points d'eau montre une diminution décroissante des points d'eau peu profonds qui est exploité par les puits dans notre région allant vers le piézomètre profond c'est bien les forages .Par ailleurs on note que l'influence de la profondeur sur la température se fait sentir aux niveaux des cotes d'eau profondes c'est- à dire la nappe profonde.

3.2.2. L'oxygène dissous

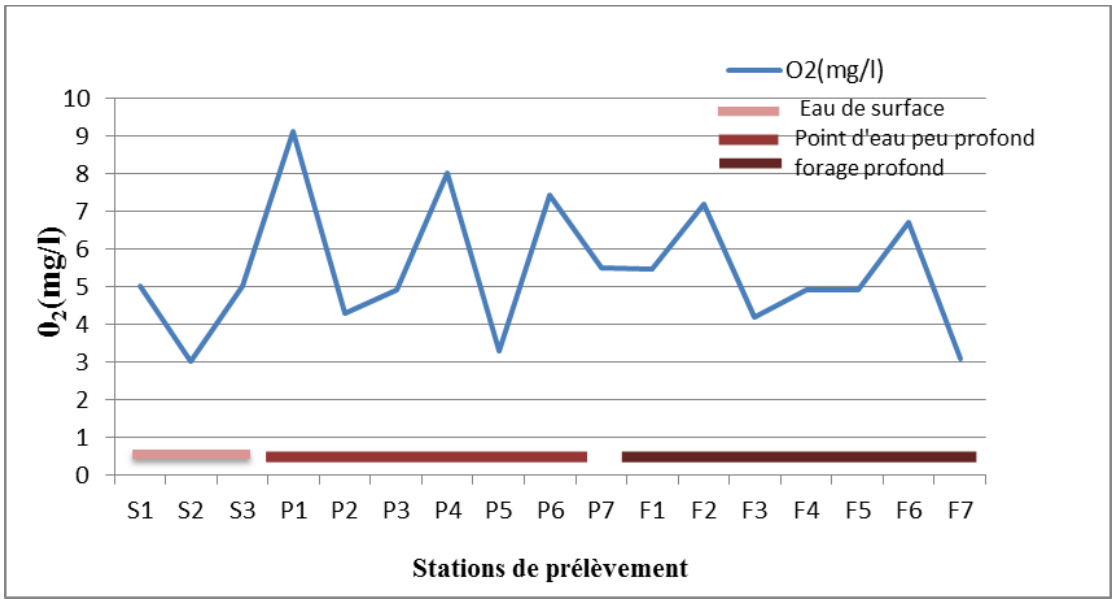


Fig.47 :L'oxygène dissous en fonction de la profondeur

L'évolution de l'oxygène dissous de la région d'étude vis-à-vis de la profondeur de l'aquifère montre les concentrations suivantes :

-une diminution de teneur en oxygène dissous dans les eaux de surface peut également être consommée par voie chimique ou organique dus aux différents rejets déversés directement dans les oueds (oued Méboudja).

-une augmentation de teneur en oxygène dissous au niveau des points d'eau peu profonds à l'exception de quelques puits qui sont peuvent être exposée à une source de pollution (P2, P5).

-une diminution de teneur en oxygène dissous au niveau du reste des points d'eau profonds.

La concentration en oxygène dissous en générale a une tendance d'une diminution vers la profondeur.

3.2.3. Les nitrates :

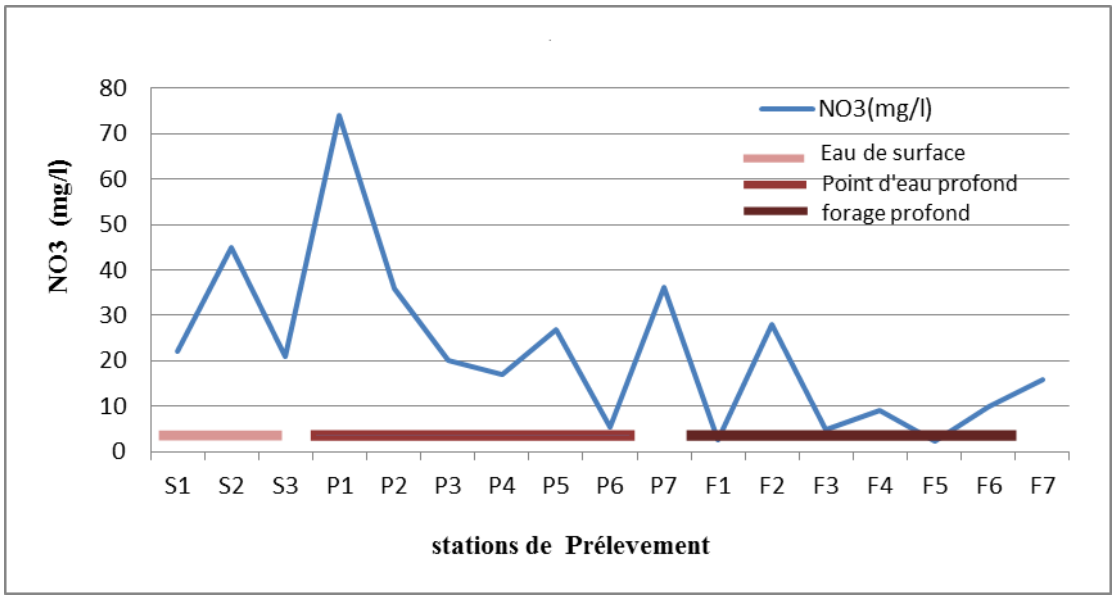


Fig.48 : Les concentrations en nitrates en fonction de la profondeur

La teneur enregistrée en nitrate selon la profondeur montre une importante variation ;

Des concentrations forte > (50 ml /l) sont observée dans les eaux de surface et les puits peu profonds de la nappe superficielle, ce qui traduit que les rejets des déchets

organique dans le sol participent à la contamination de la nappe. Dans le reste des points d'eaux qui sont profonds on observe que les teneurs généralement sont faibles.

3.2.4. Les nitrites :

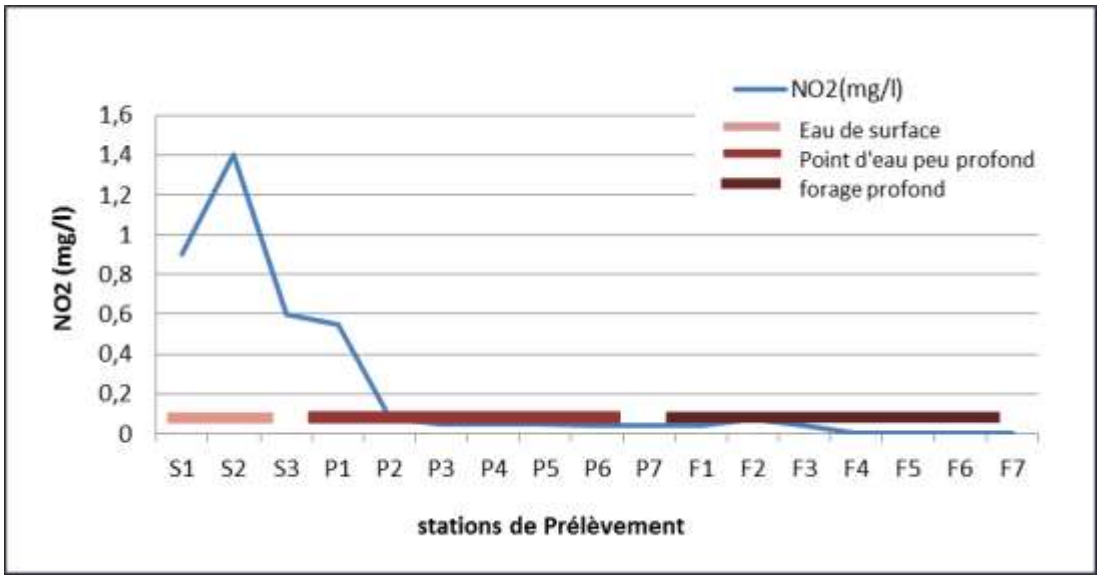


Fig.49 : Les concentrations en nitrites en fonction de la profondeur

Les plus fortes teneurs sont enregistrées dans les eaux de surface (Oued Seybouse et Méboudja) et au niveau des puits ayant une profondeur inferieur à celle des forages. . Ces différentes valeurs peuvent avoir comme origine les rejets industriels.

3.2.5. Le phosphate :

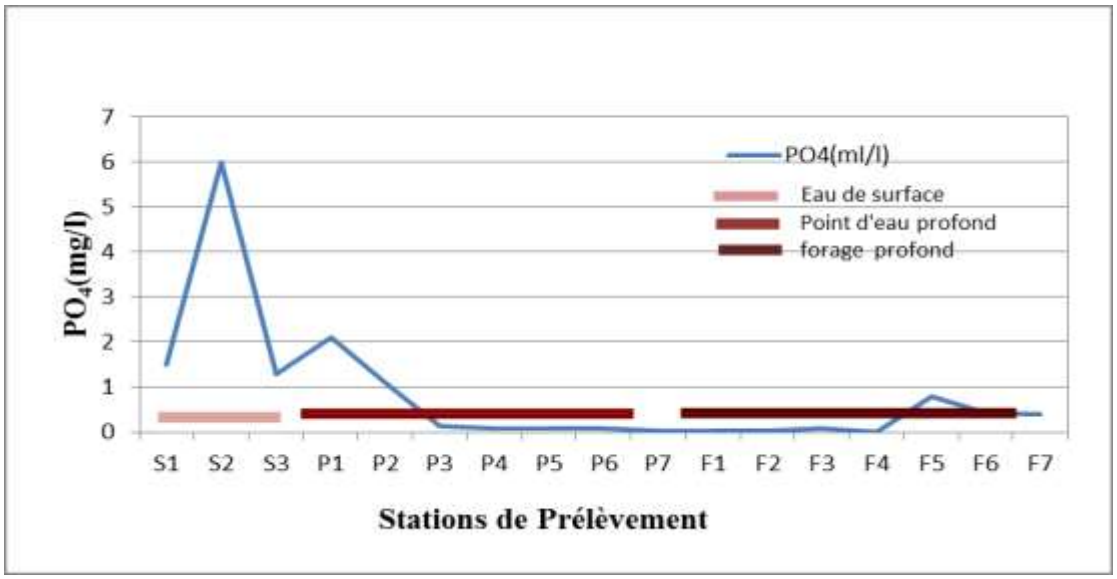


Fig.50 : Les concentrations des phosphates en fonction de la profondeur

La teneur en phosphate restent faible varient entre 0,01 mg /l (F1) et 2.1mg /l (P1) spécialement aux niveaux des forages traduisant ainsi l'effet de la dilution et indique l'état de l'oxygénation par exemple aux niveaux des forages (F5, F6, F7). La plus forte teneur est enregistrée au niveau de la station de prélèvement située sur l'oued Méboudja. Tandis que dans les eaux de surface sa teneur est forte, la plus forte teneur enregistrée est située dans l'oued Méboudja (S2, 6mg/l), qui dépasse la norme des eaux superficielles, et entouré des terres agricoles.

3.2.6. La demande chimique en oxygène :

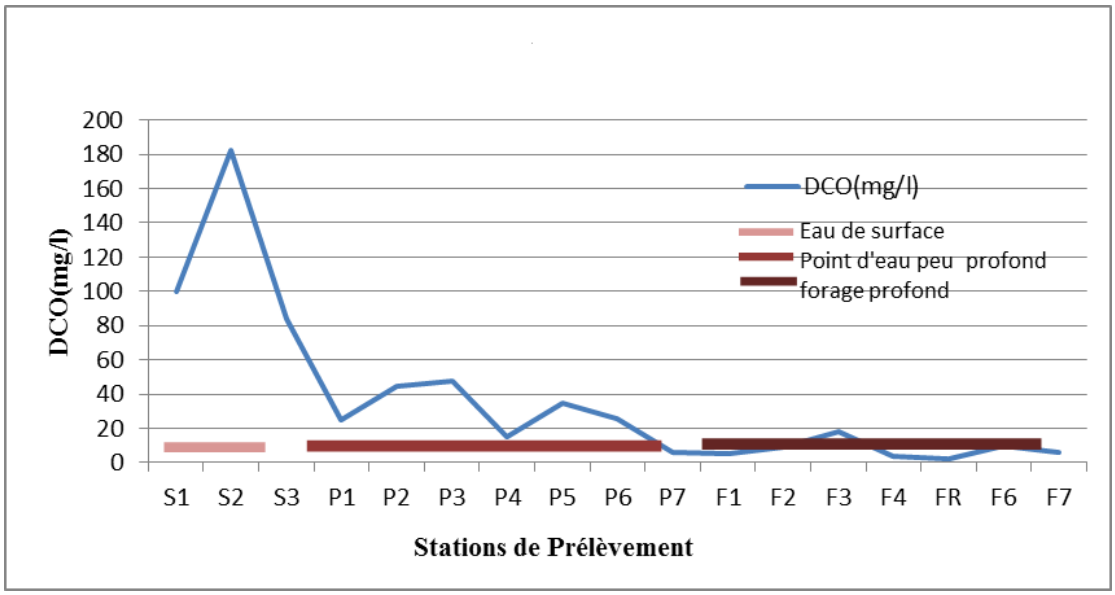


Fig.51: La demande chimique en oxygène en fonction de la profondeur

La répartition des teneurs en DCO indique que les valeurs élevées enregistrées dans les station (S1, S2, S3) peuvent être le résultat d'une grande concentration en ammoniac des gaz issus de la fabrication des engrais, mais la variation des concentrations a la tendance de la diminution vers la profondeur.

3.2.7. La demande biochimique en oxygène :

Cette activité, consommatrice d'oxygène, est à l'origine de l'autoépuration des eaux donc, les plus fortes teneurs se produisent dans les eaux de surface et des points situés à l'proximité des rejets urbains, industriels et des périmètres irrigués. Cependant les autres stations qui sont en général loin de toutes influences externes présentent encore des eaux de qualité acceptable (forages profonds), effectivement la teneur en DBO_5 diminue en allant vers les forages profonds. (Figure 52).

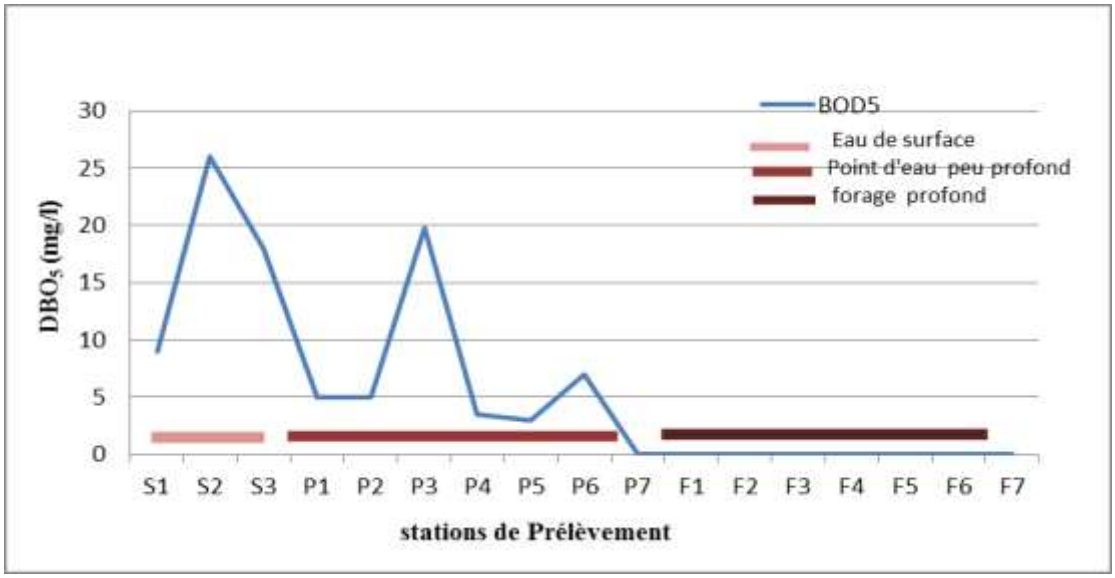


Fig.52 : Les concentrations en DBO_5 en fonction de la profondeur

3.2.8. L'ammonium :

Les variations des concentrations en ammonium dans les eaux de la région d'étude en fonction de la profondeur montrent, une augmentation au niveau des eaux de surface (les oueds), qui sont exposées directement aux déversements des rejets industriels et urbains sans aucun traitement préalable et les forages à proximité des eaux usées, avec des concentrations presque nulles dans le reste des forages. La tendance d'ammonium vers la profondeur est une diminution en générale.

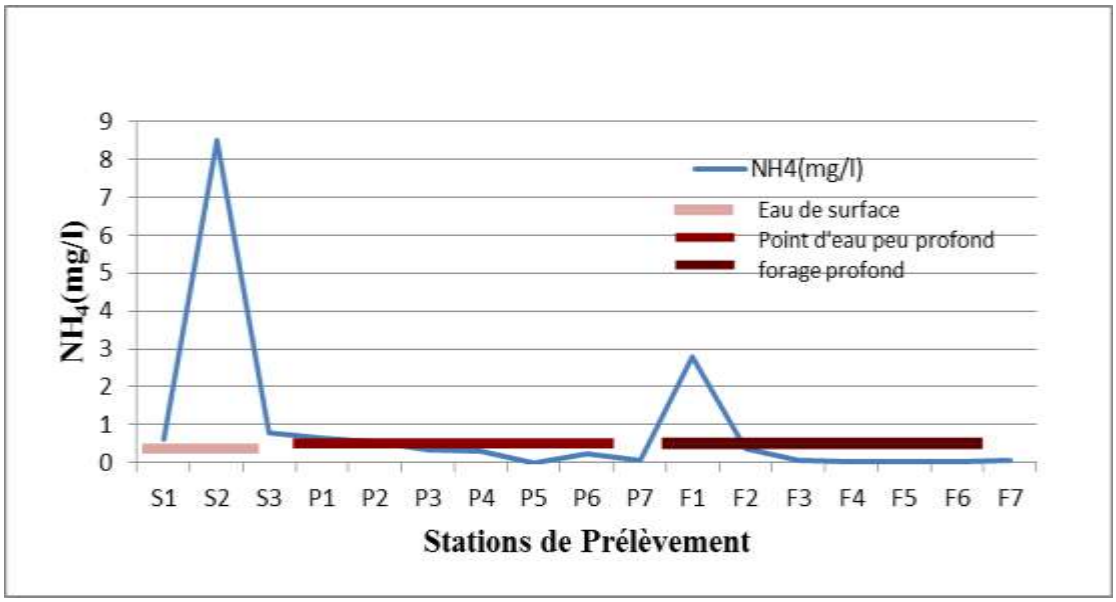


Fig.53 :L'Ammonium en fonction de la profondeur

4. Indices de pollutions

4.1. Indice de pollution organique(IPO)

Afin d'évaluer le degré d'altération de la qualité des eaux de la région d'étude par pollution organique, nous utilisons l'indice de pollution organique (IPO) dont la méthode de traitement de données est basée sur l'indice de pollution organique IPO . La classification des paramètres organiques se fait selon cinq classes de qualité correspondant aux couleurs standards **(ADOUR, 2001).** Ce dernier se calcule selon la méthode de *Leclercq* et *Maquet* (1987) dont le principe est de répartir les
valeurs des éléments polluants en 05 classes, et de déterminer à partir de ses propres mesures le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre pour en faire la moyenne paramètre pour en faire la moyenne (Tableau 21).

On peut alors calculer la moyenne des numéros de classe. Parfois les données ne sont pas toutes disponibles moins de trois éléments, dans ce cas l'indice ne peut être déterminé **(SAYAD , 2015).**

Tabl.21 : Grille de la qualité (IPO).

classes / Paramètres	Unité	5	4	3	2	1
DBO5	mgO2/l	< 2	2-5	5.1-10	10.1-15	>15
Ammonium	mg-N/l	< 0,1	0.1-0.9	2.4	2.5-6	>6
phosphate	µg-P/l	15	16-75	76-250	251-900	>900
Nitrites	µg-N/l	5	6-10	11-50	51-150	>150

Tabl. 22:Classes d'altération chimique de l'IPO

Pollution Nulle	**5,0 < I.P.O < 4,6 Pollution**
Pollution Faible	**5 < I.P.O < 4,0 Pollution**
Pollution Modérée	**3,9 < I.P.O < 3,0 Pollution**
Pollution Forte	**2,9 < I.P.O < 2,0**
Pollution très Forte	**1,9 < I.P.O < 1,0**

AVEC : $I.P.O = [DBO_5 + NH_4 + NO_2 + PO_4] / 4$

4.2. L'indice de l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (I.H.E)

Dans cette méthode il s'agit d'autres paramètres et d'autres classes, cet indice comporte cinq classes indiquant cinq niveaux de pollution (I.H.E) fait intervenir six paramètres physico-chimiques. Les classes sont numérotées en sens de celles de l'IPO ainsi, un indice élevé correspondra à une pollution importante (Tabl. 23)

Tabl 23: Intervalle des valeurs attribuées aux cinq paramètres de l'indice IHE

classes / Paramètres	unité	5	4	3	2	1
Oxygène dissout	**%**	91-110	70-89	50-69	30-49	≤ 30
DCO	Mg/l	≤5.0	5.1-10	10.1- 20	20.1-50	>50
DBO5	mg/l	≤1.0	1.1-3	3.1-5	5.1-10	>10
NH4	Mg/l	≤0.05	0.06-0.50	0.51-1.00	1.01-2.00	>2.00
PO4	Mg/l	≤50	51-100	101-200	201-400	>400
P total	Mg/l	≤50	51-100	101-200	201-400	>400

Avec : IHE = [O2+DCO+ DBO_5 + NH_4 + PO_4 +P]/6

Tabl.24: Classes d'altération chimique de l'indice de l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie

Pollution Nulle	**5,0 < I.P.O < 4,6 Pollution Nulle**
Pollution Faible	**5 < I.P.O < 4,0 Pollution Faible**
Pollution Modérée	**3,9 < I.P.O < 3,0 Pollution Modérée**
Pollution Forte	**2,9 < I.P.O < 2,0 Pollution Forte**
Pollution très Forte	**1,9 < I.P.O < 1,0 Pollution très Forte**

4.3. Lisec-Index (BECKERS & STEEGMANS, 1979) :

Cette indice comporte 5 classes et fait intervenir l'oxygène dissous en place des nitrites. Le principe est de calculer la somme des valeurs de classe et non la moyenne (l'IPO étant la moyenne). Les classes sont numérotées en sens inverse de celles de l'IPO : ainsi, un indice élevé correspondra à une pollution importante.

Tab.25 : Grille de qualité Lisec index

classes / Paramètres	Unité	1	2	3	4	5
Oxygène Dissout	**%**	91-110	71-90	51-70	31-50	≤ 30
DBO5	mg/l	3	3.1-6	6.1-9.0	9.1-15.0	>15
NH4	Mg/l	≤0.5	0.5-1.0	1.1-2.0	2.1-5.0	>5.00
P total	Mg/l	≤50	51-249	250-899	900-1499	>1500

Tabl.26: Classes d'altération chimique de Lisec index

Pollution Nulle	**4 < I.P.O < 6 Pollution Nulle**
Pollution Faible	**6 < I.P.O < 10 Pollution Faible**
Pollution Modérée	**10 < I.P.O < 14 Pollution Modérée**
Pollution Forte	**14 < I.P.O < 18 Pollution Forte**
Pollution très Forte	**18 < I.P.O < 20 Pollution très Forte**

Remarque : Calculées sur 3 paramètres au lieu de 4, les valeurs de l'indice de Lisec-Index sont multipliées par 1,33 pour ramener les valeurs à un maximum de 20.

4.4. Interprétations et discutions des résultats :

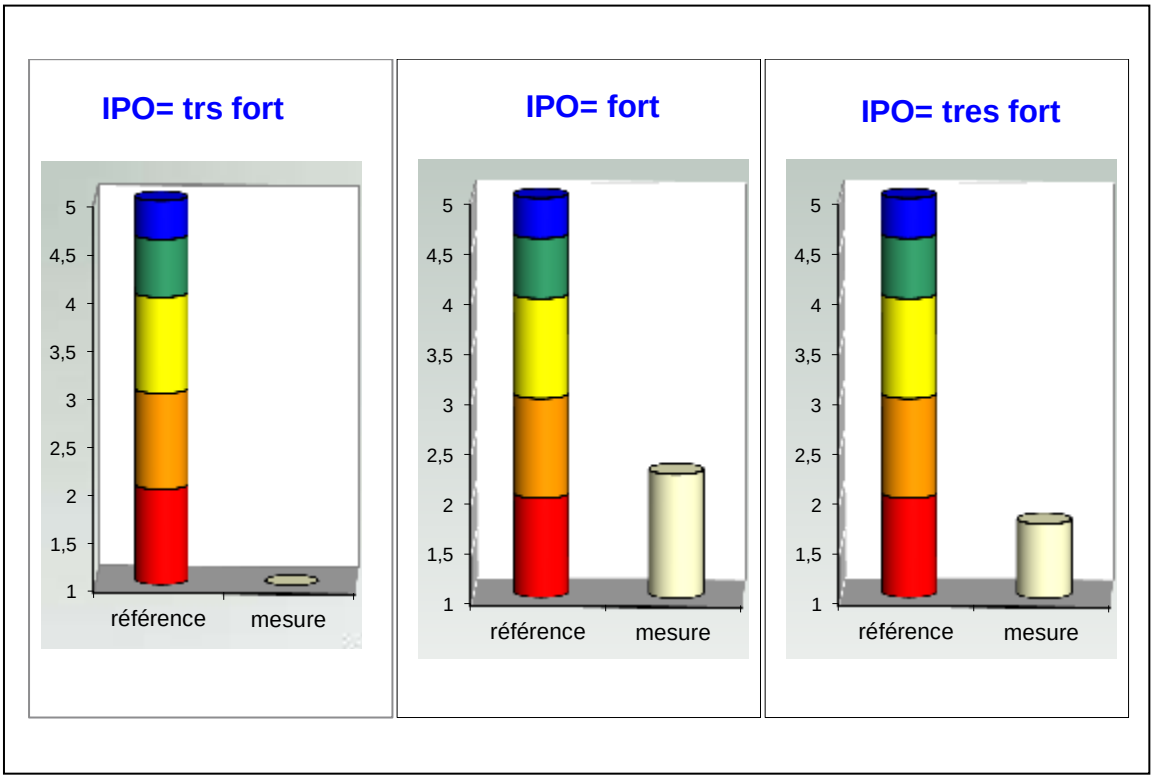


Fig.54: IPO relatif aux points de prélèvement :S1, S2, et S3

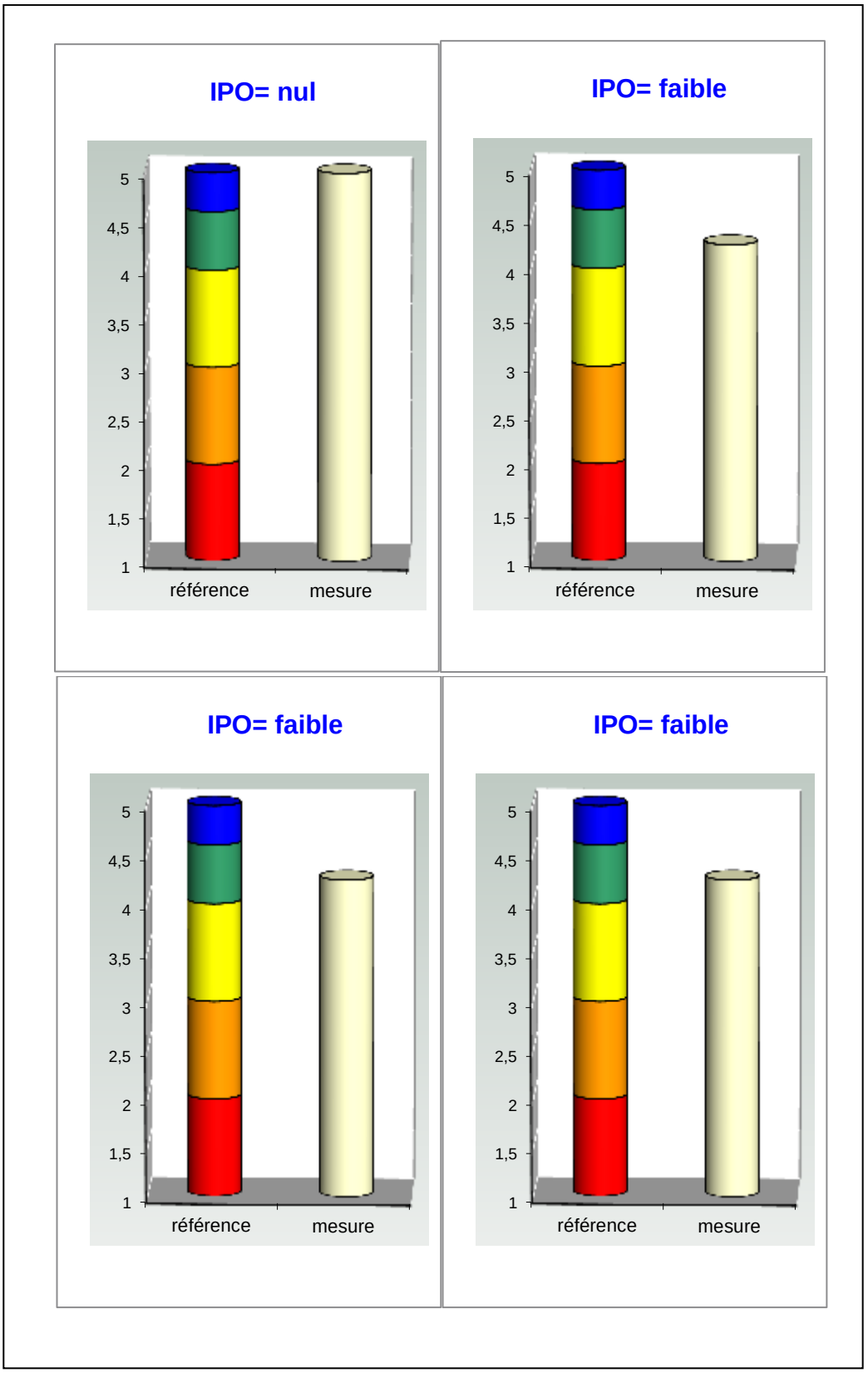


Fig.55:IPO relatif aux points de prélèvement F1, F2, F3 et F4

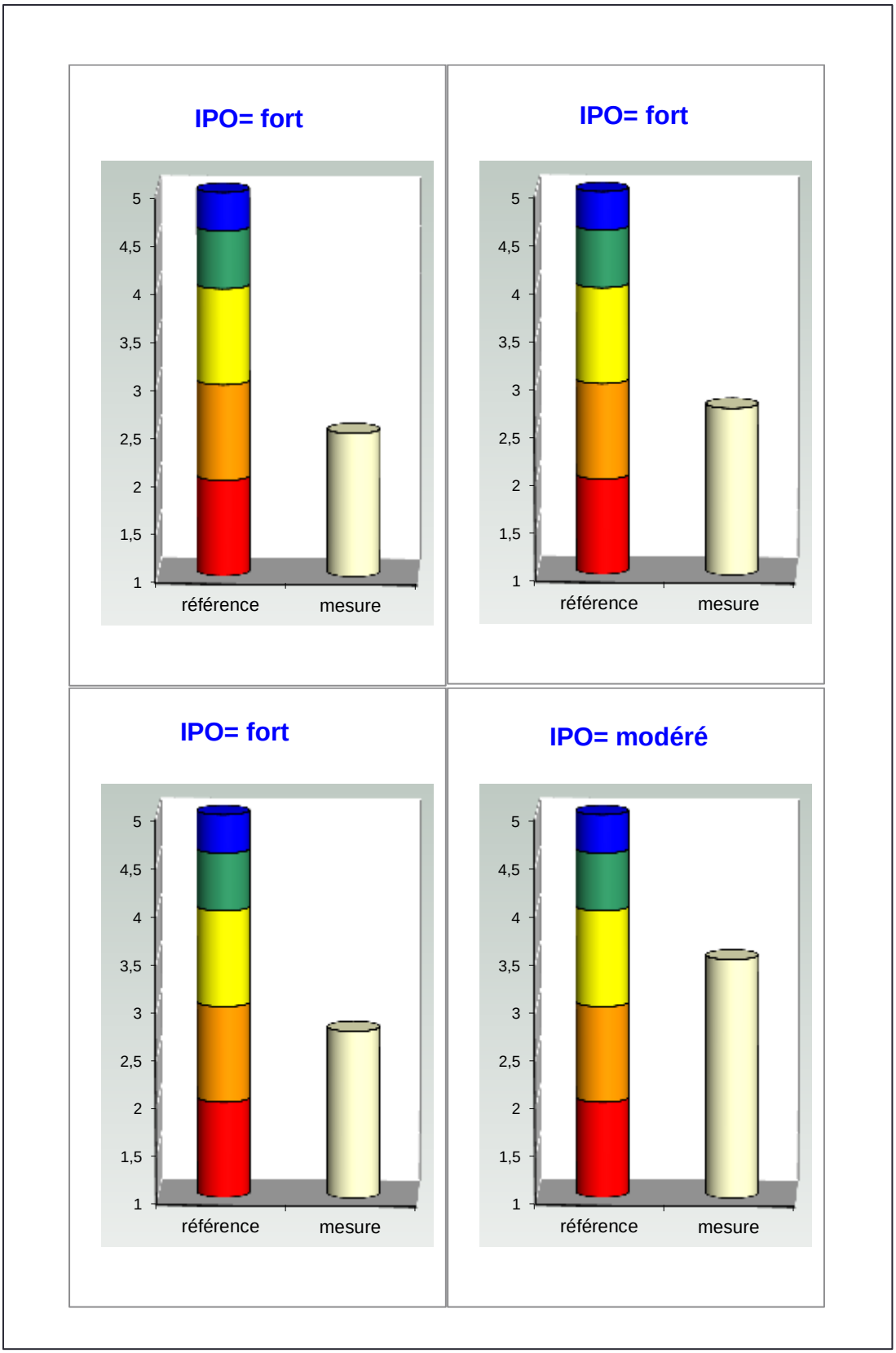


Fig.56 : IPO relatif aux points de prélèvement P1, P2, P3 et P4.

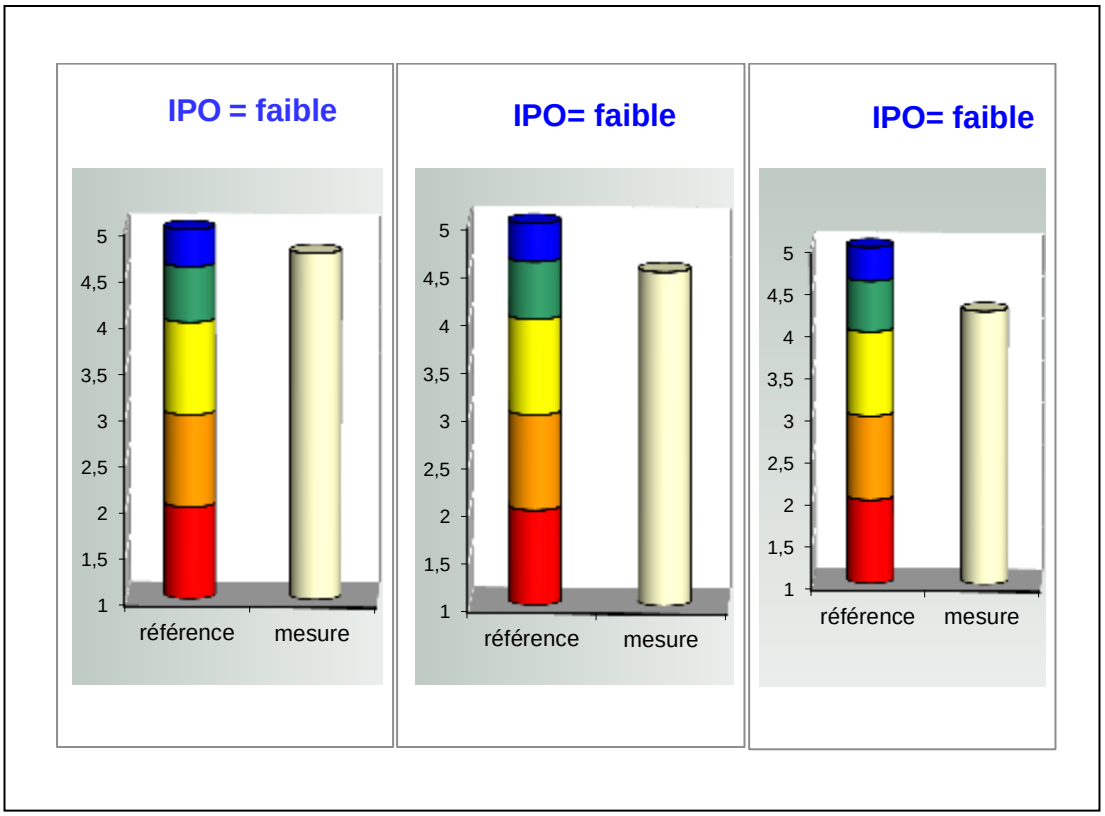


Fig.57: IPO relatif aux points de prélèvement P5, P6 et P7

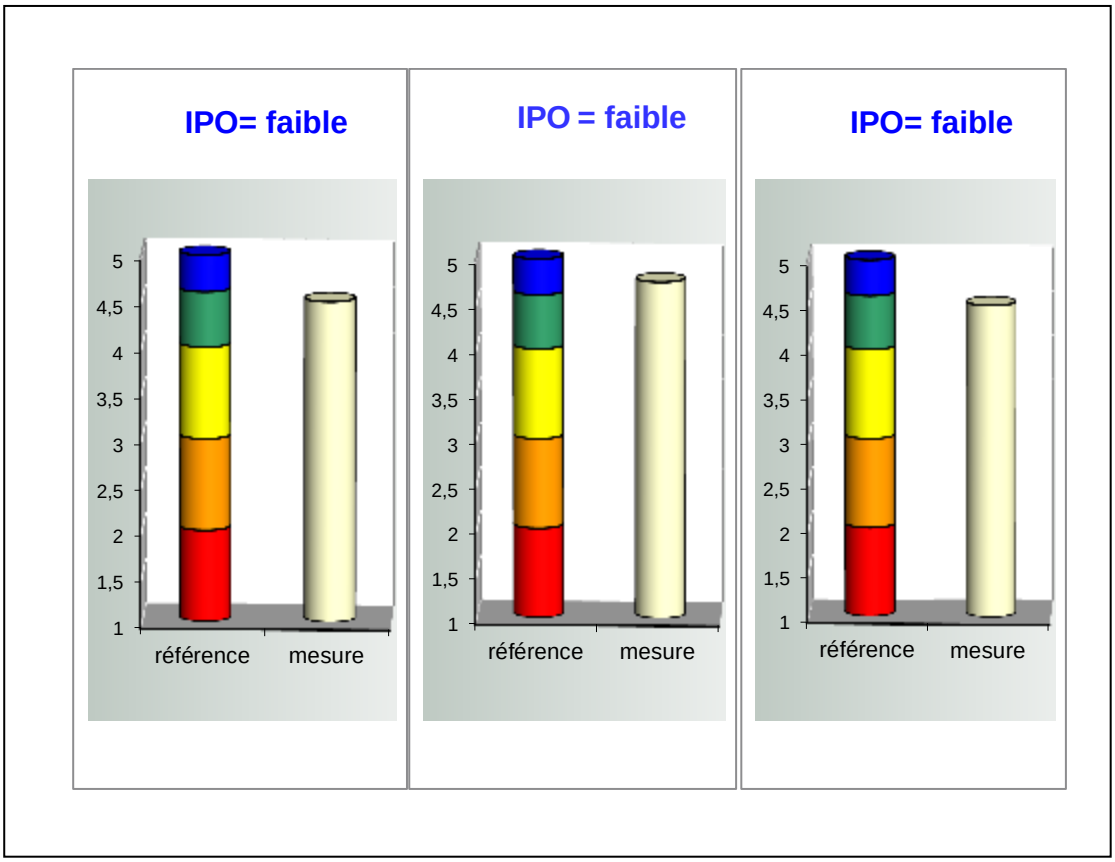


Fig.58 : IPO relatif aux points de prélèvement F5, F6, et F7

On remarque que les prélèvements de l'oued Seybouse et son affluent oued Méboudja révèlent une pollution organique importante (IPO=1, 1.75 et 2.25) due à la variation des débits d'eaux usées des différentes agglomérations dans le milieu récepteur.

L'évaluation de la pollution des eaux souterraines par l'IPO aux points p1, p2, p3, p4 montre que les eaux passent d'une pollution organique modérée p4 à pollution organique forte (IPO=2,50 à 2.75) p1, p2, p3 qui est peut être due à, la contamination de ces puits par les eaux de surface polluées et les champs cultivés proches de ces points d'eaux. Cependant le degré de pollution reste moindre par apport aux eaux de surface à cause du pouvoir autoépurateur des nappes souterraines c'est le cas au niveau des points de prélèvement F1…….. F7 où la pollution organique est totalement de faible à nul tenant compte aussi du niveau statique de la nappe d'eaux souterraine.

Tabl.27 : calcul d'Indice de pollution de l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (2014)

Points d'eau	Indice de pollution de l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie
S1	2.4
S2	2
S3	3.2
P1	3,5
P2	3.5
P3	3.5
P4	4
P5	4
P6	3.5
P7	3.5
F1	4
F2	4
F3	3.4
F4	3.6
F5	4
F6	4.2
F7	3.8
F8	3.2
F9	4.2
F10	4
F13	4.2
F14	3.9

D’après le tableau 27 les eaux de la nappe sont de pollution faible à moyenne, et relativement fort aux points proches des rejets industriels au niveau de l’oued Méboudja eau de surface bien exposée à tout type de pollution.

Tabl. 28 : Indice de pollution Lisec-Index des eaux souterraines (2014).

Points d’eau	Indice de pollution « Lisec-Index » 2013
S1	10.64
S2	11.97
S3	13.30
P1	6.65
P2	10.64
P3	11.97
P4	5.32
P5	4.5
P6	3.32
P7	3.32
F1	5.32
F2	7.98
F3	6.65
F4	5.32
F5	3.66
F6	3.30
F7	3.30
F8	3.30
F9	4
F10	3.23
F13	3.23
F14	4

Liesc-Index indique en générale que les eaux souterraines de la zone d'étude sont de bonne a très bonne qualité qui sont les points d'eaux des forages de Pont Bouchet et les salines donc les eaux sont pas altérées. (Tableau 28). Tandis que les stations de mesure S1, S2et S3 situées dans l'oued Seybouse et Méboudja sont les plus polluée représentant un indice de classe modéré « 10.64 à 13.3 », suivie de celles des puits P2,P3.

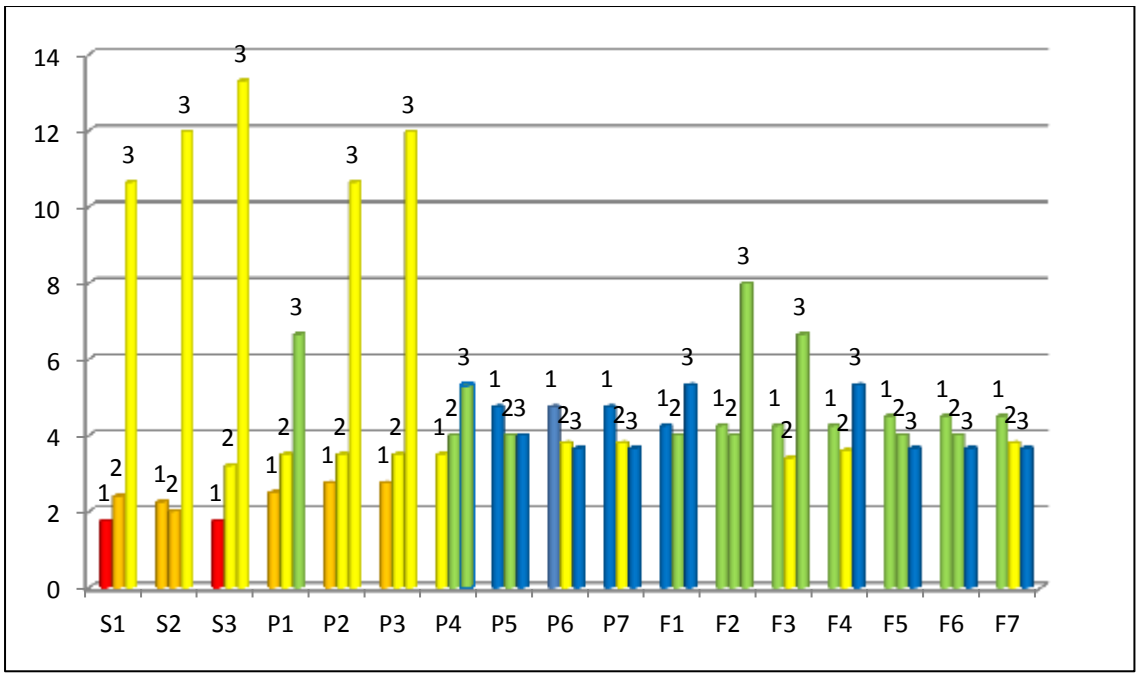


Fig.59 : Comparaison des trois indices de pollution organique calculés des eaux

A l'exception des stations des oueds qui sont exposées à des déférentes sources de pollution, l'interprétation des diagrammes de comparaissant des différents indice étudiés des eaux naturelle (Figure 51) indique le degré d'altération des eaux de la région d'étude. Notant que la qualité des eaux est évaluée et estimée d'une pollution organique modérée à pollution organique faible , donc sont de qualité moyenne à bonne .

5. Etablissement de la carte d'évaluation et sensibilité de pollution :

La vulnérabilité des eaux souterraines parmi les méthodes souvent utilisées pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines et doit être comprise comme un défaut de protection ou de défense naturelle des aquifères contre des menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques locales, donc l'idée d'établir une carte d'évaluation à la sensibilité de pollution à l'aide d'un système d'information

géographique (SIG) dans le but de garder la qualité des eaux souterraines propre sans aucune contrainte externe.

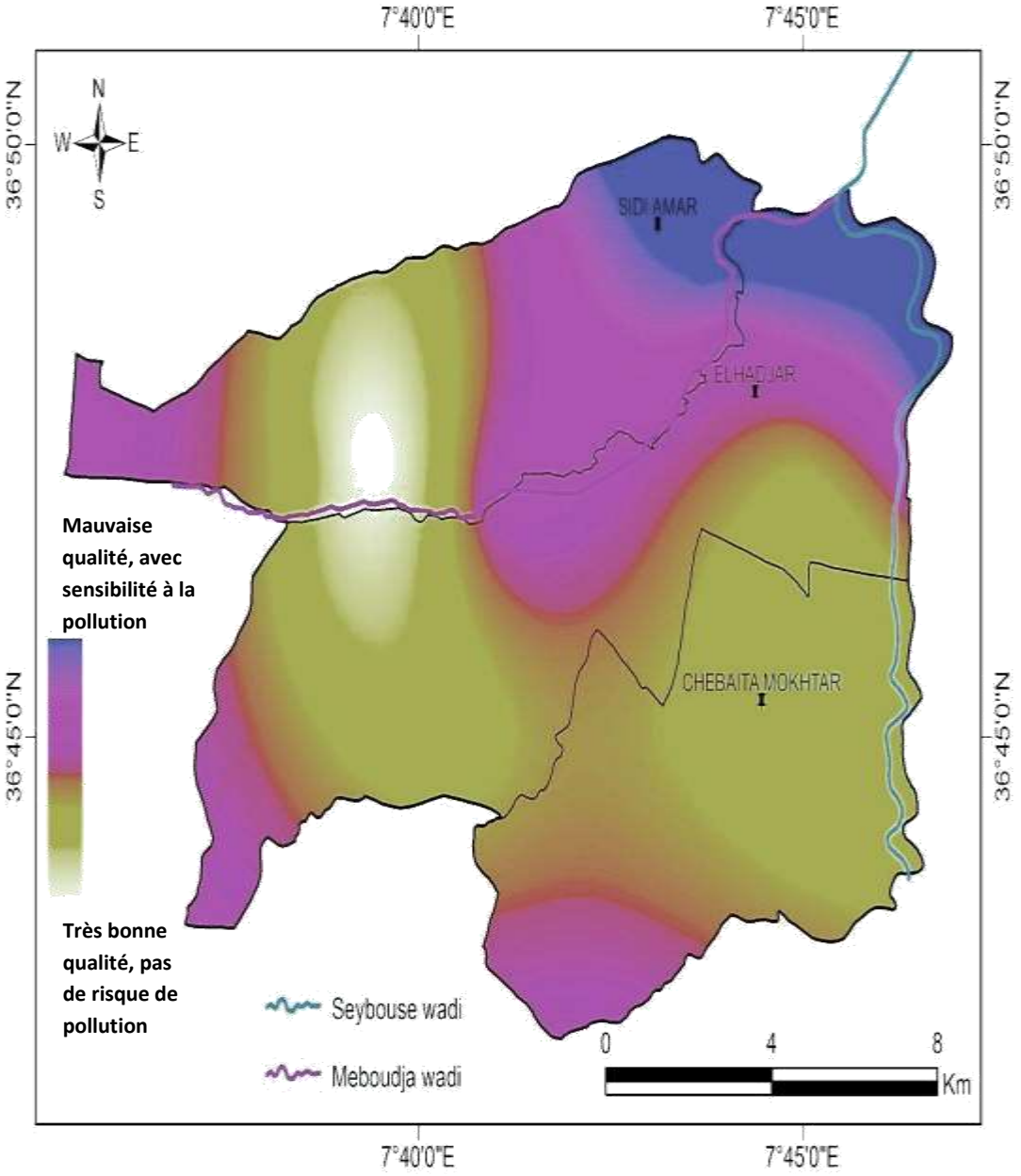


Fig.60 : Carte d'évaluation et sensibilité à la pollution des eaux

Conclusion

L'étude hydrochimie réalisée a permis de caractériser le mécanisme de la pollution organique des ressources hydrique qui présente une influence directe sur l'environnement et la santé.

Toutes les eaux quelques soient superficielle ou souterraines contiennent des substances dissoutes essentiellement sous forme ionique. Celles-ci proviennent des

produits de leur altération par l'eau, des apports par les précipitations et les activités humaines (rejets urbains, industriels et agricoles). Les différentes analyses effectuées sur les échantillons de l'eau de la région d'étude montrent que le changement des concentrations des différents polluants met en évidence la vulnérabilité de la nappe. L'étude de la pollution des eaux souterraines et superficielles de la zone concernée montre l'existence de plusieurs polluants organique au niveau des eaux de forages, des puits et des oueds avec des concentrations variables surtout au niveau des points des eaux superficielles, qui sont élevées et pouvant influencer la qualité des eaux de la région. Cette pollution est due à l'intensité des activités agricoles et industrielles, tel que les rejets urbains des eaux usées et les engrais chimiques.

Influence de la zone non saturée : dont la couche argileuse joue le rôle protecteur et sablo-argileuse donne l'autoépuration suffisante, alors la détermination d'un périmètre de protection n'est pas nécessaire.

Influence de la profondeur : ce facteur est lié à plusieurs paramètres surtout lithologique, on parle de la capacité filtrante et la nature géologique des formations du sol ainsi que, la température n'atteignant plus les grandes profondeurs (F2, F3, F4 et F7).

Les trois indices calcules affiches quasiment les mêmes allures de graphes pour la période d'étude, le degré de pollution des eaux de notre zone en question est alarmant allant de faible, fort à très fort.

Donc il y a deux formes de pollutions organiques, une directe causées par les rejets domestiques et industriels qui existe, l'autre indirecte influencée par l'oxygène dissous liée à la température qui favorise l'apparition de bactérie de nitrifiante. Effectivement il Ya d'autre polluants que nous n'avons pas dosés. Les résultats obtenus confirment ce qui est a été mentionné bien avant donc un suivi doit être réalisé aussi pour identifier les pollutions éventuelles des eaux.

CHAPITRE : 5
VULNÉRABILITÉ ET RISQUE DE POLLUTION

Introduction

La qualité des ressources en eau est de plus en plus menacée par la pollution, ceci est en relation avec l'activité anthropique et le problème de la sécheresse prolongée. La présente étude nous permet de donner une idée sur l'état actuel des eaux souterraine de la région d'Annaba. Ces eaux sont souvent menacées par la contamination par des polluants de différente nature : biologique, chimique ou physique. La prévention contre la pollution des nappes constitue une étape importante à laquelle les scientifiques consentent de plus en plus d'effort, notamment en étudiant la vulnérabilité des nappes souterraines.

Donc toute susceptibilité intrinsèque à la modification de la qualité et de la quantité d'eau souterraine dans l'espace et dans le temps, est considérée comme notion de vulnérabilité à la pollution d'un aquifère **(CIVITA, 1994)**.

Dans ce chapitre on va essayer de déterminer, d'établir des cartes de vulnérabilité à la pollution, en appliquant les méthodes DRASTIC et SINTACS couplées à un système d'informatique géographique (SIG). D'autre part, une comparaison a été effectuée des résultats obtenus par les deux différentes méthodes paramétriques, à partir des étapes suivantes :

-Collectes des données ;

-Numérisation des données ;

-Calcul des scores (cote x poids) ;

-Attribution des scores ;

-Classification et reclassification des paramètres ;

-Elaboration d'une carte pour chaque paramètre spécifique de la nappe ;

-Calcul de l'indice de vulnérabilité de la nappe ;

-Classification et élaboration de la carte de vulnérabilité finale.

1. Différents types de la vulnérabilité

La notion de la vulnérabilité repose sur l'idée de l'existence d'une relation entre le milieu physique et les aquifères. Dans la littérature, on distingue deux types de vulnérabilité : la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique (Schnebelen et al, 2002)

1.1. La vulnérabilité intrinsèque

C'est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques et les modifications du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines.). D'après les auteurs **(LANDREAU, 1996 *in* CAZAUX, 2007; SCHNEBELEN et al, 2002)**, on peut classer les méthodes de vulnérabilité en fonction des facteurs physiques influençant le transfert de polluants vers la nappe.

1.2. La vulnérabilité spécifique

C'est le terme utilisé pour définir le risque de contamination d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants.

2. Utilisation des SIG dans l'évaluation de la vulnérabilité des nappes:

Les systèmes d'informations géographiques (SIG) apportent des informations localisées et objectives irremplaçables. Pour une meilleure gestion des risques naturels et anthropiques sur les ressources en eau. Dans un premier temps, ils permettent de gérer une multitude d'informations de tous types, de les mettre à jour, d'optimiser leurs échanges et de générer de nouvelles couches d'informations par le biais de leurs croisements. En second lieu, ils assurent la restitution des cartes thématiques et les analyses qui en résultent **(CHARIKH, 2015)**.

Il nous donne les possibilités de croisement au sein d'une base de données spatialement référencée de façon à extraire commodément des synthèses utiles à la décision **(EASTMAN, 1995 ; DUCHAINE, 1998 ; HENTATI et al, 2005)**.

3. Utilité des cartes de vulnérabilité:

L'étude de vulnérabilité de l'eau souterraine à la pollution est un outil qui permet d'identifier les régions susceptibles à la contamination dans un aquifère donné, sur un support cartographique à fin d'aider à la prise de décision pour l'aménagement du territoire. Les échelles utilisées sont multiples selon les objectifs demandés et la précision des différents paramètres. Donc il existe une interdépendance entre les

objectifs, les échelles de cartographie et les paramètres utilisés **(ALBINET et MARGAT, 1970 ; LANDREAU, 1996; CRIVERT, 2003 ; CAZAUX, 2007)**.

/ **À l'échelle nationale:** (1/1 000000), pour l'éducation ou la sensibilisation des citoyen à la protection des ressources en eau souterraine;

/ **À l'échelle régionale:** (1/500000 - 1/250000), pour orienter une politique générale de gestion de la qualité des ressources ou de police des eaux;

/ **À l'échelle régionale, voire locale:** (1/250000 – 1/50000), pour aider à la décision en matière d'aménagement ;

/ À l'échelle locale: (1/50000 – 1/10000), pour l'aménagement ou pour la protection des ressources en eau ou de captages d'eau ; associée à d'autres documents, elle peut permettre de prendre des décisions définitives comme les textes règlementaires.

4 .Application de méthodes d'estimation de la vulnérabilité :

4.1 .Méthode DRASTIC :

La méthode DRASTIC est l'une des méthodes du sous-groupe PCSM (Point Count System Model) qui a été mise au point, développée par les services de l'Agence américaine de protection de l'environnement USEPA **(ALLER et al, 1987)** et elle a le but d'évaluer les risques de pollution des eaux souterraines intrinsèques verticales à la pollution par systèmes paramétriques **(VERBA et ZAPOROZEC, 1994; MARDHEL et al, 2005; KNOX et al, 1993).**

Le principe commun de ces systèmes consiste à sélectionner préalablement les paramètres sur lesquels se base cette évaluation. Chaque paramètre est subdivisé en intervalles de valeurs significatives et affecté d'une cotation numérique croissante en fonction de son importance dans la vulnérabilité **(HAMZA et al, 2008).** L'acronyme DRASTIC correspond aux initiales des sept facteurs déterminant la valeur de l'indice de vulnérabilité : Depth to water (D) : profondeur de la nappe; Net Recharge (R) : recharge efficace de l'aquifère; Aquifer media (A) : la lithologie de l'aquifère; Soil media (S) : type de sol; Topography (T) : pente topographique du terrain; Impact of vadose zone (I) : impact de la zone vadose (zone non saturée); Hydraulic Conductivity of the aquifer (C) : conductivité hydraulique de l'aquifère.

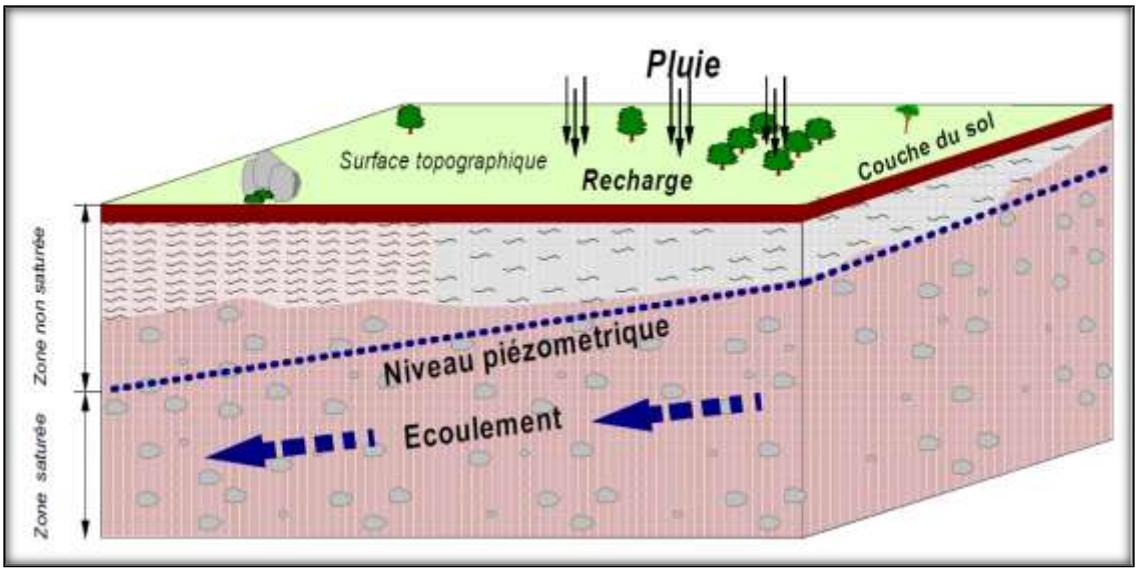


Fig.61: Schéma représentant les paramètres intervenants dans l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution par la méthode DRASTIC (SINAN et BOUIBRINE, 2007).

Tabl. 29 : Résumé des propriétés de chaque paramètre et son poids (ATTOUI, 2014).

Symbole	**Paramètre**		**Poids**
D	Profondeur de l'eau	Plus cette profondeur est élevée, plus le contaminant met du temps pour atteindre la surface piézométrique	**5**
R	Recharge nette	Véhicule principal du transport du contaminant. Plus cette recharge est grande, plus le risque de contamination est élevé	**4**
A	Lithologie de l'aquifère	Caractérisé par la granulométrie des terrains saturés. Plus la granulométrie est fine, plus le piégeage du polluant est grand.	**3**
S	Sol	Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des métaux lourds est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande.	**2**

T	Topographie	Plus la pente des terrains est grande, plus le ruissellement des eaux est important et par conséquent la contamination des eaux souterraines est faible.	**1**
I	Zone non saturée	Son impact est déterminé à partir de la texture des terrains. La percolation du polluant jusqu'à la surface piézométrique est d'autant plus grande que cette texture est favorable (graviers, sables grossiers).	**5**
C	Perméabilité	Plus ce paramètre est grand, plus le transfert du polluant est rapide.	**3**

Une valeur numérique appelée poids paramétrique, comprise entre 1 et 5, est attribuée à chaque paramètre, reflétant son degré d'influence. Chaque paramètre est classé en classes associées à des cotes variant de 1 à 10. Où la plus petite cote représente les conditions de plus faible vulnérabilité à la contamination.

Une valeur numérique appelée indice de vulnérabilité DRASTIC et notée ID est déterminée : elle représente le degré de la vulnérabilité de chaque unité hydrogéologique. On peut calculer l'indice de vulnérabilité DRASTIC en faisant la somme des produits des cotes par les poids des paramètres correspondants :

ID = **D**p x**D**c + **R**p x Rc + **A**p x **A**c + **S**p x Sc + **T**p x Tc + **I**p x **I**c + **C**p x **C**c

Avec :

D, R, A, S, T, I, et C sont les sept paramètres de la méthode DRASTIC,

p étant le poids du paramètre et c, la cote associée.

Les valeurs de l'indice DRASTIC obtenues représentent la mesure de la vulnérabilité hydrogéologique de l'aquifère, elles varient de 23 à 226. D'après **(ALLER et al, 1987)** les valeurs obtenues sont regroupées, selon cinq classes dont chacune correspond à un degré de vulnérabilité

Tabl.30 : Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC (ALLER et al, 1987).

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Très faible	< 80
Faible	80 – 120
Moyen	121 – 160
Élevé	161 – 200
Très élevé	> 200

5. Evaluation de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC:

5.1. Traitement des paramètres DRASTIC (Base de données et acquisition)

L'application de la méthode DRASTIC nécessite une collecte importante de données ayant trait à l'hydrogéologie, à la géologie, à la morphologie, à la pédologie et à la topographie du milieu naturel. Chaque paramètre de DRASTIC nécessite un certain nombre de données :

5.1.1. Profondeur de plan d'eau (D):

La profondeur de plan d'eau dans notre région varie entre 1 m à 15m, et c'était le résultat obtenu à partir d'une base des données piézométriques qui a été déjà effectuée avec dix compagnes piézométriques réalisées dans la région.

Selon la classification DRASTIC, trois classes de profondeur ont été déterminées à savoir:

/D < 3m avec un indice partiel étudiée égale à 45 avec une cote égale à 9

/ 4,5m < D < 9m avec un indice de 35 et une cote égale à 7.

/9m < D < 15m avec un indice partiel de 25 où la côte est de l'ordre de 5 ;

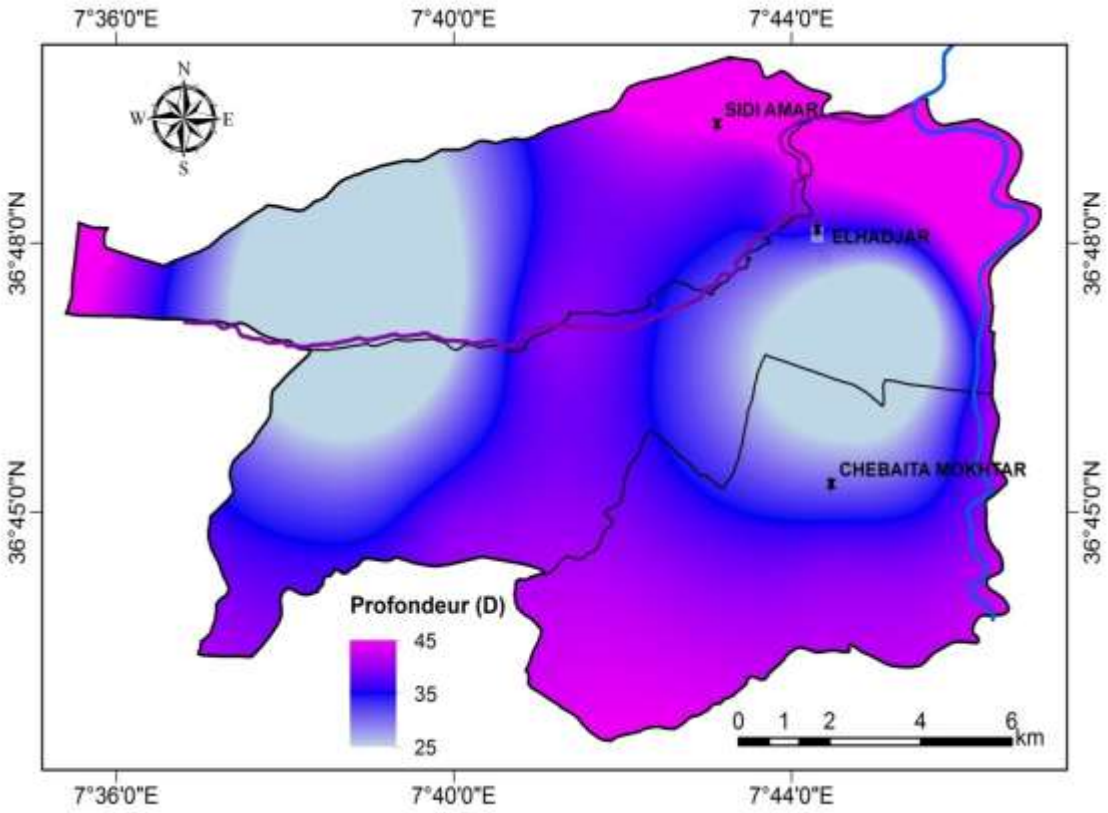


Fig.62*:* Carte du paramètre D"DEPTH" : profondeur de l'aquifère de la région d'Annaba

5.1.2. Recharge efficace (R):

Il s'agit de la quantité d'eau atteignant la zone saturée sur une période donnée (recharge annuelle nette). Elle dépend de l'infiltration efficace et de sa répartition dans l'espace et dans le temps, donc du climat (ETP, précipitations…), mais également de la topographie et de la nature des formations. Elle constitue un facteur de transfert des polluants vers les eaux souterraines **(BEZELGUES et al, 2002; HAOUCHINE et al, 2010)**. Dans ce travail, la recharge a été calculée à partir des résultats de bilans hydriques des stations pluviométriques et nous avons utilisé les résultats qui ont été effectués par **(ATTOUI ,201**4) et les considérons comme une référence pour notre recherche. Elle est affectée d'un indice de vulnérabilité partiel entre 12 et 24.

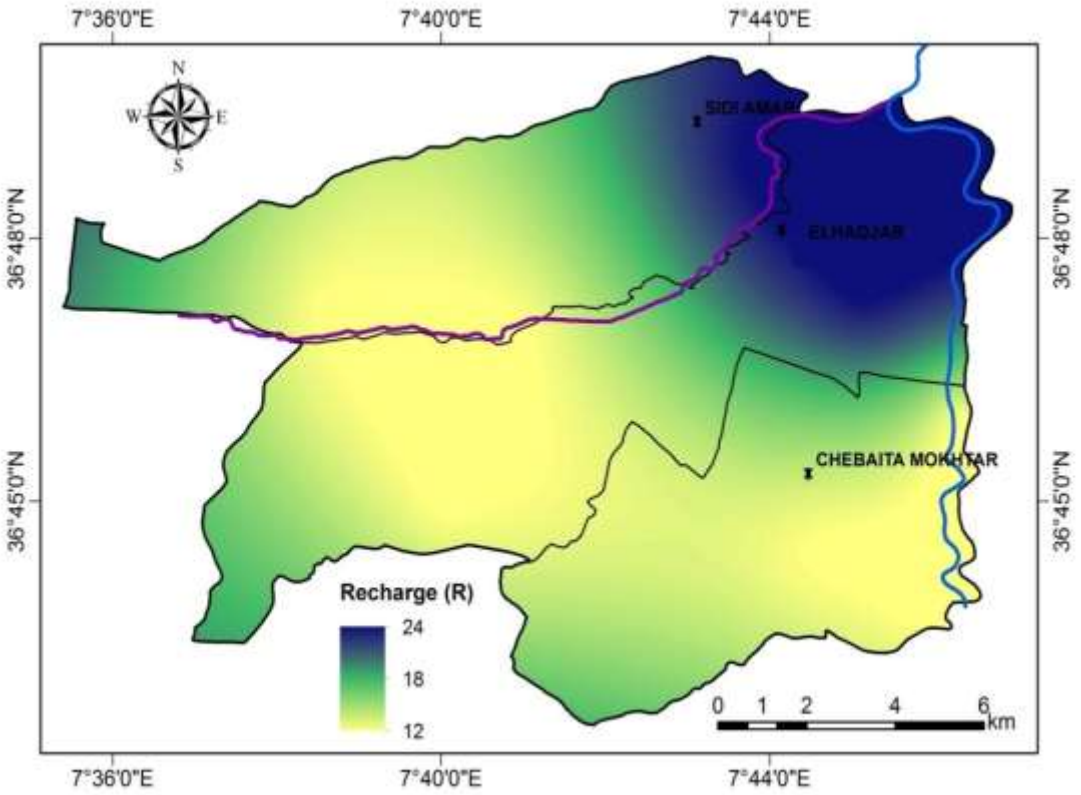


Fig.63 : Carte du paramètre "R" : la recharge nette de l'aquifère de la région d'Annaba

5.1.3. Lithologie de l'aquifère (A) :

C'est la détermination du matériel constituant la zone saturée et non saturée. Elle a été réalisé à l'aide des coupes lithologiques de forages **(DHW**, ANRH**)** et des cartes hydrogéologiques de la région d'Annaba) complété par les rapports de prospections géophysiques. D'après toutes les études et les documents consultés on remarque que la composition lithologique de cet aquifère est homogène et continue, où on identifie une seule classe lithologique qui est le sable limoneux et l'argile, avec une côte de 5.

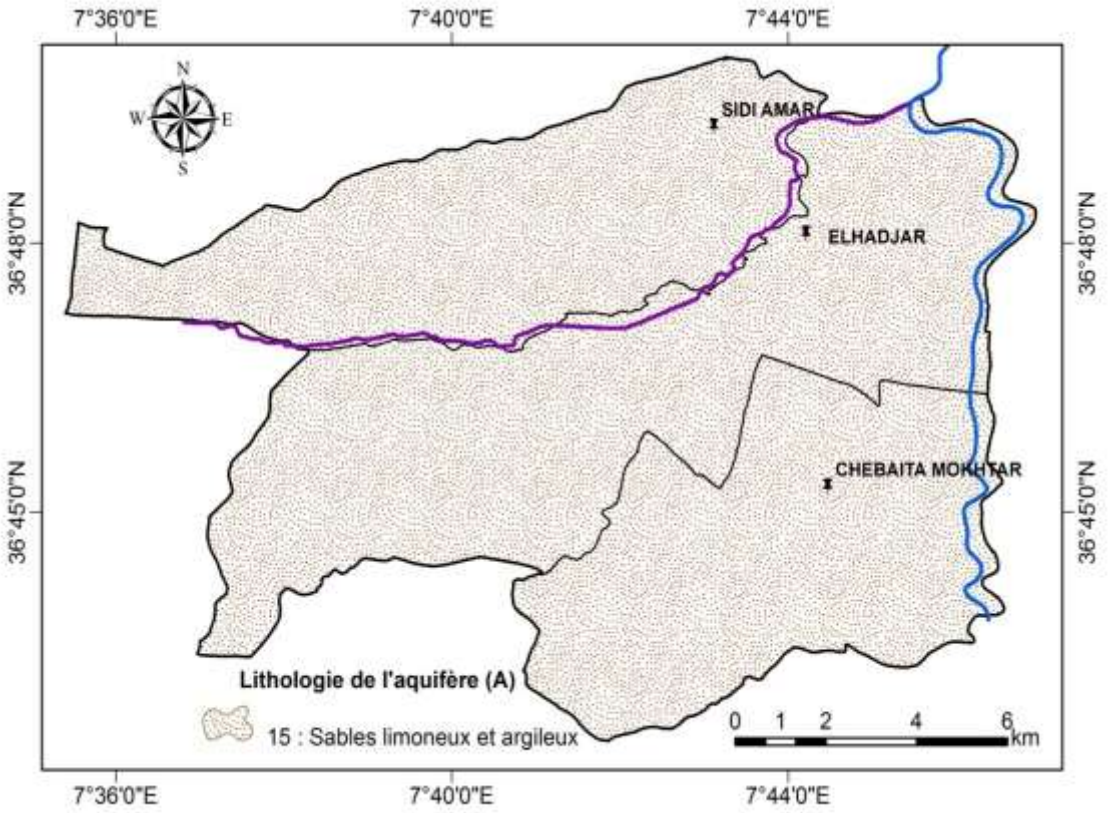


Fig. 64 : Carte du paramètre "A" : Nature lithologique de l'aquifère de la région d'Annaba

5.1.4. Type de sol (S) :

Le caractère épurateur et l'aptitude des sols à laisser s'infiltrer un polluant sont conditionnés vis-à-vis à la nature de sol et leur épaisseur **(BEZELGUES et al, 2002)**. La pédologie a été extraite de la carte des pédopaysages et en se basant sur la classification pédologique de la méthode DRASTIC, deux classes ont été extraites, celle des limons-sableux avec une cote de 6 qui couvre le Nord-ouest et le Sud-est de la région étudiée, et celle des argiles qui couvre presque la totalité de la zone avec une cote de 1.

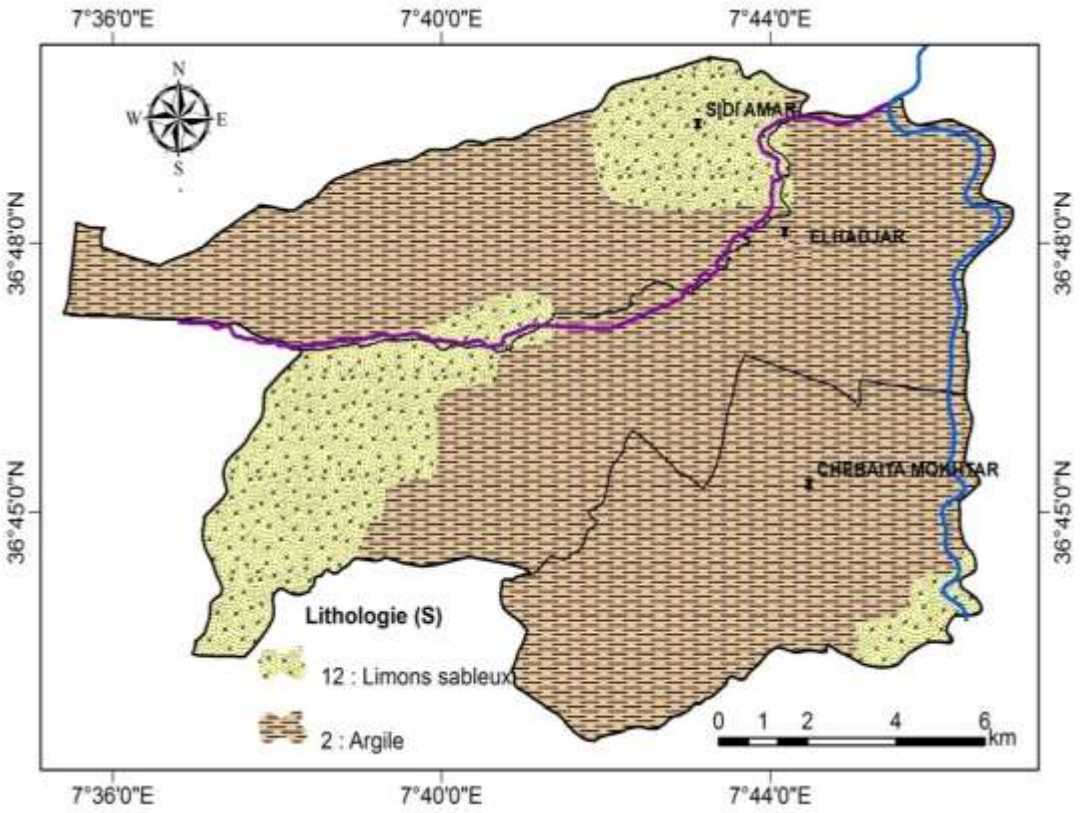


Fig.65 : Carte du paramètre "S" : Nature lithologique de sol de l'aquifère d'Annaba

5.1.5. Topographie (T)

La pente est un facteur essentiel pour déterminer l'orientation et l'organisation des cours d'eau, un terrain plat est plus favorable à recevoir la pollution qu'un terrain de forte pente Nous avons réalisé la carte du paramètre topographie à l'aide des cartes topographiques disponible au 1 :50000ème. La nature plane de la topographie de la région d'étude révèle des pentes faibles de l'ordre 1% à 6%, ainsi les cotes attribuées à ces pentes sont de 9 à 10. Cette faible pente privilégie l'infiltration et le transfert des polluants vers la nappe ce qui favorise la vulnérabilité.

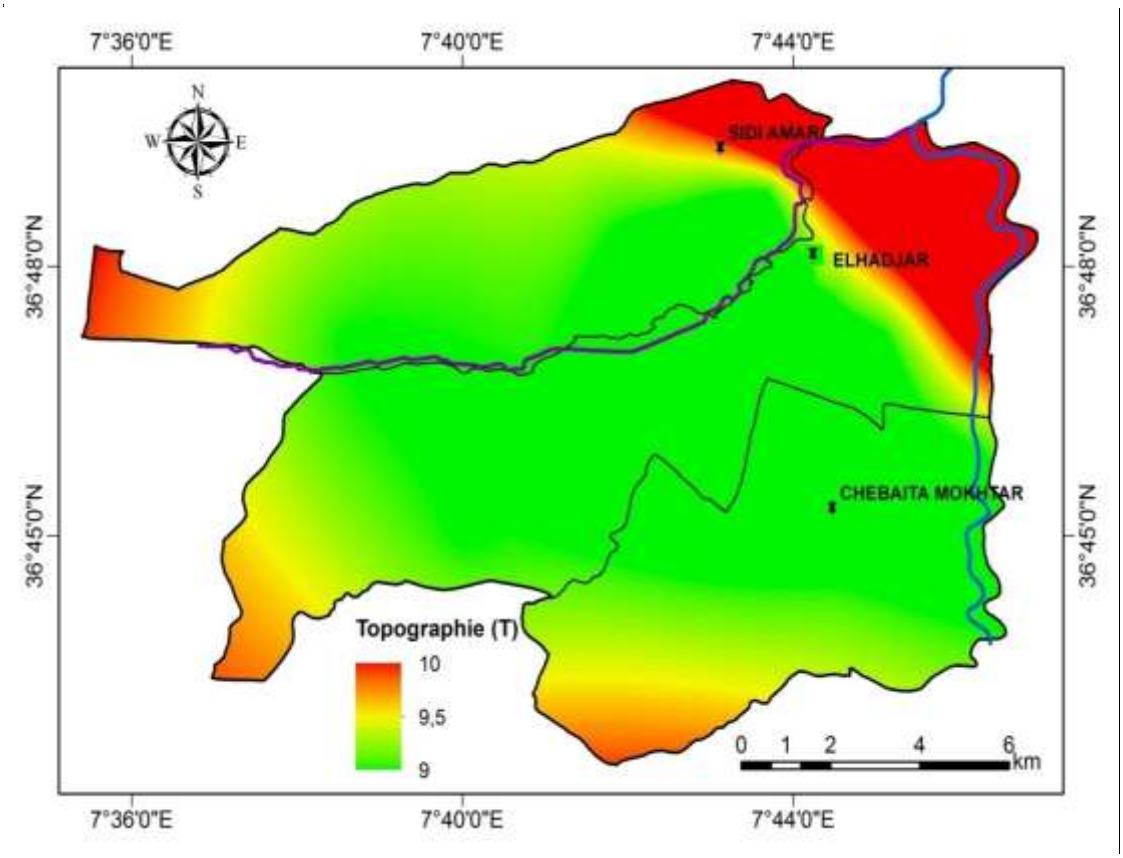


Fig.66 : Carte du paramètre "T" pente de l'aquifère d'Annaba

5.1.6. Lithologie de la ZNS (I)

Pour étudier la vulnérabilité, il est nécessaire de déterminer l'épaisseur de la zone non saturée, qui joue le rôle primordial dans la qualification de la capacité d'un aquifère à être affecté par l'infiltration d'un polluant **(BRGM, 2010)**. A l'aide de l'interpolation des couches, la lithologie a été déterminée, en utilisant comme données de base, la lithologie des forages disponibles dans notre zone d'étude et les coupes lithologiques des puits d'observation réalisés considérées comme données de base. Une seule classe lithologique a été extraite, c'est celle des sables et de l'argile avec un coefficient de 3.

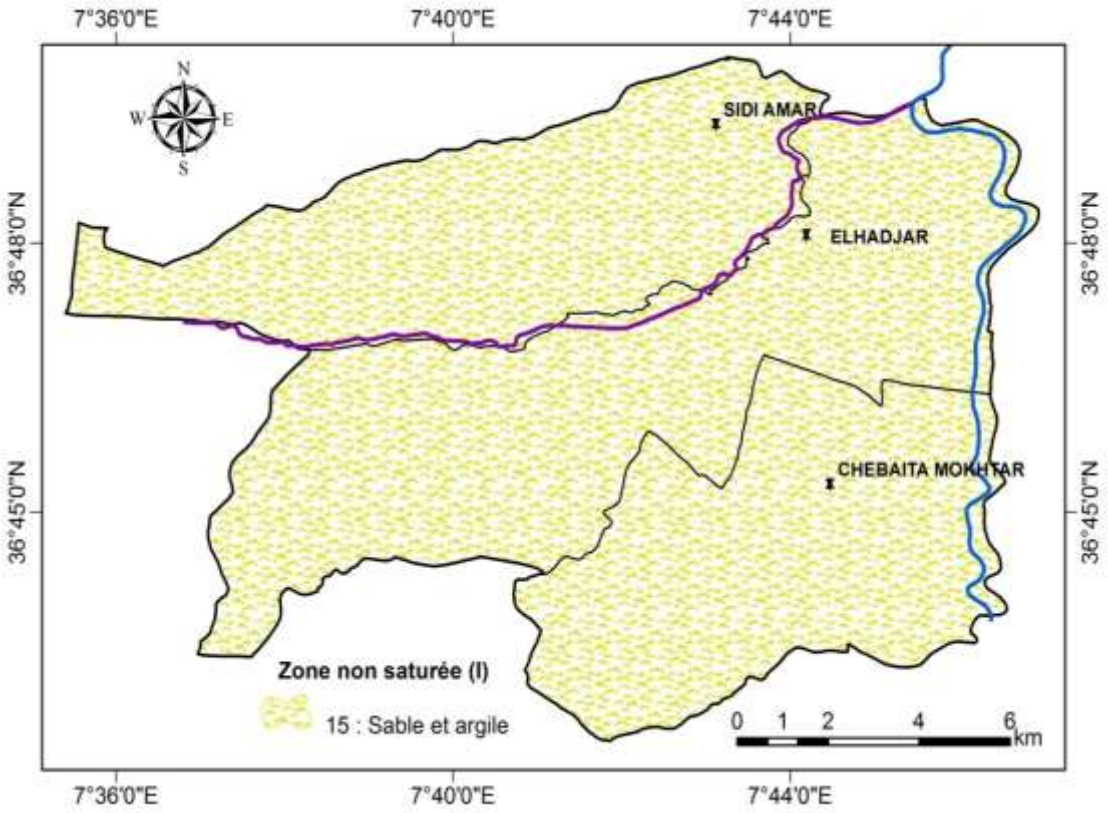


Fig. 67*:* Carte du paramètre "I" lithologie de la zone non saturée de l'aquifère de d'Annaba

5.1.7. Conductivité hydraulique de l'aquifère (C)

La conductivité hydraulique est le terme significatif de la capacité d'un fluide pour se déplacer dans une formation. Elle est reliée de manière étroite à la perméabilité plus la roche est perméable plus la conductivité hydraulique est élevée **(RENARDA, 2002)**. Elle dicte le temps de transfert vertical d'un polluant vers la nappe **(BEZELGUES et al, 2002).**

Nous avons utilisé les valeurs de transmissivité qui ont été effectuées par **(Hani, 2003**), et les logs des forages disponibles de l'ANRH Annaba pour estimer la perméabilité. La carte du paramètre conductivité hydraulique montre la répartition d'une seule classe à moyenne perméabilité (10^{-5} m/s à 10^{-4} m/s), qui est affectée d'un indice de vulnérabilité partiel de 18 avec une cote de 6.

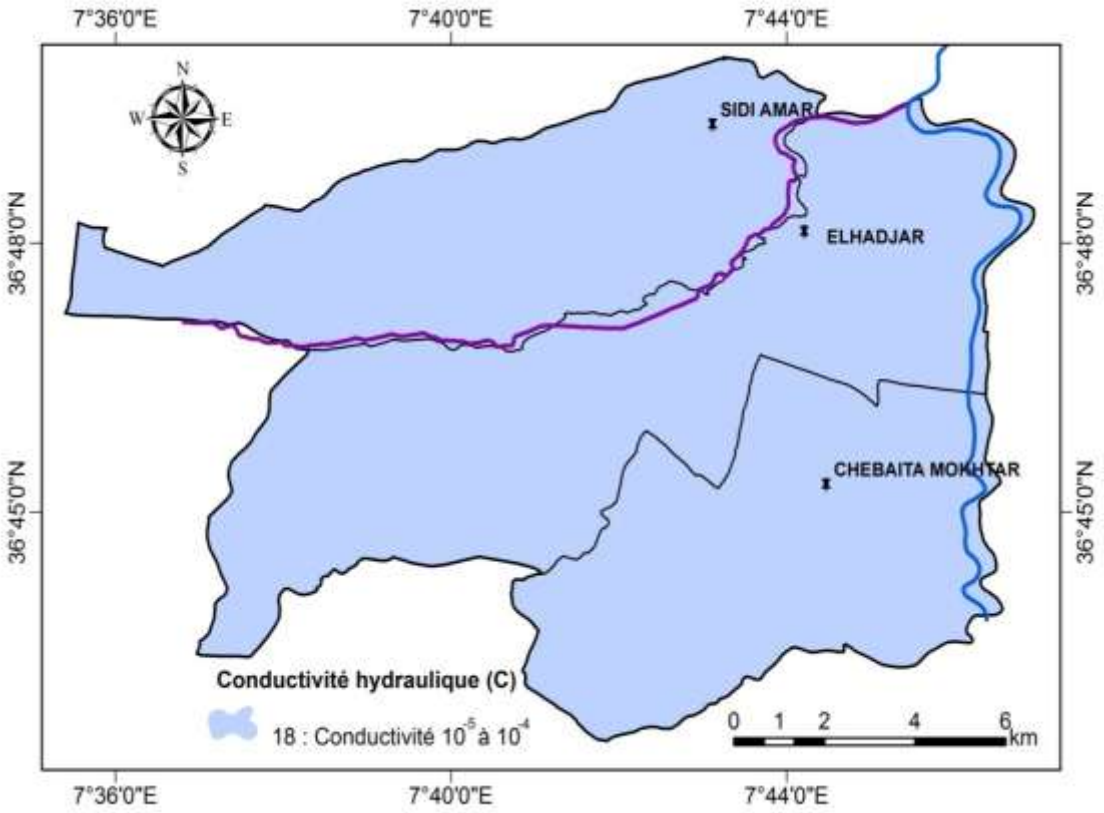


Fig.68 : carte du paramètre "C" Conductivité hydraulique de l'aquifère d'Annaba

Degrés de vulnérabilité de la nappe d'ANNABA selon DRASTIC :

A partir de la carte de vulnérabilité de l'aquifère étudié (Figure 69), on remarque qu'il est caractérisé par l'étendue spatiale des terrains à vulnérabilité faible par rapport aux terrains à vulnérabilité moyenne**.** Le faible degré de vulnérabilité peut s'expliquer par le fait que la profondeur favorise les conditions au contaminant de prendre beaucoup de temps avant d'atteindre la nappe. Les sols limoneux et sablo-argileux ……..certains processus physico-chimiques, tel que l'absorption, donc plus le sol riche en argile plus l'absorption des polluants est importante et par conséquence les eaux souterraines sont bien protéger. La zone vadose qui contient des argiles et des sables retarde la percolation du polluant vers la surface piézométrique, alors cette classe, représente presque la totalité de la zone étudiée avec un indice compris entre 96 et 119.

D'autre part la carte de la vulnérabilité à la pollution montre que, la classe de moyenne vulnérabilité représente le secteur Nord-Est de la zone étudiée avec un

indice de vulnérabilité compris entre 119 et-139.Ce degré de vulnérabilité peut s'expliquer par , les formations de la zone vadose avec des sables argileux et aussi des sables graveleux permettant au contaminant de mieux solubiliser et atteindre la nappe, sachant que cette nappe est moyennement profonde (1m à 4.5 m) avec de faible pente qui favorise le propagation du polluant vers la nappe .

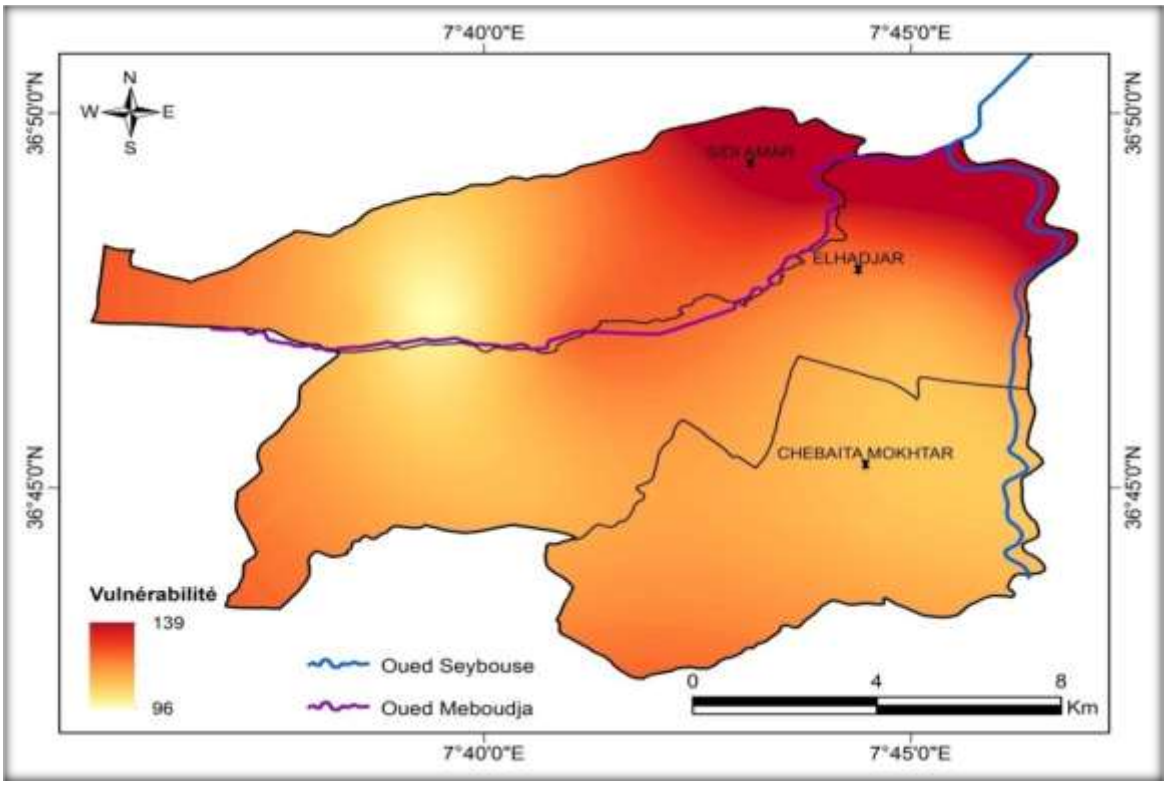


Fig.69 : Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région d'Annaba d'après la méthode DRASTIC

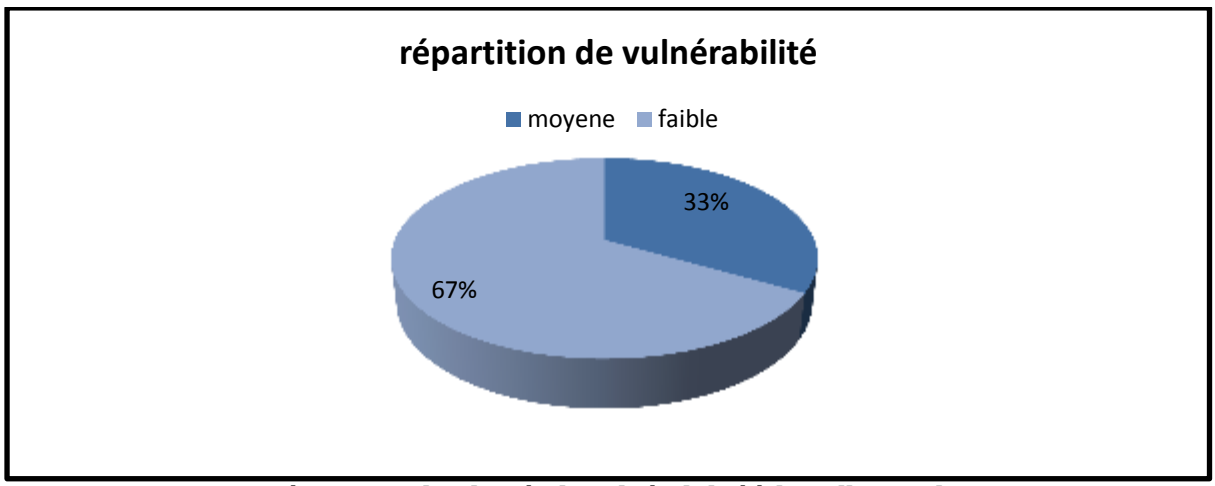


Fig.70 : Répartition des degrés de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région d'Annaba selon DRASTIC

5.2. La méthode SINTACS

La méthode SINTACS **(CIVITA, 1994)** est la version italienne de la méthode DRASTIC : c'est une adaptation de cette méthode aux conditions méditerranéennes. Cette méthode prend en considération les mêmes paramètres que la méthode DRASTIC avec des poids différents. D'après **(CIVITA, 1994)**, l'acronyme SINTACS correspond aux initiales des sept facteurs suivants : la profondeur du plan d'eau (S = Soggiacenzia), la recharge efficace de l'aquifère (I = infiltrazione), l'effet de l'autoépuration de la zone vadose (N = effeto di autoepurazione del non-saturo), le type de sol (T = typologia della copertura), les caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère (A = caratteristiche idrogeologische dell'acquifero), la conductivité hydraulique de l'aquifère (C = conductibilità dell'acquifero) et la pente topographique (S = l'acclivita della superficie topografica).

La spécificité de la méthode SINTACS par rapport à la méthode DRASTIC est qu'elle propose cinq scénarios différents de vulnérabilité en utilisant les mêmes paramètres **(HAMZA et al.2007)**.

- **Le scénario "impact normal"** correspond aux régions où les transformations sont rares, avec existence ou non de terres cultivées et une utilisation très faible de pesticides, de fertilisants et d'irrigation, et aux périmètres urbains très disperses.
- **Le Scénario « Impact Sévère » :** correspond aux mêmes types d'aquifères soumis à une occupation des sols intensive, avec des terres cultivées à forte utilisation de pesticides, de fertilisants et d'irrigation, des implantations industrielles et urbaines denses, et des dépôts liquides et solides de déchets.
- **Le scénario " drainage important à partir d'un réseau superficiel "**, relatif aux aires où il y a une forte infiltration vers l'aquifère à partir d'un réseau superficiel d'eau.
- **Le scénario " terrain très karstifié ",** concernant les aires caractérisées par l'abondance des terrains karstique.
- Le scénario " terrain fissuré ", scénario relatif aux aquifères constitués par des terrains de fortes fracturations.

Les poids attribués aux différents paramètres compris entre 1 et 5, chaque paramètre, est classé en plusieurs classes, dont chacune est associée à une cote variante de 1 à 10

dans les différents scénarios SINTACS sont présentés dans le tableau 28. Quatre classes de vulnérabilité peuvent être identifiées selon les valeurs des indices de vulnérabilité (Tabl. 31).

Tab.31 : Poids attribués aux paramètres SINTACS dans les différents scénarios de la méthode.

Scénario Paramètre	Impact Normal	Impact Sévère	Drainage Important	Karst	Terrains Fissurés
S	5	5	4	2	3
I	4	5	4	5	3
N	5	4	4	1	3
T	4	5	2	3	4
A	3	3	5	5	4
C	3	2	5	5	5
S	2	2	2	5	4

Tabl.32 : Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SINTACS.

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Faible	< 106
Moyen	106 – 186
Élevé	187 – 210
Très élevé	> 210

5.2.2. Evaluation de la vulnérabilité par la méthode SINTACS :

Le calcul de l'indice de vulnérabilité SINTACS est de la même façon que celui de la méthode DRASTIC. Donc il traite les mêmes sept paramètres. Selon les valeurs des de cet indice quatre classes de vulnérabilité peuvent être extraites. Sauf qu'elle prend en considération la situation de l'aquifère dont elle propose cinq scénarios de vulnérabilité de l'aquifère qui sont en fonction de l'occupation de sol.

5.2.3. Traitement des paramètres SINTACS:

Pour ce qui concerne les paramètres profondeur du plan d'eau (S), recharge efficace (I), lithologie de la zone non saturée (N), type de sol (T), type de l'aquifère (A),

conductivité hydraulique (C), et topographie (S) on garde les mêmes cotes que celles de la méthode DRASTIC avec des poids qui varient en fonctions des scénarios.

Pour les paramètres quantitatifs de cette méthode ne posent pas, de problèmes dans la classification et. Par contre, les paramètres qualitatifs (effet de l'autoépuration de la zone vadose, type de sol et lithologie de l'aquifère) peuvent ne pas correspondre exactement aux classes proposées par les guides pratiques de la méthode SINTACS. Il faut alors suivre un raisonnement logique, pour pouvoir identifier les classes adéquates, et attribuer par la suite à chaque classe la cote correspondante.

Le découpage de la région d'étude en fonction des scénarios a été réalisé sur la base de la carte topographique, la carte de la végétation et la carte des zones urbaines dans la région d'étude dont l'échelle de ces cartes est 1/100000. La zone se subdivise en deux partie l'une coïncide avec le scénario «Impact Normal» qui se trouve dans les périphéries de la région étudiée, et l'autre partie qui est la plus part de la zone étude avec le scénario «Impact Sévère» de la méthode SINTACS.

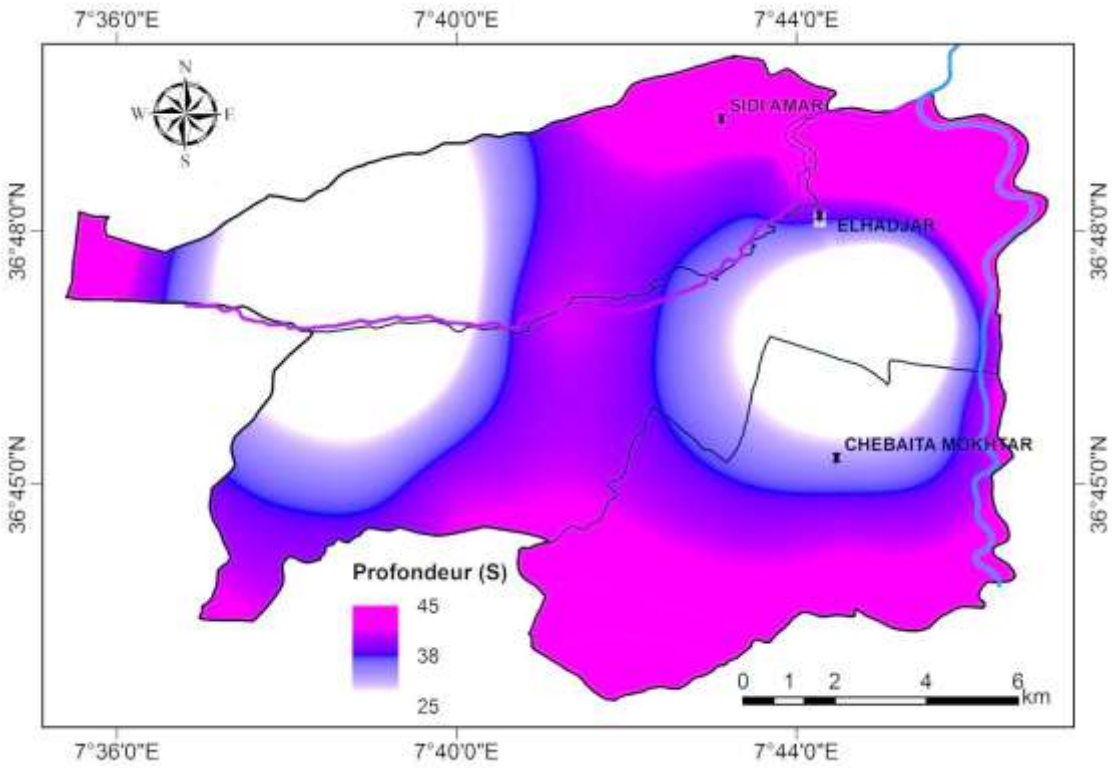


Fig.71 : Carte du paramètre profondeur du plan d'eau (S)

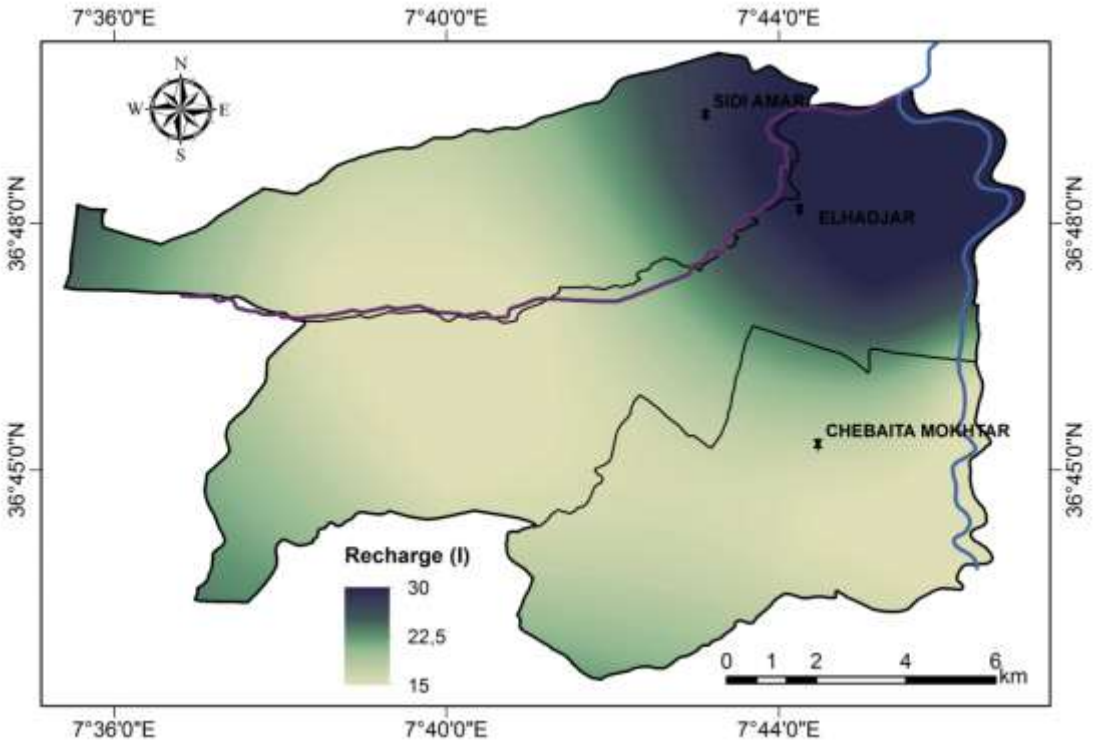


Fig.72 : Carte de la recharge efficace (I)

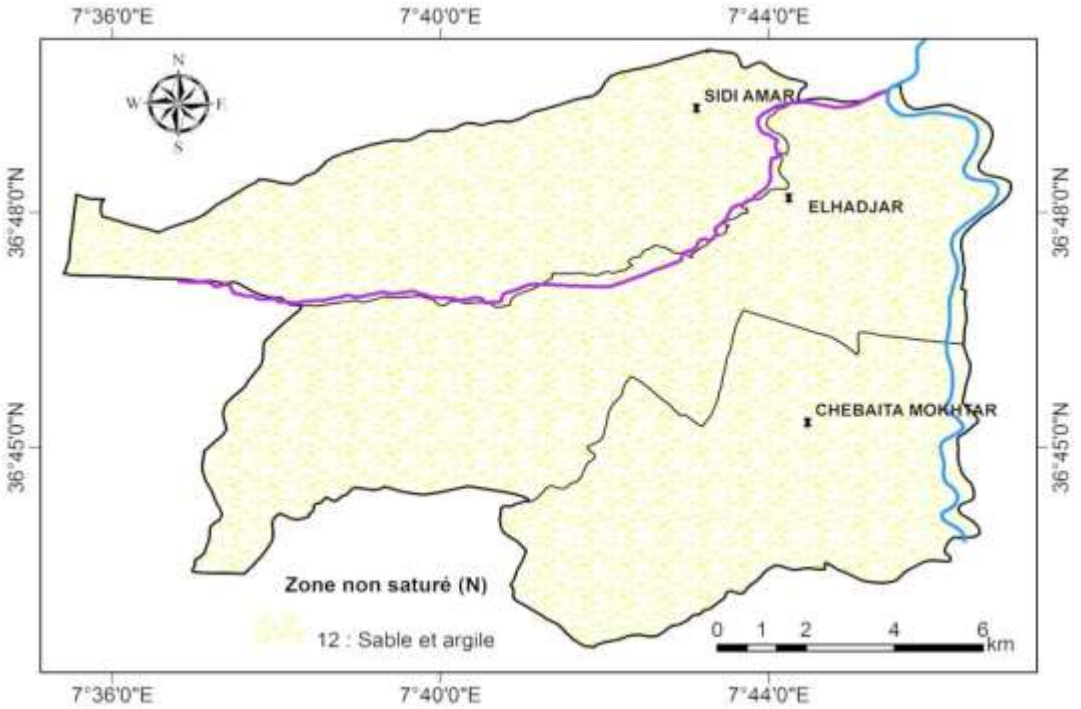


Fig. 73 : Carte de la lithologie de la zone non saturée (N)

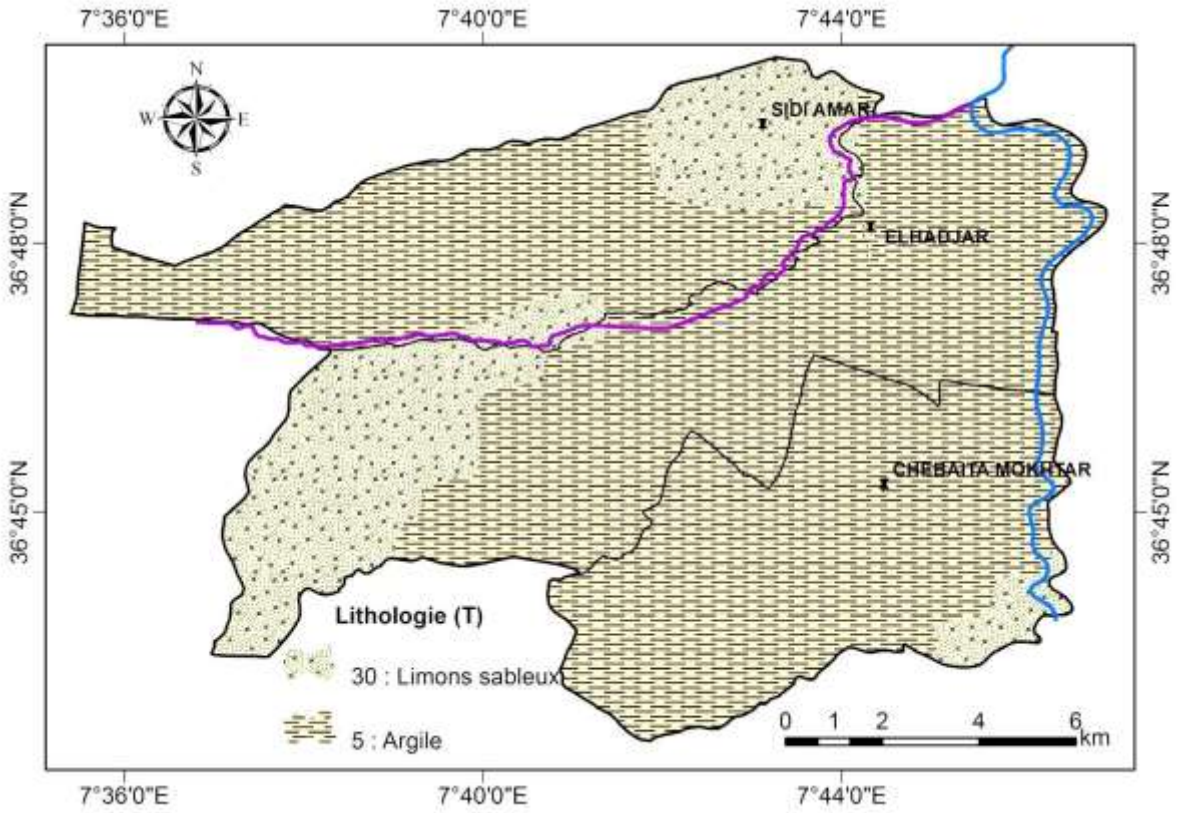


Fig.74 : Carte du type de sol (T)

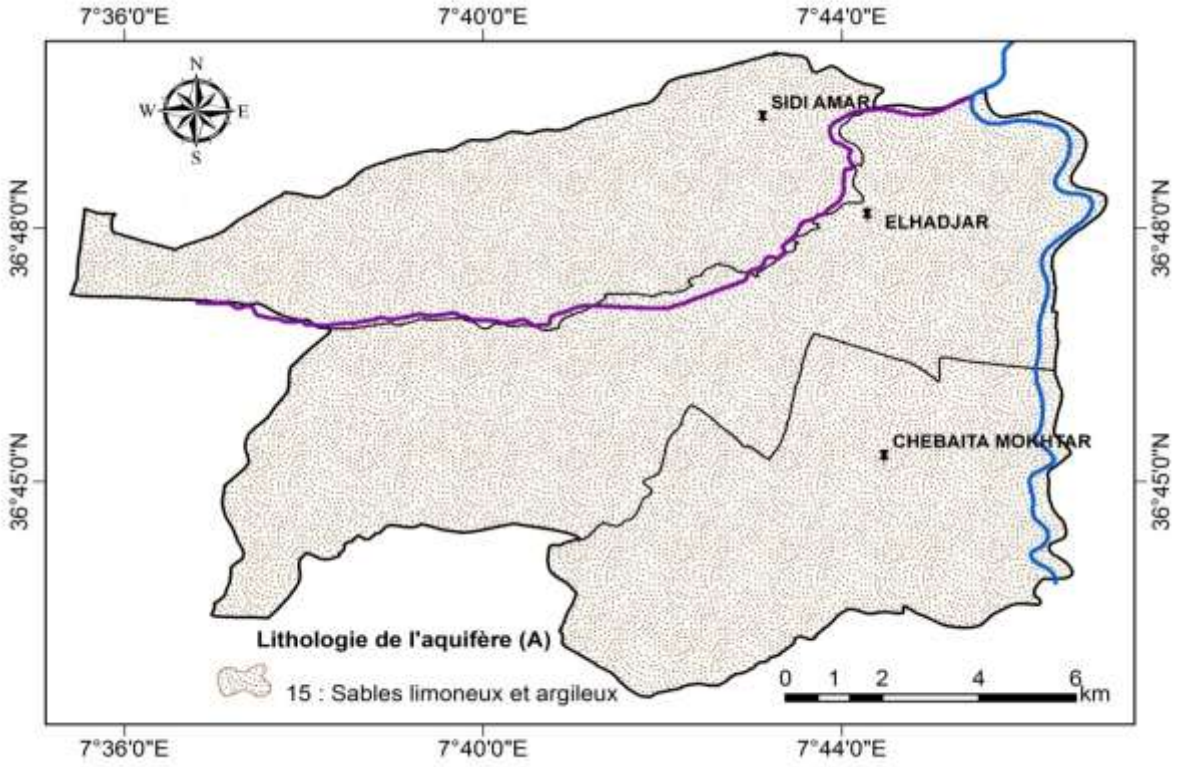


Fig.75 : Carte du type de l'aquifère (A)

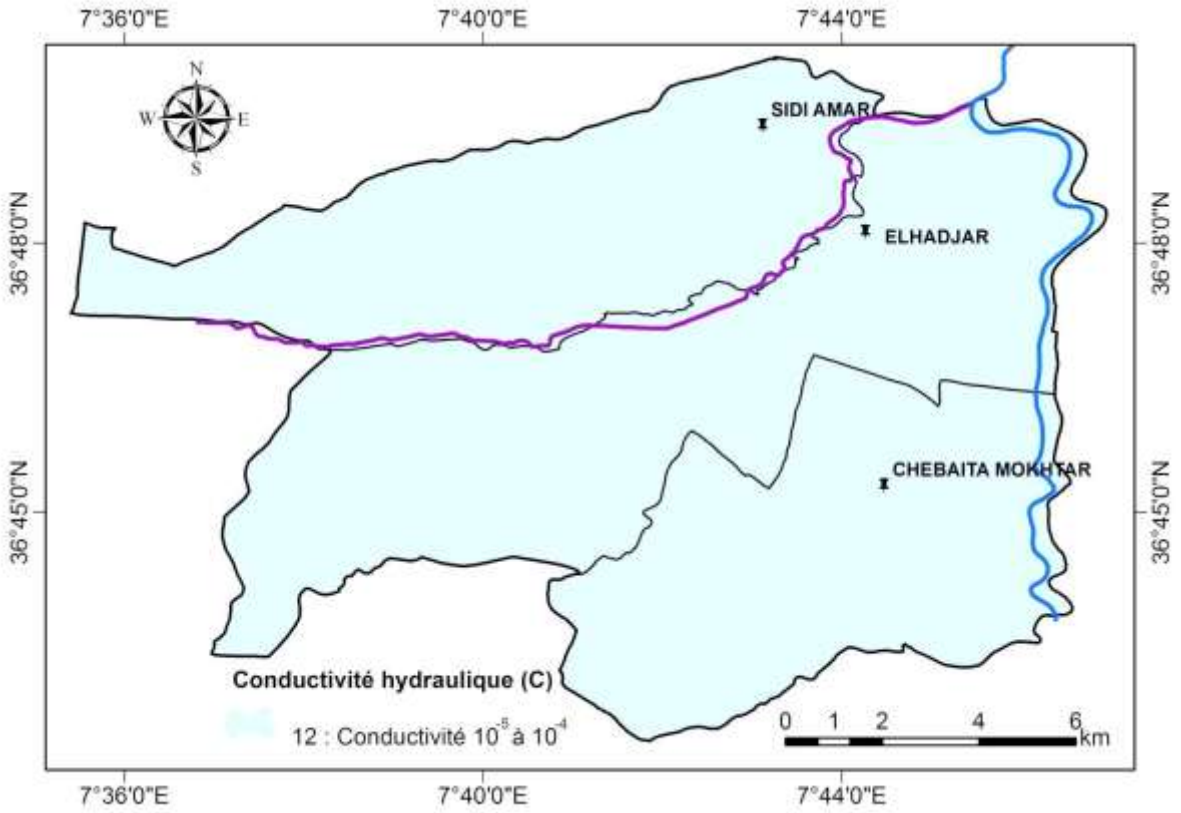


Fig. 76 : Carte de la conductivité hydraulique (C)

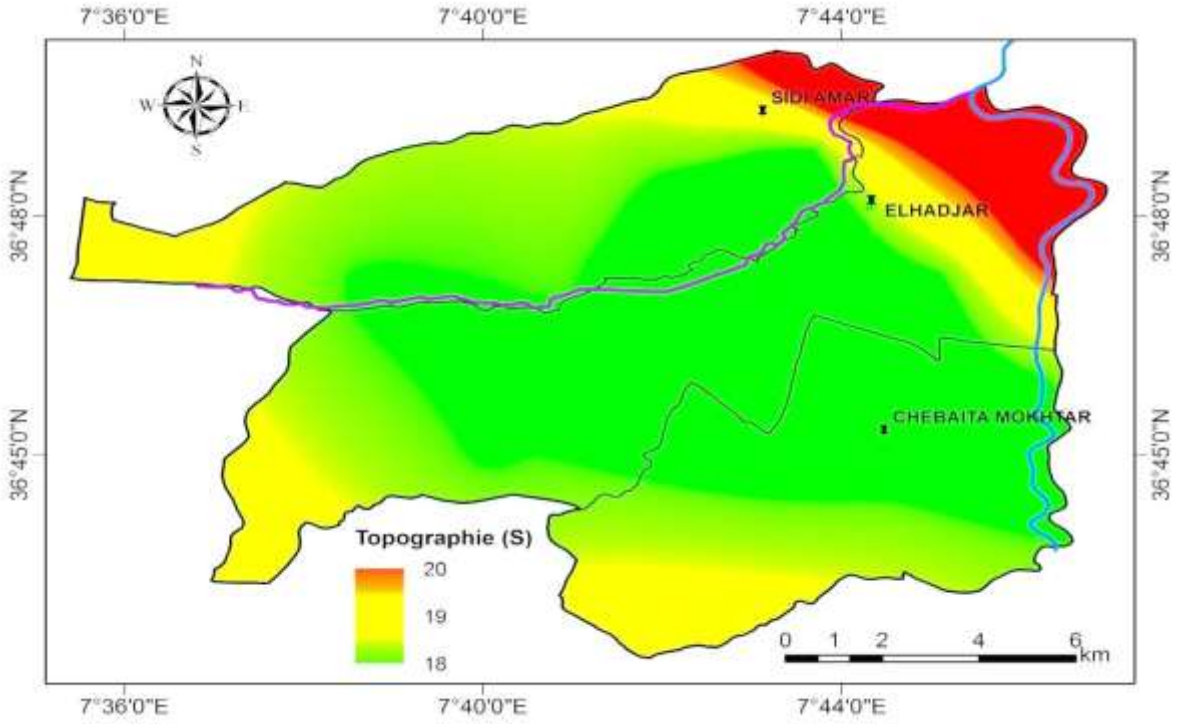


Fig.77 : Carte de la topographie (S)

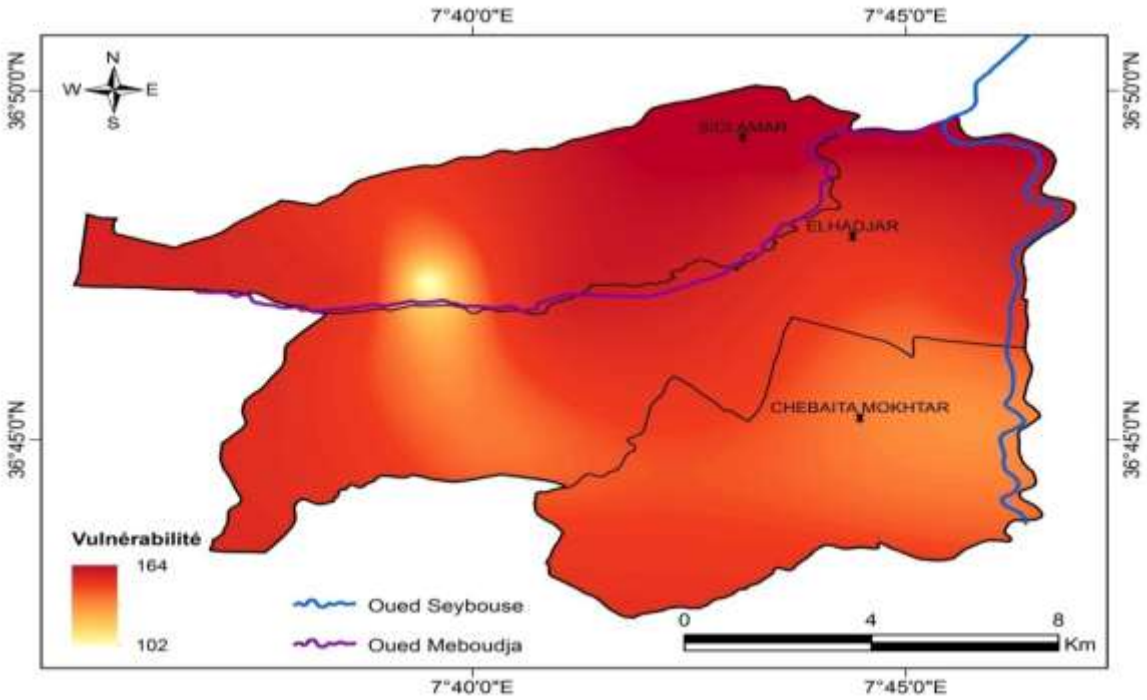


Fig.78 : Carte des indices SINTACS (I) dans la région étudiée.

La carte de vulnérabilité SINTACS (Figure 78) met en évidence deux classes de vulnérabilité ; la première classe concerne les zones à moyen degré de vulnérabilité qui occupe la majorité de la superficie de la région étudiée (85%) et la deuxième classe occupe environ 15% de la région d'étude où la vulnérabilité est faible. La classe de moyenne vulnérabilité généralement occupe les zones industrielles caractérisées par de faible profondeur de la nappe, et les surfaces agricoles très exploitées où l'utilisation des pesticides est largement pratiquée, sans oublier les terrains urbains contribuant également au risque de pollution de la nappe.

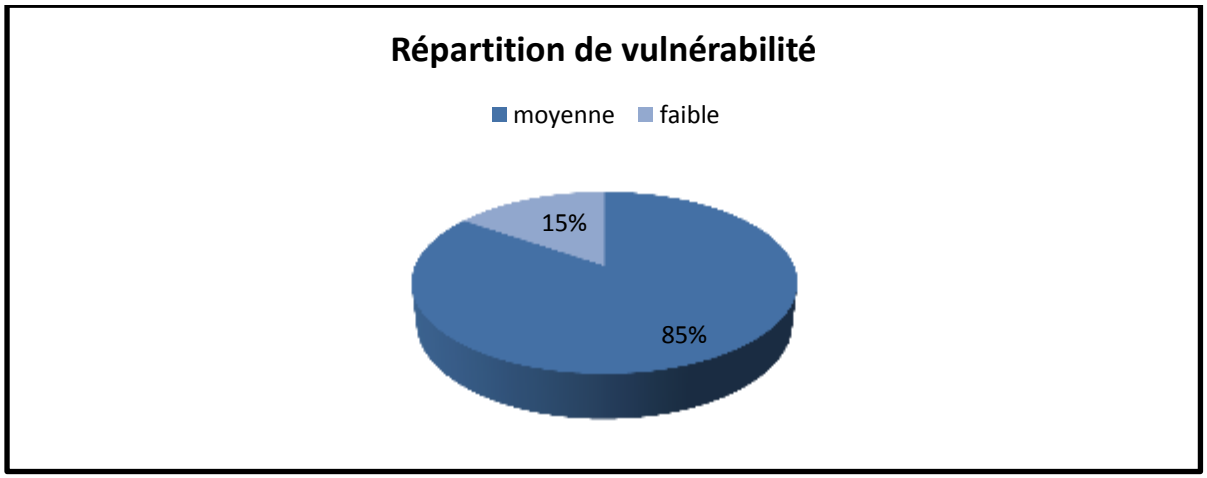


Fig. 79 : Répartition des degrés de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région de d'Annaba selon SINTACS.

La carte DRASTIC montrent plus de 67% de la superficie de la nappe étudiée est à vulnérabilité faible et le reste est à vulnérabilité modérée dont la profondeur da la nappe est le paramètre déterminant de la vulnérabilité parce que les autres paramètres sont homogènes dans toute la région étudiée. Cependant, la carte SINTACS met en évidence que plus de 85% de la surface de la nappe est à vulnérabilité moyenne où la surface du sol est très exploitée, et les zones à vulnérabilité faible localisées à petite superficie dans la région. Dans cette méthodes, la profondeur de la nappe ne reflète pas leur degré réel de vulnérabilité parce qu'il y a des endroits où la profondeur de la nappe est faible à moyenne mais le degré de vulnérabilité est moyen ce qui est du à l'occupation de sol par les sources de pollutions potentielles.

L'analyse des cartes de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines par les différentes méthodes et en se basant sur les cas les plus pessimistes , la méthode SINTACS est la méthode la plus appropriée aux conditions régionales par ce qu'elle prend en considération le paramètre occupation du sol qui s'avère très important dans l'estimation de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines. Cette méthode est aussi adaptée aux conditions méditerranéennes, tandis que la méthode DRASTIC ne prend en considération que les paramètres qui ont une influence sur la migration d'un polluant du sol vers la nappe, alors que ces paramètres sont presque homogènes dans toute la région, et néglige l'occupation de sol.

5.3. Carte de risque à la pollution: Cette carte, obtenue par la superposition des deux cartes celles de vulnérabilité et de l'inventaire des sources de pollution potentielles ou réelles.

5.3.1. Carte d'inventaire des sources de pollution potentielles ou réelles:

Plusieurs sources de pollution ont été inventoriées dans la plaine étudiée (Fig.80). D'origine diverse, les rejets domestiques urbains, les zones agriles à utilisation de produits fertilisants ainsi que les déchets industriels, sont les sources de pollution potentielles ou réelles de la région.

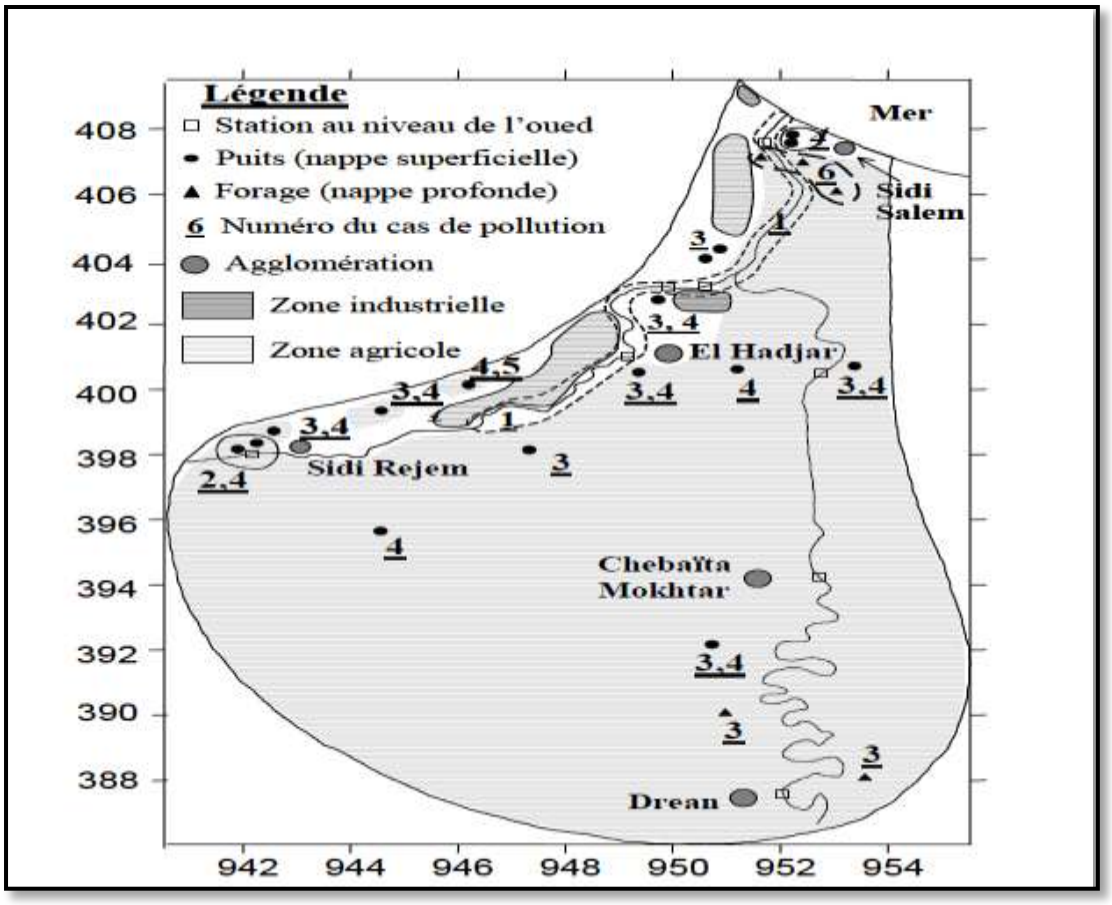


Fig.80: Occupation du sol et cas de pollution d'après Debièche ,2002

La pollution naturelle : Par des fortes concentrations hydrochimiques constatées, résultent aussi bien du lessivage des terrains, la salinité qui a été observé, dans la partie Nord de la nappe est liée à l'effet de la salinité marine **(KHERICI, 1993; NAFAA, 1985).**

Pollution d'origine domestique : par évacuation des eaux usées, de façon anarchique sans aucune épuration préalable, entraîne la contamination du milieu et donne les conditions favorables pour développement de germes microbiens. les communes importantes et potentiellement polluantes sont el Hadjar et Sidi Ammar, qui constituent, par leur nombre d'habitants et leurs industries locales, des sources graves de pollution.

Pollution d'origine agricole : les pratiques actuelles de cultures et d'élevage, entraîner-la dégradation de la qualité des eaux. D'une part, l'intensité d'utilisation des fertilisants des sols et d'autre part, l'usage de produits chimiques de traitement des plantes, elles occupent presque la majorité de surface de la plaine étudiée.

Pollution d'origine industrielle : Les polluants d'origine industrielle, varient selon le type d'activité locale: substances organiques banales, produits organiques de synthèses, sels minéraux,…etc. sont constatés en différents sites industriels, existe dans la région. Où les zones industrielles sont positionnées principalement sur les rives de l'oued Méboudja **(DEBIECHE ,2002)** dans la partie Nord de la nappe

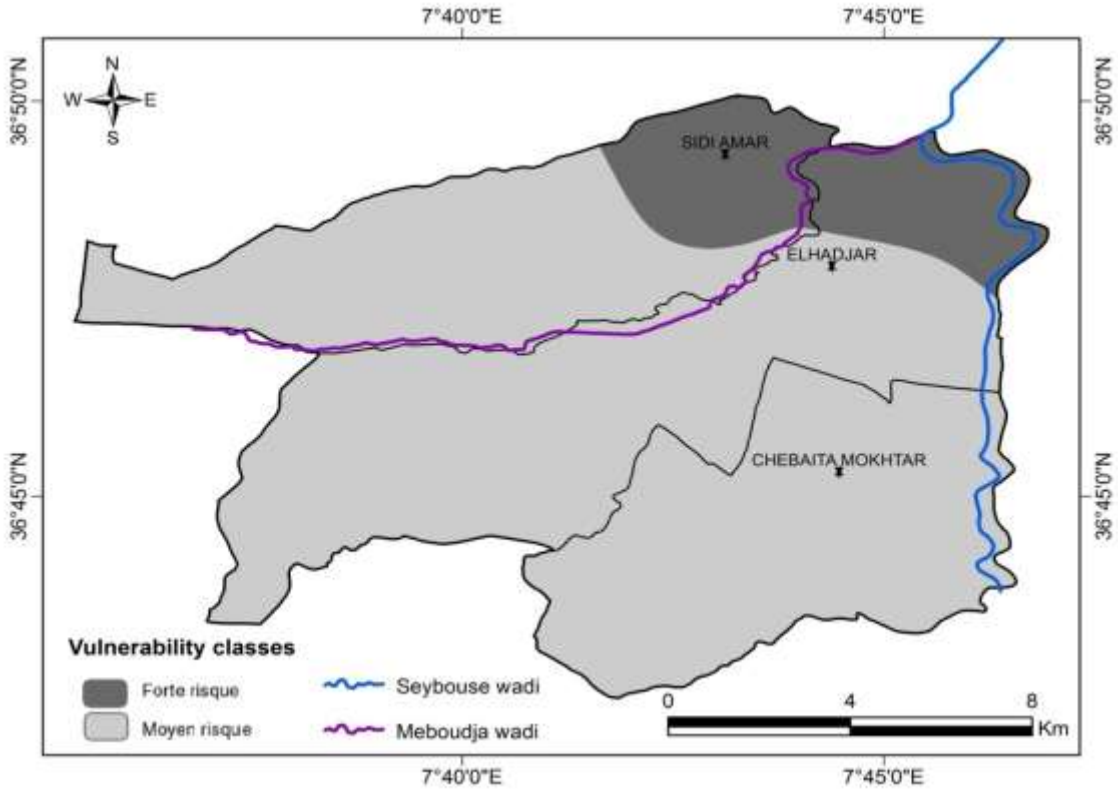


Fig.81: Carte de risque de pollution.

Le risque élevé à ce niveau, résulte à la fois de diversement des différents rejets directement dans l'oued Méboudja, vu sa faible vitesse, le risque devient important dans le cas où le niveau de l'oued dépasse celui de la nappe, ce qui produit une contamination de la nappe, cas de la partie amont de l'oued **(DEBIECHE, 2002)**.

L'intensité des sites industriels et l'implantation des agglomérations importantes, dans La zone enveloppant la partie Nord de la région d'étude, ainsi les facteurs naturelles tels que, la faible profondeur de la nappe et les formations semi-perméable des terrains, favorisent, le risque important du transfert des polluants vers la nappe

- Les zones à risque moyen sont représentées par la partie centrale, la percolation des polluants est possible à cause des échanges hydrodynamiques entre les deux nappes.

Conclusion :

Dans cette partie nous avons pu élaborer des cartes de vulnérabilité pour comparer les terrains entre eux et de les classifier selon le risque potentiel de pollution des eaux souterraines. Les valeurs obtenues de l'indice DRASTIC dans la région de travail font partie de deux classes de vulnérabilité, qui sont la classe de degré faible (65%) et la classe de degré moyen de vulnérabilité (33%.) Pour ce qui concerne le découpage, et l'estimation de la vulnérabilité par la méthode SINTACS montrent deux classes de vulnérabilité ; la première concerne les zones à faible degré de vulnérabilité rempli 15% de la région, et la deuxième classe a moyen degré occupe environ 85% de la région d'étude cette classe concerne la majorité des zones aux abords de grandes agglomérations, avec une activité anthropique importante (zone urbanisée, industrialisée, ...).Cette étude doit être comprise comme un défaut de protection, ou de défense naturelle des aquifères, qui sont encore très exposées à des
risques de contamination contre des menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques et anthropiques locales.

CONCLUSION GENERALE

La zone d'étude fait partie de la plaine d'Annaba, l'étude géologique de la région a montré qu'elle est constituée par deux types de terrain, l'un métamorphique représenté par le massif de l'Edough, Cap de fer et Bellielita et l'autre sédimentaire allant du Secondaire jusqu'au Mio-Plio-Quaternaire. Du point de vue structural, on y distingue deux fosses d'effondrement (Ben Ahmed et Ben Mhidi) dont l'étendue, la variation lithologique latérale et verticale a conditionné la formation de plusieurs horizons aquifères lenticulaires à continus sur toute l'étendue de la plaine.

L'étude hydrogéologique a mis en évidence l'existence de deux aquifères importants, l'un superficiel contenu dans les argiles sableuses et exploité par des puits destinés généralement à l'irrigation et à l'AEP des habitants et l'autre profond, formé de graviers et galets exploité par des forages pour répondre aux besoins domestiques (industriels et agricoles).

L'ensemble de l'étude climatique, nous a permis de déterminer les principales caractéristiques climatologiques de notre zone d'étude. Un climat de type méditerranéen a été mis en évidence avec un hiver pluvieux et humide et un été sec et chaud, la plaine d'Annaba est parmi les régions les plus arrosées en Algérie. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de (670,7mm) à la station des Salines, de l'ordre de (633,9mm) à la station de Pont Bouchet.

L'étude de la pollution des eaux souterraines et superficielles de la zone concernée montre l'existence de plusieurs polluants organiques au niveau des eaux de forages, des puits et des oueds avec des concentrations variables surtout au niveau des points des eaux superficielles, qui sont élevées et pouvant influencer la qualité des eaux de la région. On peut classer les eaux de surface et souterraines de la moyenne Seybouse en quatre classes différentes de très bonne et bonne à mauvaise et très mauvaise dont la pollution occupe plus de la moitié de la zone étudiée et se localise dans le centre et la partie Nord. Cette pollution est due à l'intensité des activités agricoles et industrielles, tels que les rejets urbains des eaux usées et les engrais chimiques

La détermination d'un périmètre de protection n'est pas nécessaire, le pouvoir épurateur très élevé entre [0.99- 2] et pouvant atteindre la valeur de (2.96). Notant que la profondeur influence sur les concentrations des polluants ; la qualité des eaux est évaluée et estimée d'une pollution organique modérée à pollution organique faible ,

à l'exception des eaux des oueds qui sont exposées à des déférentes sources de pollution.

La vulnérabilité intrinsèque à la pollution des eaux souterraine de la région d'Annaba objet de cette étude a été estimée par deux modèles couplés aux SIG qui sont DRASTIC et SINTACS. D'après le bilan de synthèse, on déduit donc que parmi les méthodes utilisées lors de ce travail, la méthode SINTACS est la méthode la plus adéquate pour l'estimation de la vulnérabilité intrinsèque à la pollution des eaux souterraines parce qu'elle englobe tous les paramètres qui déterminent le risque de pollution de cette nappe quelque soient les sources de polluants ou les facteurs influençant le transfert de ces polluants vers la nappe.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AGENCE DES BASSINS HYDROGRAPHIQUE CONSTANTINOIS ; Seybouse Mellegue, (2008) : Atelier sur la protection des eaux du bassin de la Seybouse contre la pollution Annaba-Algérie 19 Janvier 2008.

ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques). (2011). Les ressources en eaux dans la willaya d'Annaba. Rapport technique.

ABDALLA F. (2012): Mapping of groundwater prospective zones using remote sensing and GIS techniques: A case study from the Central Eastern Desert, Egypt Journal of African Earth Sciences 70 (2012) 8–17

ADAM J.W.H. (1980): Health aspects of nitrate in drinking-water and possibly, means of denitrification (literature review), Water SA, 6-79p.

ADOUR G. (2001) : Le nouveau système d'évaluation de la qualité de l'eau des rivières : le seq-eau François SIMONET, revue de l'Agence de l'Eau N°81, p.7-8.

ALBINET M, MARGAT J. (1970) : Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine, Bulletin BRGM 2ème série. p.13-22.

ALLER L, BENNETT T, LEHR J.H, PETTY R.J, HACKETT G.,(1987): DRASTIC: a standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. EPA, AdA, Oklahoma. 622p.

ATTOUI B. (2014) : Etat de la vulnérabilité à la pollution des eaux des grands réservoirs d'eaux souterraines de la région d'Annaba El-Tarf et identification des sites d'enfouissement de déchets. Thèse de doctorat, Université d'Annaba, p. 1-6.

BELABED BE. (2010) : La pollution par les métaux lourds dans la région de Annaba « Sources de contamination des écosystèmes aquatiques ». Mémoire de Doctorat en Sciences de la Mer Option : Biologie et physiologie des organismes marins. Université Badji Mokhtar, Annaba.

BOUBAKAR, HASSANE A. (2010) : Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique : Cas de la communauté urbaine de Niamey (NIGER), Thèse de l'Univ. Abdou Moumouni de Niamey (Niger), 198 p.

BOUGHERIRA N. (2008) : Impact des rejets industriels du complexe sidérurgique sur les eaux superficielles et souterraines dans la plaine de Meboudja, mémoire de magister UBM Annaba

BOUGHERIRA N., (2015) : Mécanismes de transfert des polluants métalliques dans la vallée de la Meboudja.Thèse de doctorat (W. d'Annaba), Université d'Annaba, p1-10

BREMOND R, VUICHARD R. (1973): Paramètres de la qualité des eaux, Ministère de la protection de la nature et de l'environnement. SPEPE, Paris.179 p.

BEZELGUES S, DES GARETS E. AVEC LA COLLABORATION DE MARDHEL V, DÖRFLIGER N. (2002) : Cartographie de la vulnérabilité des nappes de Grande-Terre et de Marie-Galante (Guadeloupe). Phase 1 - Définition de la méthode de détermination de la vulnérabilité. Rapport BRGM-51783-FR, 44p.

CAZAUX M. (2007) : Les eaux souterraines en Gironde. Cartographie de la vulnérabilité aux pollutions des nappes éocènes dans le secteur du Blayais. Rapport de stage Master II. Départ. Des sciences de la terre et de l'Environnement de Montpellier. 54 p.

CHAPMAN D, KIMSTACH V. (1996): Selectionof water quality variables. Water quality assessments: à guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp. 59-126.

CLAUDE, F, CHRISTIANNE, F, PAUL M, JEAN D. (1998) : Ecologie. Approche scientifique et pratique, 4éme Edition, Lavoisier TEC and DOC, Paris.

CIVITA M. (1994) : La carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento : Teoria e pratica. Pitagore Editrice, Bologna, 325 p.gérie, Dir. col. Hydraul. SES, Alger. 457 p., 3 cartes hl.

DEBIECHE T.H. (2002) : Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est algérien", Th. Doct. Univ de Franche-Comté.

DERRADJI F. (2004) : Identification quantitative et qualitative des ressources en eau dans la région d'Annaba – El Tarf (Nord-Est de l'Algérie). Thèse de doctorat d'état. Université d'Annaba.P124 -200

DJABRI L. (1996) : Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologique industrielle, agricole et urbaine. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba, 261p

DJAMEL FADEL, AZIZ LAIFA, RACHID DJAMAI. (2009) : Quantification des groupements paysagers périphériques au tronçon autoroutier Annaba – El Hadjar – Annaba, Colloque international Environnement et transports dans des contextes différents, Ghardaïa, Algérie, 1 6-18 fév. 2009. Actes, ENP ed. Alger, p. 41-50

DUBIEF J. (1953) : Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Publ. Gouv. Génér.

DUCHAINE D. (1998) : Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution (par l'intégration d'un SIG, de la télédétection et d'un modèle mathématique). I.N.R.S-Eau. Université du Québec. 83 p.

EASTMAN J, IDRISI R. (1995) : un SIG en mode image. Clark labs,for cartographic technology, and geographic analysis. Publication du CRIF, 500 p.

GAUD B. (1976) : Etude hydrogéologique du système aquifère d'Annaba – Bouteldja (synthèse des connaissances et recherche des conditions de modélisation) Rapport de l'ANRH. Algérie. 151p.

CHARIKH.M. (2015) : Estimation et cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines en milieu aride: application à la cuvette de Ouargla. Mémoire de magistère, université d'Ouargla 65p

GHAZALI D, ZAID A. (2010) : Etude de la qualité physico-chimique et Bactériologique des eaux de la source ain salama-jerri (region de meknes –maroc). Larhyss Journal, pp. 101-112

GLEIZES G., BOULOTON J., BOSSIERE G., COLLOMB P. (1988) : Données lithologiques et pétro-structurales nouvelles sur le massif cristallophyllien de l'Edough (Est-Algérien). C. R. Acad. Sci. Paris, t. 306, Série II, p. 1001-1008.

GUILLEMIN C, ROUX J.C. (1992) : Pollution des eaux souterraines en France. Éditions BRGM. 180P.

GUMBEL E. J. (1954): Statistical , theory of drought. Comptes rendus du American Society of Civil Engineers, V ol.80, Separate4 39

HAMDANI A, CHENNAOUIM, ASSOBHEI O, MOUNTADAR, M. (2004) : Caractérisation et traitement par coagulation, décantation d'un effluent de laiterie Lait 84 (2004) 317–328© INRA, EDP
Sciences

HAMDAOUI O. (1997) : Etude, Traitement et conditionnement des eaux industrielles destinées au circuit de refroidissement des cheminées de l'aciérie a oxygène N°1 (SIDER ANNABA). Mémoire de magister. Université d'Annaba, 202 p

HAMMOR D. (1992) : Du Panafricain au Miocène : 600 millions d'années d'évolution polycyclique dans le massif de l'Edough (Algérie Nord Orientale). Retracés par la pétrologie, la tectonique et la géochronologie (U/Pb, Rb/Sr, Sm/Nd et 39Ar/40Ar). Thèse de l'USTL anguedoc, Univ. De Montpellier II, 205 p

HANI A. (2003) : Analyse méthodologiques de la structure et des processus anthropiques : application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen. Th Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba. 214p.

HANNOUCHE M. (1990) : Approche à l'étude des mécanismes de la pollution d'une nappe alluviale côtière (Annaba) en site industriel urbanisé. Traitement statistique des données Hydrochimiques. Mémoire de magistère. Univ. Annaba. 202p.

HAMZA M.H., ADDED A., FRANCÉSB A. Rodríguez R., Validity of the vulnerability methods DRASTIC, SINTACS and SI applied to the study of nitrate pollution in the phreatic aquifer of Metline–Ras Jebel–Raf Raf (northeastern Tunisia) Geosciences de surface (Hydrologie–Hydrogéologie); Volume 339, Issue 7, June 2007, Pages 493–505.

HAMZA M.H., ADDED A BEN MAMMOU A., ABDELJAOUED S., RODRÍGUEZ R. (2004): Assessment of the vulnerability to pollution potential by pesticides,of the coastal aquifer of the plain of Metline-Ras Jebel-Raf Raf (Northeast

of Tunisia), through GIS modelling using DRASTIC method. Assainissement. LA HOUILLE BLANCHE/N° 5-2004. 9p.

HILLY J. (1962) : Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est constantinois, Bull. n°19 carte géologique Algérie, Alger**.**

JOLAUD L. (1936) : Etude géologique de la région de Annaba et de la Calle.

JOLEAUD L. (1936). : Etude géologique de la région de Bône et de la Calle. Bull. Serv. Carte Géol. de l'Algérie. 2e série, 12, 200p.

JORA. (2011) : Décret exécutif n° 11-219, fixant les objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau des populations.

JOURDA, K. J KOUAME, M. G ADJA, S. K DEH, A. T ANANI, A. T EFFINI, ET J BIEMI . (2007) : Evaluation du degré de protection des eaux souterraines : vulnérabilité à la pollution de la nappe de Bonoua (Sud-est de la Côte d'Ivoire) par la méthode DRASTIC. Session Environnement/Eau, 11p.

KACHI S. (2007) : Vulnérabilité de la nappe alluviale de Tebessa-Morcott face aux polluants. Th Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba. 163p

KHERICI N. (1993) : Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba-La Mafragh) Nord –Est Algérien. Thèse de Doctorat es sciences., Université d'Annaba (170 p).

LAHONDERE J.C. (1987) : Les séries ultra-telliennes d'Algérie Nord oriental et les formations environnantes dans le cadre structural. Th. Doct. Es-Sci. Univ.Paul Sabatier, Toulouse, France, 238 p.

LANDREAU A. (1996) : Contribution à une normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions des eaux souterraines, Rapport BRGM R38846. 28 p.

LOUHI A. (1996) : Pollution des eaux et sols. Cas de la région de Annaba, Etude des interférences et dosage Al, Fe, Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Sn, V et Hg par spectrométrie d'émission Plasma-ARC (DCPAES), absorption atomique (SAA) et spectrophotométrie UV/VIS., Th. Doct. Univ. Annaba, 167p.

MAKHOUKH M, SBAAI M, BERRAHOUI A, VAN.CLOOSTER M. (2010): Contribution à l'etude phisyco-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (MAROC ORIENTAL), Université Mohammed Premier, Oujda. Maroc, Université Catholique de Louvain. Belgique.149-169p de mer. Edition Dunod Paris.

MARIOTTI A. (1998) : Nitrate un polluant de longue durée. Pour la science, 249 : 60-65.

MEBARKI A., LABORDE J.P. (2012) : Synthèse cartographique des bilans hydriques de l'Algérie du Nord,

Colloque International de Rouen, Regards croisés Nord-Sud, Université de Rouen 25-26 sept 2012.

MESSAOUDI, TOUMI N. (2006) : impact des rejets urbains sur l'environnement cas de la plaine ouest de Annaba , mémoire d'ingénieur

NAFAA K. (1985) : étude Hydrogéologique du système aquifère Annaba Thèse de Doctorat 3eme Cycle, Université de Montpellier, France.

OMS. (1994) : Directives de qualité de l'eau de boisson. Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève, 2ème édition, Volume 2, 272-279 pp

ONA (office national d'assainissement), **2014**.

RAMDANI A.(1996) : Hydrogéologie et modélisation de la nappe dunaire de Bouteldja. Mém. Magistère Univ. de Annaba, 138p.

RENARDA F. (2002) : Cours d'hydrogéologie. Master Professionnel- DESS. 54 p.

RODIER J. (1996) : avec la collaboration de C. Bazin, J. P. Broutin, P. Chambon, H. Champsaur, L. Rodi. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème édition. DUNOD (1383 p).

ROUABHIA K. (2004): Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie) Sécheresse, vol. 15, N°4, pp347-352.

SABOUA T. (2010) : Origine de la pollution hydrique et atmosphérique dans la plaine ouest de la région d'Annaba. Mémoire de Magister en hydrogiologie. Université Badji Mokhtar, Annaba., Institut de la science de la terre.

SAYAD L. (2015):le pouvoir autoepurateur de l'oued seybouse sur les rejets de la laiterie de l'edough (Annaba Algérie) et les objectifs environnementaux des rejets. thèse de doctorat univ.de Annaba 145p

SCHNEBELEN N, PLATEL J.P, LENINDRE Y, BAUDRY D, HOARAU A, DUFOUR P, ET BENHAMMOUDA S. (2002) : Gestion des eaux souterraines en Aquitaine Année 5. Opération sectorielle. Protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise – Rapport BRGM/RP-51178-FR. 75p.

SELTZER P. (1946) : Le climat de l'Algérie. Trav. Instit. Meteorol. Phys. GL. Alger, T1-T2 219p.

SEGHIR K. (2001) : Les géosynthétiques et la protection de l'environnement.1er Séminaire National de Génie Civil, le 27/28/Mai 2001 au Centre Universitaire de Tébessa.

SINAN M, BOUIBRINE N. (2007) : Utilisation des SIG pour la comparaison des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des nappes à la pollution. Application à la nappe du Haouz de Marrakech (Maroc). Atelier international sur l'utilisation des techniques spatiales pour le développement durable. Rabat, 25-27 avril 2007.

SONATRACH. (1966) : Esquisse structurale de la plaine de Annaba. Rapport A.N.R.H., inédit. Annaba, Algérie.

STEWART PH. (1975) : Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application pour le barrage vert. Bull. Soc. Hist. Nat. AFN. Fsc. 65, 1 et 2, Alger, pp 239-252.

STROJEXPORT. (1975) : Prospection géophysique de la plaine d'Annaba. Réinterprétation. Rapport A.N.R.H., inédit, Annaba, Algérie, 30 p.

THORNTHWAITE W.C. (1933): The climates of the earth. The Geographical Review, Vol. 23, pp. 433-440.

THORNTHWAITE W.C. (1948): An approch Toward a Rational Classification of Climate. The Geographical Review, Vol. 38, pp. 55-94.

(UNEP /MAP /MEDPOL). (2004): Guidelineson environmental inspection systems, for Mediterranean region. MAP technical reports series N° 149.

VERBA J, ZAPOROZEC A. (1994) : Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International Association of Hydrogeologists, v.16. 131 p. Guide sur la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines.

VILA J. M.(1980) : La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro Tunisiens, Thèse de Doctorat ès sciences Nat., Université de Pierre Marie Curie, Paris VI, France, 2t Vol. 4, pp 95-111.

ZERROUKI H. (1999) : Diagnostic pour une éventuelle réhabilitationdes eaux de la Seybouse-La basse plaine- ANNAABA, Mémoire de magistère, Univ. Annaba, 109p.