

Résumé	
Abstract	
Remerciement	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	

Chapitre I : Cadre générale

I. Situation géographique	3
II. Aperçu socio-économique	5
II.1. Agriculture	5
II.2. Industrie	5
II.3. Population	6
III. Aspect géomorphologique	7
III.1. Les terrasses de la Seybouse	7
III.2. Les montagnes	8
III.2.A. Le massif de l'Edough	8
III.2.B. Le tell Nord Guelmien	8
III.3. Le domaine des plaines	9
A/ La plaine de Annaba	9
B/ la plaine d'El Hadjar	9
III.4. La dépression de lac Fetzara	10
VI. Végétation	10
Conclusion	12

Chapitre II : Cadre Géologique

I. Description lithologique	13
I. 1. Le Néoprotérozoïque-Paléozoïque	13
I. 2. Le Néoprotérozoïque-Paléozoïque	15
1. 3. Le Mésozoïque - Cénozoïque	15

1. 4. Le Quaternaire	18
II. Tectonique	19
Conclusion	20
Chapitre III : Hydroclimatologie	
Introduction	21
I.1. Les stations de mesure	21
I.2. Type de climat	22
II. Les paramètres climatiques	22
II.1. Les précipitations	23
II.1.A. Les précipitations mensuelles	23
II.1.B. Les précipitations annuelles	25
II.2. La température	27
II.2.1. Diagramme Ombrothermique	28
II.3. L'humidité	30
II.4. Le vent	30
III. Le bilan hydrique	30
III.1. L'évapotranspiration	30
III.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)	31
III.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR)	31
A. Formule de Thornthwaite	31
B. Formule de Turc	32
C. Formule de Coutagne	32
D. Comparaison	33
III.2. Le ruissellement	33
III.3. Estimation de l'infiltration	34
A. La méthode des chlorures	34
B. La méthode de Thornthwaite	36
III.4. Calcul du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite	36
A. Interprétation du Bilan hydrique	38
IV. Etude hydrologique	40
IV. 1. Station hydrométrique	40
IV. 2. Etude du réseau hydrographique	40
IV.3. Etude des débits	43
A. Débits moyens mensuels	43
B. Coefficient mensuel de débits	44

C. Débits moyens annuels	45
Conclusion	47
Chapitre IV : Hydrogéologie	
I. Introduction	49
II. Identification des nappes	49
II.1. La nappe des formations superficielles	50
II.2. La nappe des graviers	50
II.3. La nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja	50
II.4. La nappe des alluvions de la haute terrasse	50
II.5. La nappe des cipolins	50
II.6. La nappe des travertins	50
II.7. La nappe libre du cordon dunaire	50
III. L'outil hydrogéologique	51
IV. Caractéristiques géométriques de La nappe superficielle	52
IV.1. Alimentation de la nappe superficielle	54
V. La piézométrie de l'aquifère	54
V.1. Interprétation des cartes piézométriques	54
V.1.1. Calcul de gradient hydraulique	54
V.1.2. Interprétation des cartes piézométriques	55
V.2. Relation nappe superficielle- l'oued	56
Conclusion	59
Chapitre V : Hydrochimie	
Introduction	60
I. Les sources de pollution	60
I.1. Pollutions urbaines et domestiques	60
I.2. pollution industrielle	62
I.3. Pollution agricole	64
I.4. Les décharges sauvages	68
II. Caractéristiques chimiques des rejets	69
II.1. Les rejets urbains	69
II.2. Les rejets industriels	70
III. Qualité des eaux	71
- Les prélèvements et analyses de l'eau	72
III.1. Résultats et interprétations	74
III.1.1. Variation des paramètres physico-chimique	74
■ Variation du pH	74
■ Variation du potentiel d'oxydoréduction (EH mV)	75
■ Variation de la température (T °C)	76
■ Variation de la conductivité électrique (CE μ s/cm)	77
■ Variation de l'oxygène dissous (O ₂)	78
III.1.2. Les eaux de surface	79
III.1.2.1 Statistiques élémentaires	79

III.1.2.2. Analyse en composantes principales	80
♦ Résultats et interprétations	81
b/ Comparaison des eaux OF et les eaux de S1	84
III.1.3. Les eaux de la nappe superficielle	84
III.1.3.1. Statistiques élémentaires	84
III.1.3.2. Le cercle ACP 2	85
IV. Pollution des eaux de surface	88
IV. 1. Variation des éléments majeurs	88
IV.1.1. Chlorure (Cl ⁻) et sodium (Na ⁺)	88
IV.1.2. Calcium (Ca ²⁺)	89
IV.1.3. Magnésium (Mg ²⁺)	89
IV.1.4. Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	89
IV.1.5. Sulfates (SO ₄ ²⁻)	89
IV.1.6. Potassium (K ⁺)	91
IV.1.7. Risques de sodicité et de salinité	91
IV. 2. Variation des éléments de pollution	94
IV. 2.1. Les nitrates (NO ₃ ⁻)	94
IV.2.2. Les nitrites (NO ₂ ⁻)	94
IV.2.3. L'ammonium (NH ₄ ⁺)	95
IV.2.4. Phosphate (PO ₄ ³⁻)	95
IV.2.5. Diagramme ammonium- nitrate	96
IV.2.6. L'évolution des nitrates en fonction des paramètres physico-chimiques	97
IV.3. Pollution par les métaux lourds	98
IV.3.1. Le Fer total	98
IV.3.2. Le Cuivre	99
IV.3.3. Le Plomb	99
IV.3.4. Le Zinc	99
IV.3.5. Le Nickel	99
IV.3.6. Le manganèse	

Table Des Matières

IV.4. Evolution bactériologique	101
Coliformes	101
A / Coliformes totaux	101
B / Coliformes fécaux	101
C / Les streptocoques	102
IV.5. Impact des eaux de surface sur la nappe superficielle	102
IV.5.1. Evolution des éléments chimique	102
Conclusion	107
Conclusion générale	109
Bibliographie	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Présentation des différentes cultures par secteur	5
Tableau 2	Répartition de la population par commune en 2006 de la basse Seybouse	6
Tableau 3	Les coordonnées des stations de mesures (D'après ANRH Constantine)	21
Tableau 4	Précipitations moyennes mensuelles	23
Tableau 5	Précipitation annuelles dans les stations des Salines, Pont Bouchet et Bouchegouf (mm)	25
Tableau 6	Températures moyennes mensuelles	27
Tableau 7	Moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station des Salines en % (1975/2007)	30
Tableau 8	Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à la station des Salines (1975/2007)	30
Tableau 9	Résultats de l' ETR par la méthode de Turc	32
Tableau 10	Vérification de la condition $1/8\lambda < p \text{ (m)} < 1/2\lambda$.	32
Tableau 11	ETR selon la méthode de Coutagne	33
Tableau 12	Corrélation des climats	33
Tableau 13	Résultats du ruissellement	34
Tableau 14	Estimation de l'infiltration (mm) par SCHOLLER au mois d'avril	35
Tableau 15	Estimation de l'infiltration par la méthode de Thornthwaite.	36
Tableau 16	Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station les Salines (1977-2007)	37
Tableau 17	Bilan hydrique selon la méthode de C.W Thornthwaite. Station de Pont Bouchet (1977/2007)	37
Tableau 18	Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Bouchegouf (1985-2007)	37
Tableau 19	Station hydrométrique du bassin versant (Seybouse)	40
Tableau 20	Moyennes mensuelles interannuelles des débits en m ³ /s	43
Tableau 21	Description géologique et hydrogéologique du site	52
Tableau 22	Les récepteurs des eaux usées au niveau de la basse vallée de la Seybouse.	61
Tableau 23	Le volume des eaux usées rejeté dans la Seybouse (2004).	61
Tableau 24	Inventaire des entreprises existant dans la région.	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 25	La répartition des stations de lavage et vidange à travers la zone d'étude.	64
Tableau 26	Statistiques des différents engrais et produits phytosanitaires utilisant dans la région de Annaba (compagne 2005 / 2006).	65
Tableau 27	Analyse physico-chimique de l'eau du rejet urbain de Sidi Amar (novembre, 1999)	69
Tableau 28	Résultats des analyses chimiques des eaux à traiter.	70
Tableau 29	Composition physico-chimique de quelques rejets industriels	71
Tableau 30	Variations du pH pendant la période de janvier a juin 2007.	74
Tableau 31	Variations du potentiel d'oxydoréduction pendant la période de janvier a juin 2007.	75
Tableau 32	Variations de température pendant la période de janvier a juin 2007.	76
Tableau 33	Variations de conductivité électrique pendant la période de janvier a juin 2007.	77
Tableau 34	Variations de l'oxygène dissous pendant la période de janvier a juin 2007.	78
Tableau 35	Variations des concentrations des éléments majeurs des eaux	79
Tableau 36	Comparaison des eaux OF et les eaux de S1	84
Tableau 37	Variations des concentrations des éléments chimiques des eaux	84
Tableau 38	Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation (Méthode du SAR).	92

LISTE DES FIGURES

Fig.1.	Carte de situation géographique de la zone d'étude	4
Fig.2.	Carte de population dans la basse Seybouse (2006)	7
Fig.3.	Les Carte orographique du Nord-Constantinois (D'après Hilly 1962, modifiée)	9
Fig.4.	Le couvert végétal dans le secteur de la Seybouse maritime (d'après K.N. BOUARE ET E.KABIRA, modifiée)	11
Fig.5.	Esquisse géologique de la région d'étude (d'après Djabri et al. 2003 ; modifiée)	14
Fig.6.	Coupes au travers de la plaine de Annaba (D'après A. Hani 2003)	17
Fig.7.	Coupe géologique de la région de Bouchegouf (d'après W. Chawi 2007)	19
Fig.8.	Précipitations annuelles médianes « normales » (1965-95) (D'après ANRH-GTZ ,2003) In Azzedine MEBARKI et Jean-Pierre LABORDE	22
Fig.9.	Variation des précipitations moyennes mensuelles	24
Fig.10.	Variation annuelle des précipitations.	26
Fig.11.	Variation mensuelles des températures	28
Fig.12.	Diagramme ombrothermique	29
Fig.13.	La représentation de l'infiltration dans la région.	35
Fig.14.	Représentation graphique du bilan hydrique	39
Fig.15.	Carte de réseau hydrographique du bassin versant de la Seybouse	42
Fig.16.	Variation des débits moyens mensuels	44
Fig.17.	Représentation du coefficient mensuel de débits	45
Fig.18.	Variation des débits moyens annuelle	46
Fig.19.	Extension des différents aquifères dans les plaines de Annaba (In HANI 2003)	49
Fig.20.	Position des nappes souterraines dans la basse plaine de la Seybouse (in	51

LISTE DES FIGURES

	Debieche 2002)	
Fig.21.	Carte des isopaches de la nappe phréatique de la basse plaine de la Seybouse in Hani, 2003)	53
Fig.22.	Carte d'inventaire des points d'eau	56
Fig.23.	Carte piézométriques hautes eaux	56
Fig.24.	Carte piézométriques basses eaux	56
Fig.25.	Relation hydrodynamique entre l'oued et la nappe superficielle en fonction de la distance par rapport à le niveau piézométrique	58
Fig.26.	Tendance de l'utilisation des engrais en Afrique du nord (1990-2000).	66
Fig.27.	Carte d'inventaire des entreprises industrielles et des rejets dans la région	67
Fig.28.	La localisation des décharges sauvages	68
Fig.29.	Composition d'une eau usée domestique	69
Fig.30.	Carte d'inventaire des points de prélèvement	73
Fig.31.	Variation du pH	75
Fig.32.	Variation du potentiel d'oxydoréduction (EH mV)	76
Fig.33.	Variation de la température	77
Fig.34.	Variations de la conductivité en $\mu\text{S.cm}^{-1}$	78
Fig.35.	Variation de l'oxygène dissous (O_2)	79
Fig.36.	Cercle ACP des eaux souterraines (eau de surface)	82
Fig.37.	Plan I-II des individus (eau de surface)	82
Fig.38.	Carte récapitulative des concentrations des éléments chimique (Eau de surface)	83
Fig.39.	Cercle ACP des eaux souterraines	85
Fig.40.	Plan I-II des individus (eau souterraine)	85
Fig.41.	Carte des différents types de pollution.	86
Fig.42.	Variation des éléments majeurs (Chlorure et sodium)	87
Fig.43.	Variation des éléments majeurs (sulfate, bicarbonate, calcium et magnésium)	89
Fig.44.	Variation de potassium	90
Fig.45.	Diagramme de richards	92

LISTE DES FIGURES

Fig.46.	Variation de nitrate	93
Fig.47.	Variation de nitrite	94
Fig.48.	Variation de l'ammonium	94
Fig.49.	Variation de phosphate	95
Fig.50.	Diagramme nitrate Ammonium des eaux de surface.	96
Fig.51.	L'évolution des nitrates en fonction des paramètres physico-chimiques	97
Fig.52.	Variation des concentrations des métaux lourds	99
Fig.53.	Evolution de la charge bactériologique	101
Fig.54.	Evolution des concentrations des éléments Mg, Ca et HCO ₃	102
Fig.55.	Evolution de concentration de Cl et de Na	102
Fig.56.	Evolution de concentration de sulfate	103
Fig.57.	Evolution de concentration de potassium	103
Fig.58.	Evolution de concentration de NO ₃ , NO ₂ et NH ₄	104
Fig.59.	Evolution de concentration de phosphate	105
Fig.60.	La qualité des eaux de basse Seybouse	106

Introduction générale

Pendant longtemps, l'eau a été considérée comme un bien naturel, un « don du ciel » gratuit, d'exploitation facile, bon marché et pour ainsi dire son accès ne posait aucun problème car à la portée de tout le monde.

Le développement qu'a connue et que connaît le monde, les recommandations de l'OMS (qui préconise un accès universel à l'eau), les effets des changements climatiques, font que l'eau soit devenue une denrée très rare et très précieuses.

Par ailleurs les pays en voie de développement dont fait partie l'Algérie, ont connu une évolution qui s'est répercutée négativement sur le cadre de vie du citoyen.

L'industrialisation massive a en outre conduit à un exode rural très important de ce fait des constructions ont été faites à la va vite au détriment des règles élémentaires d'hygiène, à ce titre l'assainissement était souvent négligé, ce qui a eu pour conséquence la apparition d'égouts à ciel ouvert, exposant ainsi la population aux risques de maladie.

Ces différentes pollutions sont très présentes au niveau de la vallée de la Seybouse.

Aujourd'hui encore et au cours de nos différentes sorties, nous avons remarqué que les eaux des différents Oueds sont utilisées pour l'irrigation, facilitant volontairement ou involontairement les risques de transferts de pollution. En effet l'eau d'irrigation entraîne avec elle les polluants qui vont se retrouver au niveau des différentes nappes.

Pour juguler ces pollutions il devient impératif de connaître la qualité des eaux de l'oued Seybouse et de ses affluents, ce qui permet de chercher les sources des apports pouvant dégrader la qualité des eaux.

Cette étude est une contribution à la détermination des caractéristiques physico chimiques et de leurs impacts sur la ressource en eau superficielle et profonde de la basse vallée de la Seybouse.

Le présent mémoire comprend cinq chapitres, au cours de ces derniers nous avons essayé de mettre en exergue les variations spatiales de la qualité des eaux.

* Ainsi dans le premier chapitre nous donnons un aperçu du cadre général de la région d'étude. Nous avons insisté sur la géomorphologie de zone, les formes décrites peuvent constituer un facteur aggravant de la pollution.

* Le deuxième chapitre traite la géologie, il décrit les formations à l'affleurement, de ce fait nous remarquons que les formations métamorphiques et les formations éruptives constituent la bordure Ouest par contre les formations sédimentaires prédominent et sont présentes sur le reste de la zone d'étude.



INTRODUCTION GÉNÉRALE

* Le troisième chapitre important et est consacré à l'étude du climat de la zone. Au cours de ce chapitre nous avons quantifié les apports par les précipitations au niveau de trois stations. Nous avons remarqué une variation des précipitations, ce qui peut influencer négativement sur la qualité des eaux, particulièrement au cours des années déficitaires.

* Le quatrième chapitre consacré à l'hydrologie souterraine, il a été entamé par une identification des aquifères de la zone d'étude. Ensuite nous nous sommes intéressé aux informations issues des cartes piézométriques. On a remarque que les écoulements suivaient la topographie, par ailleurs une relation mixte entre l'Oued et la nappe a été mise en évidence. Ceci pourra constituer une première explication au problème de pollution.

* Le cinquième chapitre est le maillon fort de notre travail. Les analyses chimiques réalisées et interprétées ont mis en évidence une pollution des eaux dont les origines sont diverses, ce qui nous amené a utiliser plusieurs méthodes de traitements. On remarque que ces dernières convergent toutes et montrent une dégradation de la qualité des eaux.

Pour terminer nous recommandant aux décideurs de faire payer les pollueurs et de se pencher sur la provenance des produits agricoles au niveau des marchés. Par ailleurs un travail au niveau de la parcelle s'impose, c'est-à-dire qu'il faut identifier les agriculteurs disposant de forages de ceux utilisant les eaux des Oueds et autres, ce qui pourra atténuer les risques de pollution et éviter les maladies à transmissions hydriques souvent coûteuses pour l'état.

Cadre général

C H A P I T R E I

I. Situation géographique

La région d'étude est située dans les territoires des wilayas de Guelma, El Tarf et Annaba. Elle est limitée :

- Au Nord, la mer méditerranée ;

- A l'ouest, par le massif de l'Edough (1008m) et le bassin fermé du lac Fetzara dont il est séparé par les croupes septentrionales du Dj.Haouara (981). Plus au Sud Ouest par les crêtes de la forêt de Béni Mezzeline.

- à l'Est, le prolongement oriental du système aquifère Annaba – Bouteldja, et au Sud Est par le Dj.Bni Salah.

- Enfin Au Sud la chaîne numidique (1411 m).

La Seybouse est un des Oueds les plus importants de l'Algérie par la longueur de son parcours, le nombre de ses affluents et la superficie de son bassin. La région d'étude fait partie du grand bassin versant de l'oued Seybouse qui couvre au total une superficie de 6471m². Il possède trois parties bien différentes : (1) les hautes plaines (Haute Seybouse), (2) le tell méridional (Moyenne Seybouse) et (3) le tell septentrional (Basse Seybouse). Ce dernier est la zone d'étude.

Le nom de Seybouse ne s'applique qu'à une partie de son cours. La Seybouse a ses origines les plus éloignées de la mer dans les hautes plaines de Heracta et des Sellaoua qui s'étalent à une altitude de 800 à 1000 m. Il draine des reliefs assez simples avec des écoulements lents.

Dans ces régions, son régime et son réseau sont bien différents de ceux qu' il acquiert en pénétrant dans le tell qui est fortement accidenté et très complexe où le réseau hydrographique est rarement adapté à la structure. A la sortie de cette dernière, la Seybouse pénètre dans la basse plaine de Annaba perdant sa torrentialité et abandonnant une grande partie de sa charge solide. Les faibles pentes, le cordon dunaire et les vastes zones d'inondation, favorisent largement la stagnation des eaux et rendent difficile l'écoulement fluvial vers la mer.

Au niveau de la basse Seybouse, située entre Bouchegouf et Annaba (Fig. 1), l'oued s'écoule dans une vallée étroite, rectiligne du Sud vers le Nord ; c'est-à-dire de Bouchegouf jusqu'à Chihani. A partir de Chihani, l'oued traverse la plaine d'Annaba et se jette dans la mer.



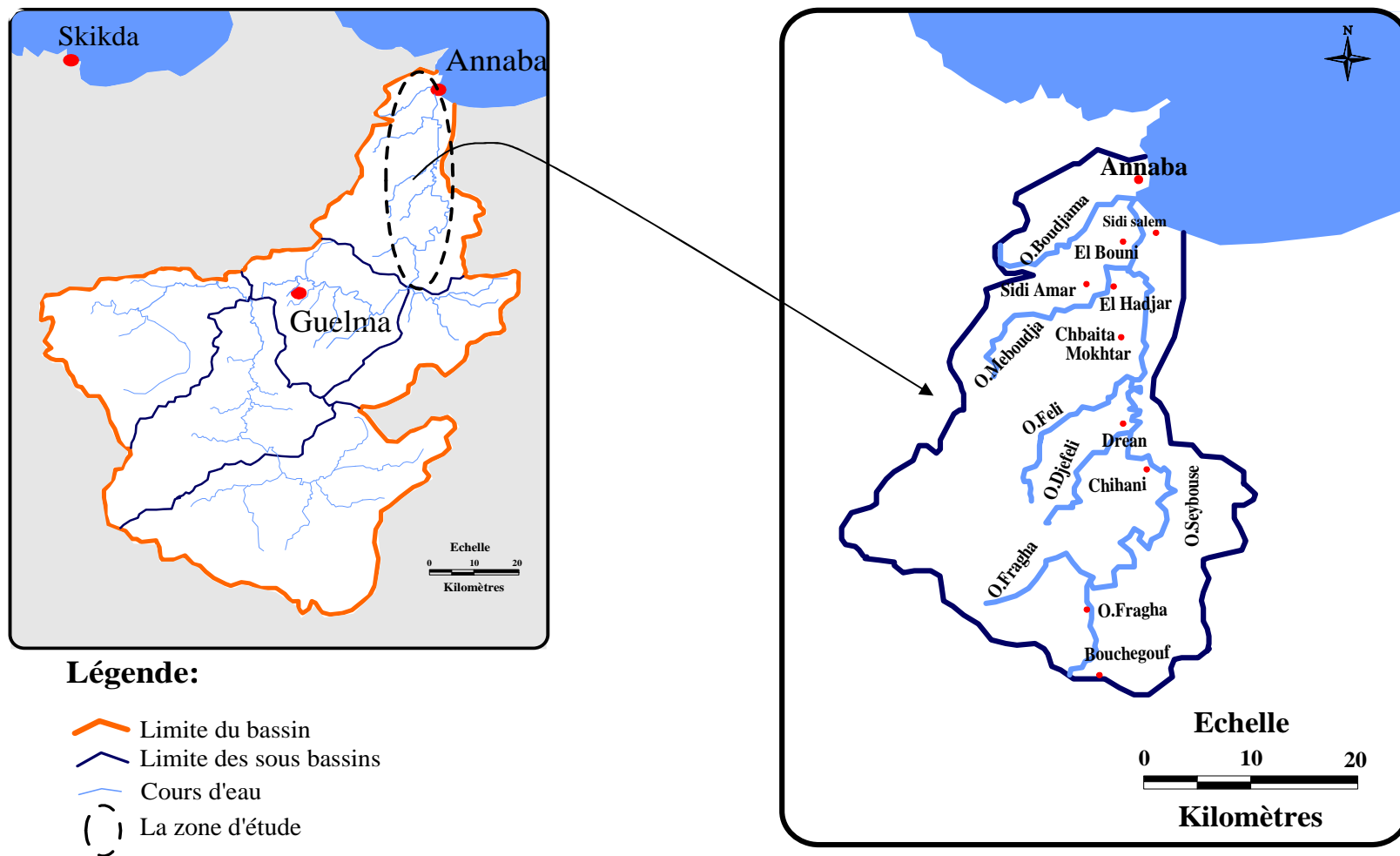


Fig.1. Carte de situation géographique de la zone d'étude

II. Aperçu socio-économique

La région d'étude est une région à vocation agricole et industrielle

II.1. Agriculture

L'agriculture est observée sur l'ensemble de la zone, avec une très grande variété de cultures, céréalières, maraîchères et arboricoles.

L'irrigation dans le bassin de la Seybouse occupe une superficie de 13976 hectares. Irrigation traditionnelle (gravitaire) dans le bassin du Haut Cherf, et irrigation moderne (par aspersion) dans la basse Seybouse.

Tableau 1. Présentation des différentes cultures par secteur.

Secteur	Bouhegouf	Ain ben Beida Drean	El Hadjar	Seybouse Nord	Annaba
Commune	Bouhegouf Oued Fraga	Ain ben Beida Drean Chebaita Chihani	El Hadjar Sidi Amar	El Bouni	Annaba
Superficie irriguée	880	0	1446.5	673	82. 5
Culture	Céréalière Arboriculture Maraîchère	Céréalière Arboriculture Maraîchère Industrielle	Maraîchère Industrielle	Maraîchère et industrielle	Maraîchère et industrielle
Ressources en eau	Barrage Hamam Debagh	Barrage Hamam Debagh	Retenue collinaire et barrage Bounamoussa	Retenue collinaire, puits, forage et fil d'eau	Puits, forage et fil d'eau
Mode d'irrigation	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion
Point de rejet	Oued Seybouse	Oued Seybouse	Oued Meboudja Seybouse	Oued Seybouse	Oued Boudjema

Source : cahiers de l'agence de bassin hydrographique (2002).

II.2. Industrie

Les industries dans le bassin de la Seybouse sont principalement regroupées dans le sous bassin de la Seybouse Maritime. C'est des villes importantes d'Annaba, El Hadjar, El Bouni et Sidi Amar que le tissu industriel est le plus dense.

Trois catégories d'industries sont observées :

- industries lourdes;
- industrie chimique;
- et enfin l'industrie agro-alimentaire présentée par de petites entreprises.



II.3. Population

La population qui se trouve sur la zone d'étude atteinte plus 685286 habitants, elle est fortement concentrée dans les agglomérations les plus importantes (chef lieu de la Wilaya, des daïra et des communes). Le tableau 2 montre le nombre de population estimée pour l'année 2006 (Fig.2.).

Tableau .2. Répartition de la population par commune en 2006 de la basse Seybouse.

Daïra	Commune	Wilaya	Population (Hab.)
Boucheougouf	Boucheougouf	24	25878
	Oued Fragha		8083
	Ain BenBeida		10655
	Nechmaya		8066
Drean	Chihani	36	10226
	Drean		38892
	Chebaita. M		24762
Annaba	Ain Berda	23	10956
	El Hadjar		38655
	Sidi Amar		92273
	El Bouni		138013
	Annaba		278827
Total			685286

Source : Pdau Annaba, RGPH



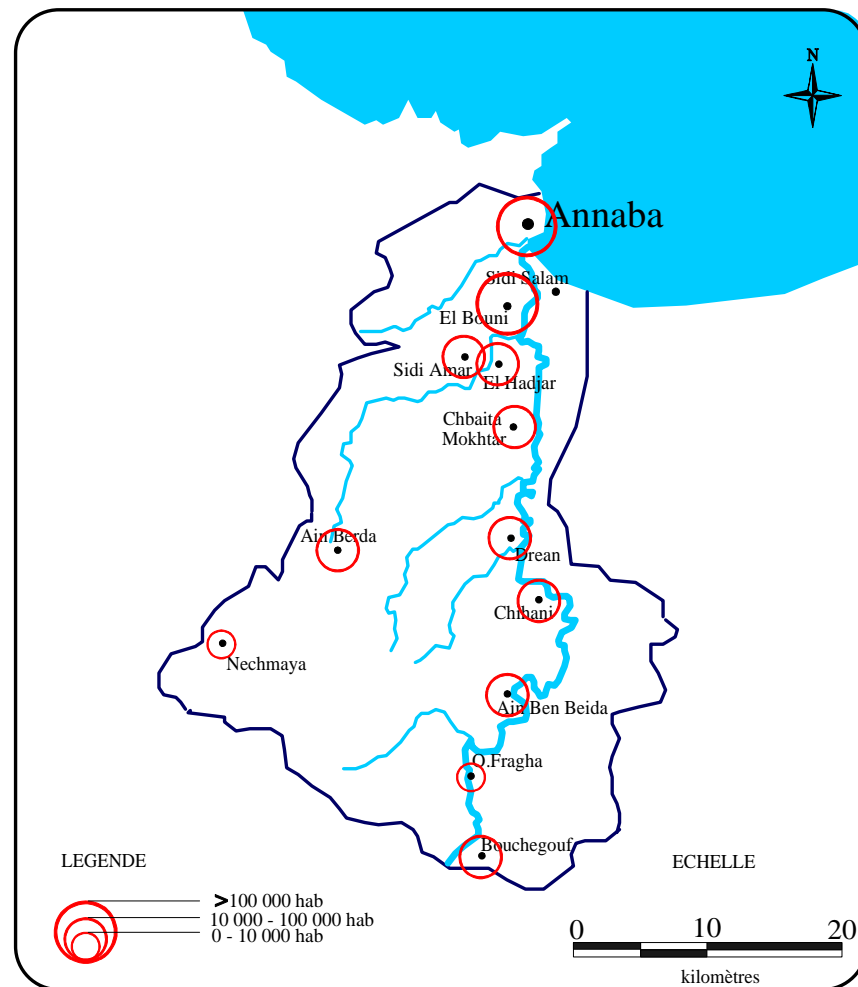


Fig.2. Carte de population dans la basse Seybouse (2006).

III. Aspect géomorphologique

Dans le large espace drainé par cet important cours d'eau plusieurs milieux naturels apparaissent ce qui laisse entrevoir les formes géomorphologiques suivantes :

III.1. Les terrasses de la Seybouse

La Seybouse présente le long de son cours des terrasses alluviales étagées à des cotes diverses. Les principales unités géomorphologiques que l'on pouvait remarquer sont :

- Hautes terrasses (située à de altitudes allant de 100 à 150 m) : Ce sont des formations argileuses pratiquement imperméables qui ne présentent aucun intérêt hydrogéologique. Elles sont localisées surtout entre Dzean et Ain Berda.



- Moyennes terrasses (située à des altitudes variant entre 20 et 50 m) : Ce sont des formations constituées de cailloutis à la base, assez fines au sommet, formées de graviers, de galets et spécialement d'argiles sableuses. Elles présentent un intérêt hydrogéologique peu important.

- Basses terrasses (situées à une altitudes moyenne de 15 m) : Elles sont formées par des dépôts alluvionnaires constitués d'un matériel argilo-limoneux avec des galets, graviers et sables. Ce sont des formations accumulatives d'eaux souterraines.

III.2. Les montagnes

A. Le massif de l'Edough

C'est le massif principal qui caractérise la région de Annaba. De plus de 1008 m, il s'élève brusquement au dessus des autres reliefs qui l'entourent. Sa masse principale de direction NE-SW, présente une ligne de crête longue de 26 km qui débute depuis le lac de Fetzara au Sud et s'élève progressivement jusqu'au point culminant (1008 m) à Kef Sebaa pour redescendre ensuite depuis Seraidi vers Cap de Garde au Nord.

Au Sud, ce massif est flanqué par le Djebel Boukantas (511 m) et Belilieta (287 m) et se prolonge vers Annaba par le petit massif de Boukhadra (156 m).

B. Le tell Nord Guelmien

Le tell Nord-Guelmien présente une allure nettement dissymétrique. Le versant sud domine, par les fortes pentes, les vallées de l'Oued Bou Hamdane et le bassin de Guelma drainé par l'Oued Seybouse. En revanche, le versant nord descend plus lentement vers le lac Fetzara. Le Djebel Haouara culminant à 981 m, domine fièrement toute cette région. Plus au nord, un massif gréseux affleure en allant de Bouati Mahmoud à Ain Berda. Il est relayé à l'est d'Ain Berda par les Djebels Hadjar Nahal et Oust.



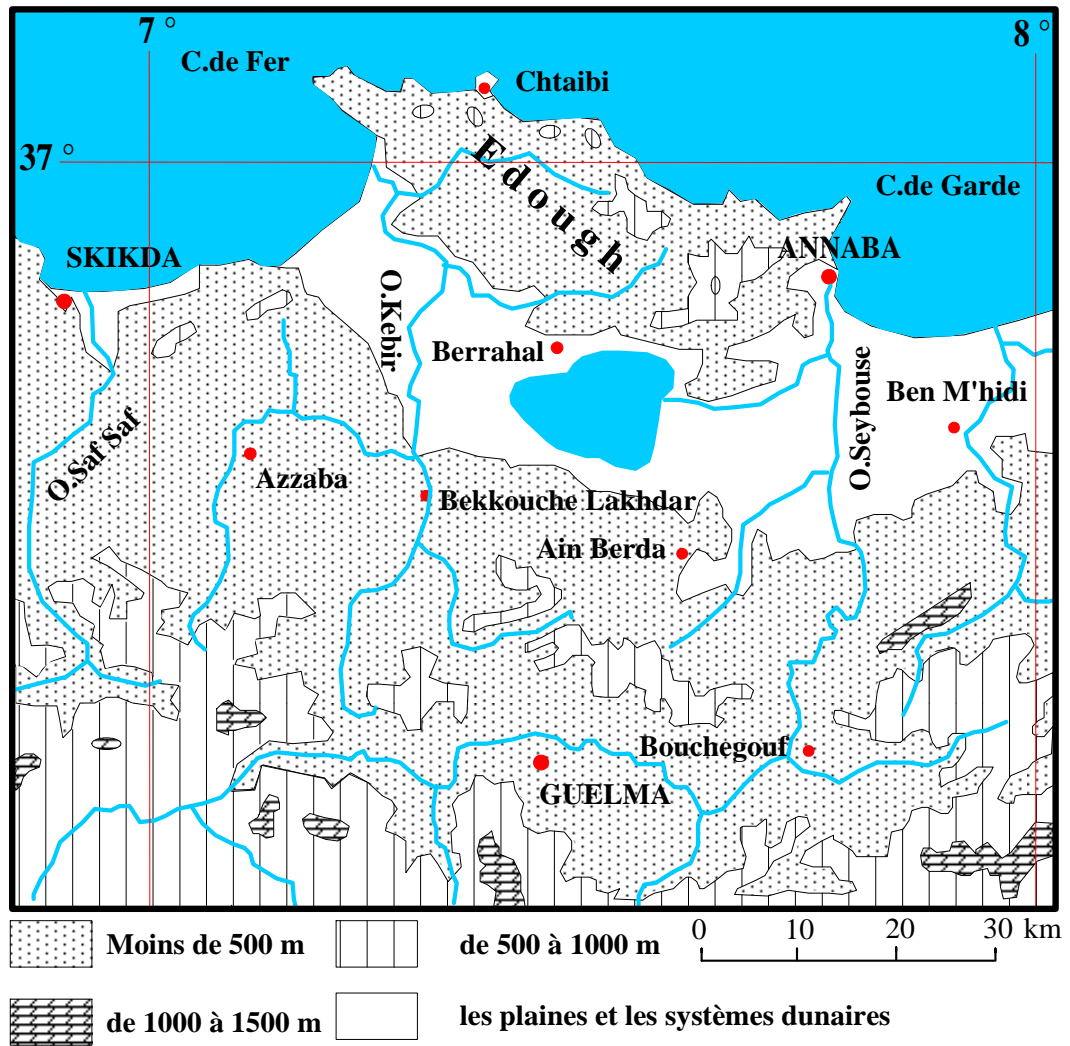


Fig.3.La carte orographique du Nord-Constantinois (D'après Hilly 1962, modifiée).

III.3. Le domaine des plaines

A/ La plaine de Annaba

C'est la plaine drainée par les deux oueds : Seybouse au Sud et Bounamoussa au Nord (cf. Fig. 3). Elle se situe au centre d'un synclinaurium limitée par le massif de l'Edough au Nord et la chaîne numidienne au Sud.

B/ la plaine d'El Hadjar

Elle présente une forme inclinée vers la mer et occupe la partie Est du fond de la cuvette du lac Fetzara et se prolonge vers la plaine de Annaba (cf. Fig. 3). La liaison entre le lac et la plaine d'El Hadjar se fait par l'oued Meboudja.



III.4. La dépression de lac Fetzara

La dépression du lac Fetzara est séparée de la plaine de Guerbes par les petits massifs de Boumaiza et Berrahel, tous deux forment un arc de cercle qui sépare le massif de l'Edough du Tell Nord Guelmien (cf. Fig. 3). La bordure Nord correspond à la retombée du massif de l'Edough et Belilieta.

Le lac est couvert de joncs (plantes aquatiques) vers le littoral, puis de sripes et enfin de phragmites à 2 m ou 3 m de la côte. Son fond est limoneux, riche en matières organiques résultant de la décomposition sur place des plantes. Cette vase repose, par l'intermédiaire d'argile molle d'épaisseur variant entre 0 et 40 m (Zenati, 2000), sur une argile compacte (argile de Numidie).

IV. Végétation

La nature des terrains du sous bassin de la Seybouse combinée d'altitudes, donc d'humidité et de température, détermine un couvert végétal très varié. L'essentiel de la couverture végétale est représenté par des cultures diverses. On distingue deux catégories :

- Le domaine agricole : est représenté par les grandes cultures et parcours, les oliviers.
- la végétation naturelle : regroupe toute la végétation naturelle; les forêts, les maquis, et les broussailles. (Fig.4)



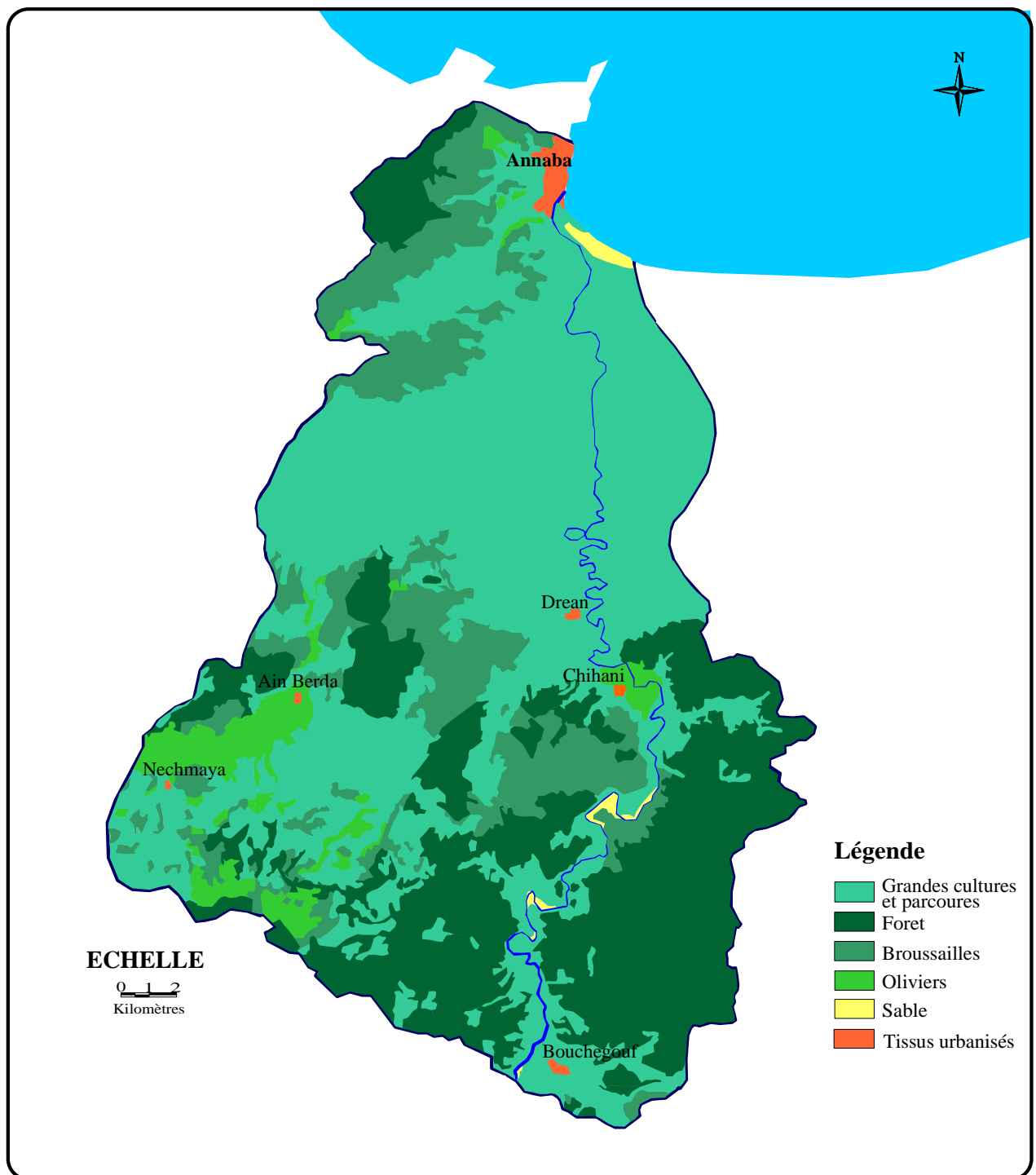


Fig.4. Le couvert végétal dans le secteur de la Seybouse maritime (D'après BOUARE. K. N. et KABIRA. E., 2004, modifiée).

Conclusion

Entre Bouchegouf et Annaba, la Seybouse qui a l'allure d'un fleuve roule un volume d'eau considérable pour l'Algérie. La région se divise en plusieurs ensembles topographiques présentant chacun des caractères et des problèmes géomorphologiques propres. On peut distinguer le versant nord du tell, la plaine d'Annaba et la cuvette du lac Fetzara.

Le rythme de développement socio-économique dépend de la densité de population, de l'activité industrielle et agricole.

La connaissance du couvert végétal et des pratiques agricoles est importante pour l'étude de l'érosion des sols.



Cadre géologique

C H A P I T R E



L'examen du cadre géologique permet de situer l'objet des recherches centrées sur les eaux souterraines. En effet pour élaborer le schéma conceptuel de la zone étudiée il est indispensable de bien identifier la lithologie du complexe aquifère étudié et de cartographier les caractéristiques géométriques des différents horizons aquifères.

I. Description lithologique

Les études géologiques réalisées dans la région (Joleaud, 1936 ; Hilly, 1962 ; Vila, 1980 ; Lahondère 1987 ; Gleizes, 1988 ; Hammor 1992) montrent l'existence de deux types de terrains; métamorphiques et sédimentaires (Fig.5). Les âges de ces terrains se répartissent du Neoprotérozoïque au Quaternaire.

I. 1. Le Néoprotérozoïque-Paléozoïque

Le massif de l'Edough constitue le complexe métamorphique le plus oriental du littoral algérien. Il est composé d'une variété de roches métamorphiques d'âge Précambrien à Paléozoïque; l'ensemble de ces roches forme un antiforme d'axe NE-SW (Fig. 5) (Hilly, 1962; Vila, 1970; Gleizes et al. 1988; Marignac et Zimmermann, 1983; Marignac, 1985; Bouguerra, 1990 ; Monié et al. 1992; Hammor, 1992; Aissa et al. 1995; Hammor et Lancelot, 1998; Laouar et al. 2002). Les gneiss forment la base et les métapélites viennent juste au-dessus des gneiss et consistent deux unités principales: des micaschistes à grenat et souvent à disthène en alternance avec des niveaux de marbre et de skarns d'épaisseur métrique, et une unité supérieure d'âge Paléozoïque (Ilavsky et Snopkova, 1987) constituée de schistes alumineux à andalousite et staurotide en alternance avec des quartzites feldspathiques.



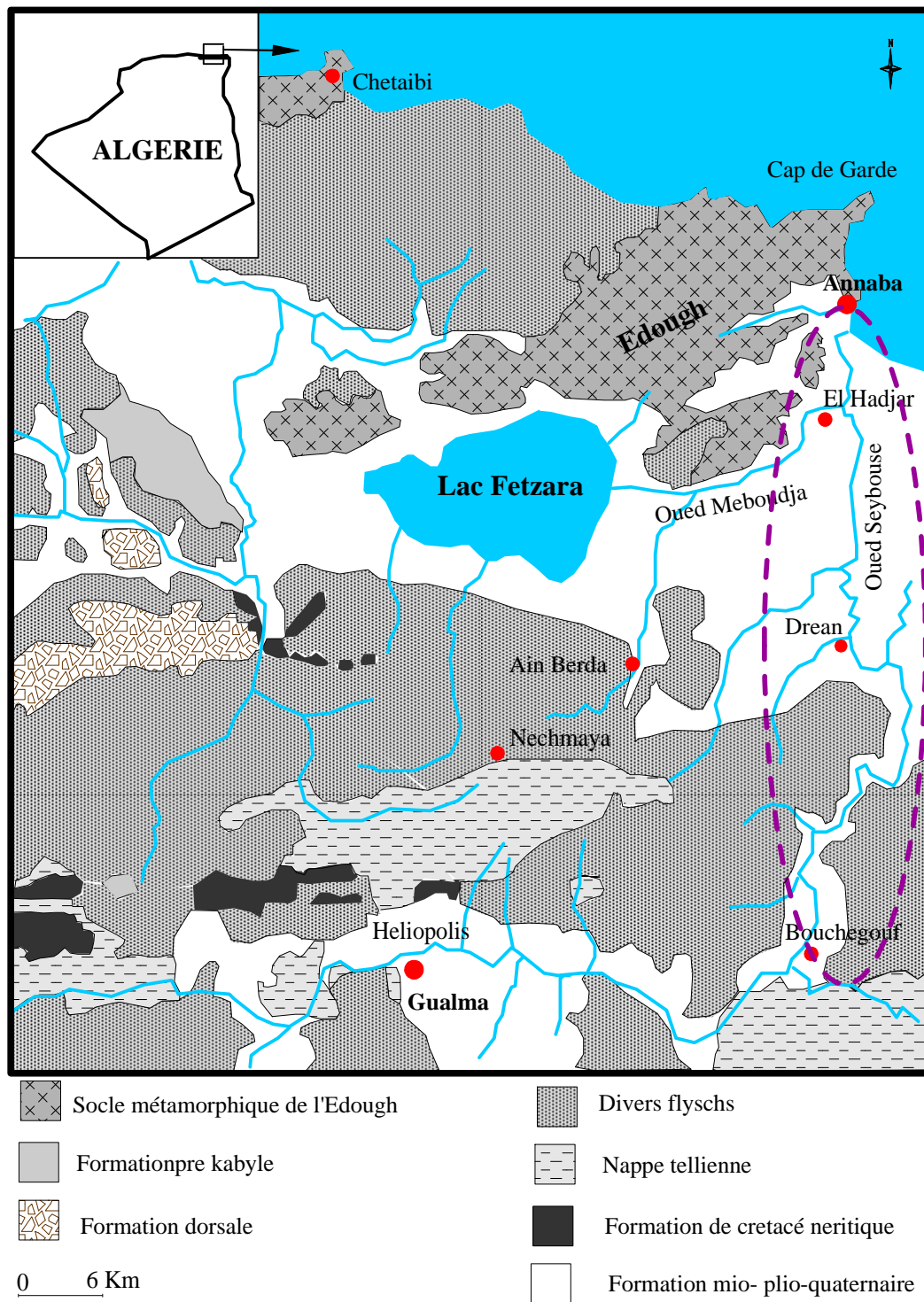


Fig.5. Esquisse géologique de la région d'étude (in Djabri et al. 2003 ; modifiée)

I. 2. Le Mésozoïque - Cénozoïque

Le massif de l'Edough est couvert vers le Sud et l'Ouest par des terrains sédimentaires formant une série de nappes assez complexe (Neumann et Vila, 1967 ; Marignac, 1985). De bas en haut, la structure est la suivante (Fig.5.) :

- L'autochtone est représenté par une formation néritique d'âge crétacé. Il est composé surtout de calcaires épais, massifs, avec parfois des fissures ou vides karstiques.
- Le flyschs mauritanien affleure à Ain.Berda. Ce sont des formations d'âge Cénomanién à Oligocène, constituées de plusieurs faciès : brèches, schiste, calcaires et grès micacés;
- Le dorsale kabyle est composé de deux unités : une unité inférieure (Néocomien à Eocène) composée de sédiments pélagiques et une unité supérieure (Eocène à Oligocène) caractérisée par des formations néritiques.
- Le flyschs massilien d'âge crétacé est composé de grès, argiles et marnes;
- Le flyschs Numidien est composé de grès d'âge Oligo-Miocène.

La plus part de ces roches sédimentaires sont recouvert par des sables Mio-Pliocène jusqu'au Quaternaire

Le Trias affleure à quelque kilomètres au sud de la région de Bouchegouf (A et Talbi 1991). La structure de la couverture sédimentaire s'explique par le phénomène de diapir triasique. Il comporte des formations évaporitiques composées par des marnes gypseuses, argiles bariolées, dolomies, calcaires et sels.

- Le Mio-Pliocène est constitué par les faciès suivants:
 - Faciès marin (Plaisancien) : Il est caractérisé par des marnes bleues avec des intercalations calcaires.
 - Faciès continental : Il est caractérisé par des conglomérats, des grès et des argiles qui sont liés aux dépôts d'effondrement, et qui constituent le réservoir de la nappe captive des plaines de Annaba - Bouteldja.
 - Faciès fluviatile : Il est bien développé dans la plaine d'Annaba et est formé essentiellement par de galets et d'argiles le long des oueds.

La prospection par sismique réflexion (SONATRACH, 1969 ; Strojexport, 1975) a pu mettre en évidence l'existence de deux fosses : (1) la fosse de Ben-Ahmed, orientée S-N et (2) la



fosse de Ben-M'hidi, orientée SW-NE. Ces deux fosses sont séparées par le haut fond (ou élévation) de Daroussa (Fig. 6, Hani, 2003). L'effondrement qui a provoqué la naissance des deux fosses s'est produit probablement au cours du Mio-Pliocène.



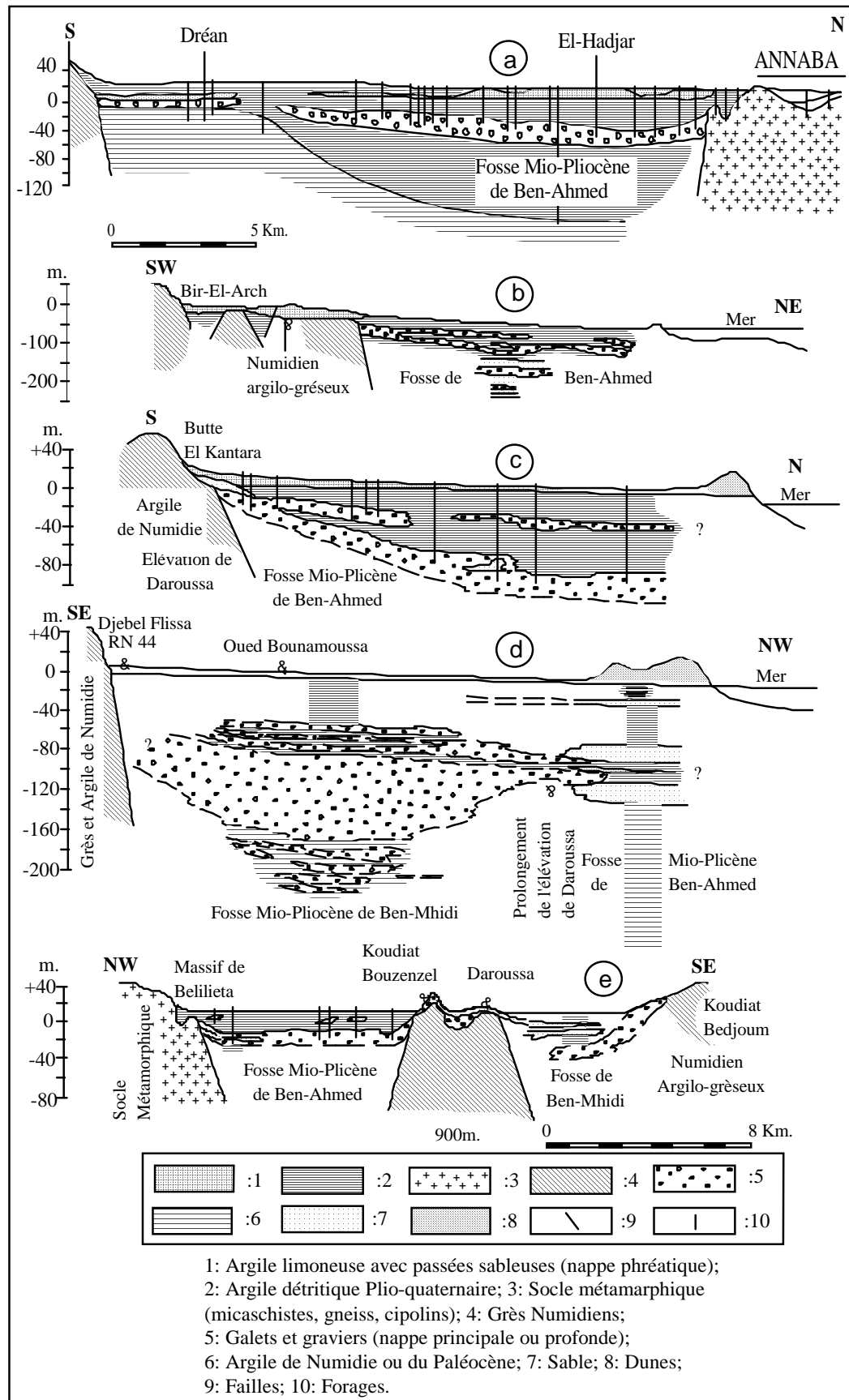


Fig.6. Coupes au travers de la plaine de Annaba (in Hani 2003)

I. 3. Le Quaternaire

L. Joleaud (1936) a donné une description détaillée du Quaternaire dans la région. Il a pu distinguer trois niveaux (fig. 7):

- Le Quaternaire ancien (haute terrasse) : Il est constitué par des formations alluviales (argile, limon, sable, gravier et galets) et qui un réservoir d'eau superficielle. Son altitude varie entre 75 et 150m ;

- Le Quaternaire moyen : Il correspond à la basse terrasse avec une épaisseur de 20 à 50m et est constitué par des argiles et des sables. Cette terrasse supporte des terres cultivées et se développe sur toute la région, surtout au niveau de la vallée d'oued Seybouse.

- Le Quaternaire récent : Il correspond aux sables des cordons dunaires littoraux et aux limons alluvionnaires de la Seybouse.

Le Quaternaire actuel est formé par des alluvions représentées par des dépôts du lit actuel de l'oued Seybouse, généralement de matériaux variés (argiles, sables et des cailloux) résultant de l'érosion des formations traversées par l'Oued.

Cette description géologique a fait apparaître que dans la zone d'étude, seules les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire peuvent constituer des réservoirs d'eau importants. Par contre, les formations anciennes qui apparaissent à l'entourage du site, sont rarement exploitées.



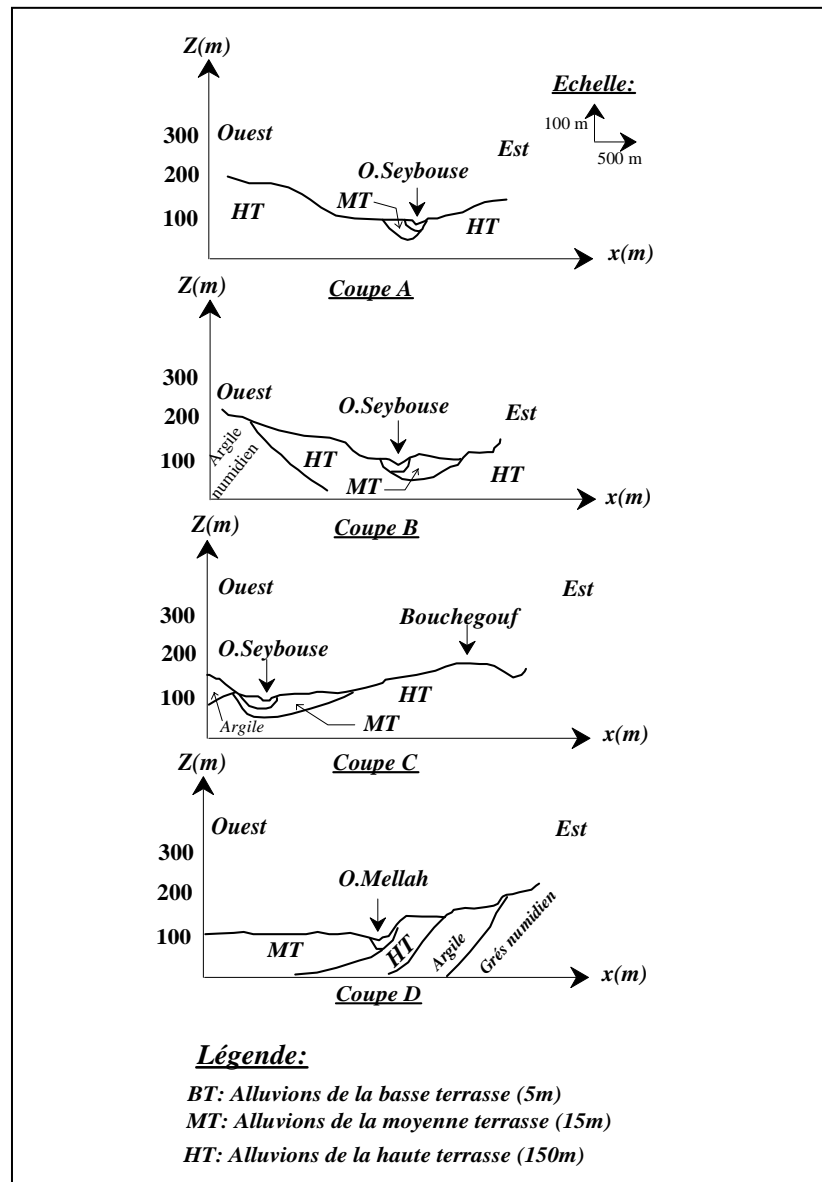


Fig.7. Coupe géologique de la région de Bouchegouf (D'après Chawi.W)

II. Tectonique

La région d'étude est caractérisée par une tectonique très complexe, elle peut être subdivisée en deux unités structurales (Vila, 1977) :

- Les monts de cheffia : Ce sont des formations grés-argileuses occupant la partie sud de la région et se présentent comme une ride tectonique marquée par des anticlinaux à noyaux argileux, parfois faillés.



- La plaine d'Annaba qui a subi deux événements tectoniques. Dans un premier temps, durant le Miocène inférieure au Miocène supérieure, les mouvements tectoniques provoquent l'enfoncement progressif des grès numidiens (conséquence de la deuxième phase alpine). Par la suite, il y a eu un remplissage Plio-Quaternaire par des matériaux détritiques (formations continentales).

Pendant le Miocène inférieure, l'ensemble de la région a été soumis à des phénomènes orogéniques et à un isolement complet du massif de l'Edough. Ainsi, la plaine se trouve au centre d'un bassin limité au Nord par l'antiforme du massif de l'Edough et au sud par l'anticlinal principal de la chaîne numidique. A partir de Pliocène et pendant le Quaternaire, un effondrement a lancé des processus de formations et de comblement des deux fosses, celle de Ben Ahmed orientée Nord-Sud et celle de Ben M'hidi orientée Sud Ouest-Nord Est. 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 la quelle appartient la butte de Daroussa.

Le Trias, probablement diapirique, affleure dans la zone Bouchegouf – Drean. Il recoupe les divers plis dirigés Nord Est-Sud Ouest (Blayac, 1912).

Conclusion

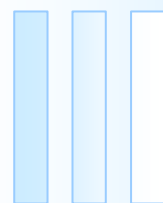
La région d'étude fait partie de l'ensemble géologique du Tell algérien nord oriental. Elle est définie par des formations géologiques allant du Néoprotérozoïque au Quaternaire et est représentée par l'affleurement de terrains métamorphiques et des roches éruptives constituant la bordure Ouest et des terrains sédimentaires caractérisant la bordure Sud et la plaine d'Annaba.

Les alluvions quaternaires de la plaine sont perméables et renferment des niveaux aquifères considérables.



Hydroclimatologie

*C
H
A
P
I
T
R
E*



La tendance au réchauffement climatique a incité les chercheurs à accorder un intérêt particulier aux facteurs climatiques et leurs variations dans l'espace et dans le temps. De ce fait toute étude à réaliser doit prendre en considération ces paramètres afin qu'elle soit très informative.

Introduction

L'analyse des données climatiques reste primordiale pour mener à bien toute étude hydrogéologique, elle permet de mettre en évidence l'importance des facteurs climatiques intervenant dans les écoulements.

De même la compréhension des phénomènes d'alimentation et de circulation des eaux de précipitations informe sur l'évolution des éléments chimiques, la protection et la résolution des problèmes de pollution.

Dans ce chapitre nous analyserons les différents paramètres climatiques comme les précipitations, la température, l'humidité, le vent, nous déterminerons les composantes du bilan hydrique particulièrement l'infiltration, l'évapotranspiration et le ruissellement.

I.1. Les stations de mesure

Nous utiliserons les données récoltées au niveau des trois stations météorologiques l'une au Sud la station de Bouchegouf et les autres au Nord (station de Pont Bouchet et les Salines).

La période d'observation est de 1977 à 2007 pour la station de Pont Bouchet et les Salines, et de 1985 à 2007 pour la station de Bouchegouf. Les coordonnées de ces stations de mesure sont répertoriées au niveau du tableau 3, suivant :

Tableau 3. Les coordonnées des stations de mesures
(D'après ANRH Constantine)

Station	X (km)	Y (km)	Z (m)	Période d'observation
Les Salines	955.800	403.800	3	1977/2007
Pont Bouchet	950.250	402.800	6	1977/2007
Bouchegouf	949.150	362.200	110	1985/2007

I.2. Type de climat

La carte réalisée par ANRH-GTZ, 2003, montre que la zone d'étude fait partie des régions les plus arrosées de l'Algérie du Nord. Les précipitations oscillent entre 600 et 800 mm/an.

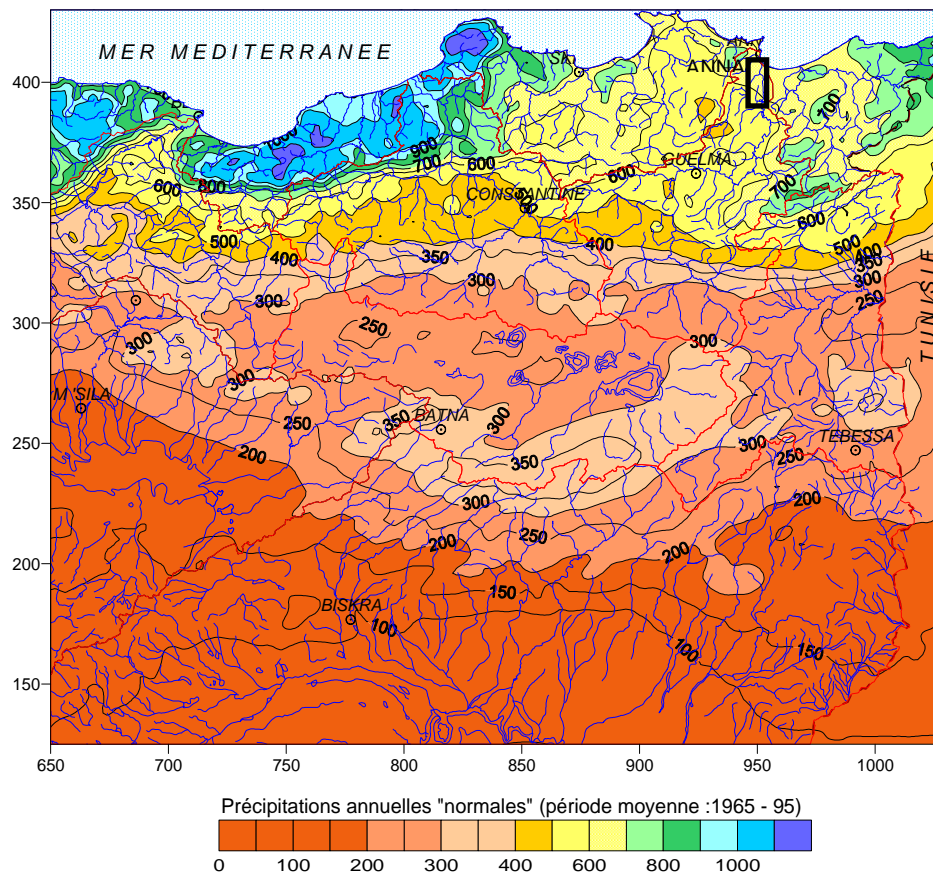


Fig.8. Précipitations annuelles médianes « normales » (1965-95)
(D'après ANRH-GTZ, 2003) In Azzedine MEBARKI et Jean-Pierre LABORDE

II. Les paramètres climatiques

Les paramètres climatiques, jouent un rôle important dans le comportement hydrologique des cours d'eaux. De ce fait il est important de connaître leurs comportement spatio temporel. Nous nous intéresserons en premier aux variations des précipitations enregistrées au niveau des trois stations

II.1. Les précipitations

II.1. A. Les précipitations mensuelles

Les précipitations moyennes mensuelles calculées pour les trois stations étudiées sont représentées dans le tableau suivant.

Tableau 4. Précipitations moyennes mensuelles.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Salines	34.41	66.56	89.07	116.32	100.11	79.75	67.2	60.4	35.61	14.62	2.2	9.42
P.Bouchet	32.28	48.06	83.5	104.74	96.1	70.41	58.35	56.54	40.37	11.48	2.3	8.9
Bouhegouf	30.01	42.11	61.03	90.86	88.72	59.81	62.93	54.61	48.1	16.57	3.26	13.48

On remarque au niveau des trois stations que le mois de décembre demeure le plus pluvieux par opposition le mois de juillet reste le plus sec.

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations représentées par la figure 9, montrent une variation inter mensuelle des pluies. Cette variation traduit une forte irrégularité entre les différents mois de l'année hydrologique. A ce titre le mois de Décembre reste le plus pluvieux de l'année au niveau des trois stations. Le maximum enregistré est de l'ordre de 116.32 mm, correspondant ainsi au double de la moyenne mensuelle à la station de les Salines. Au niveau de la station de Pont Bouchet 104.74 mm pour le mois Décembre ont été enregistrées et correspondent aussi au double de la moyenne mensuelle pour cette station, la quantité enregistrée au mois de décembre est de 90.86 mm à la celle de Bouhegouf. Les mois d'Octobre, de Novembre, de Décembre, de Janvier, de Février, de Mars d'Avril et de Mai, se caractérisent par des précipitations supérieures à la moyenne calculée. Par opposition les mois de Juin, de Juillet, d'Août et de Septembre se caractérisent par des précipitations inférieures à la moyenne calculée.

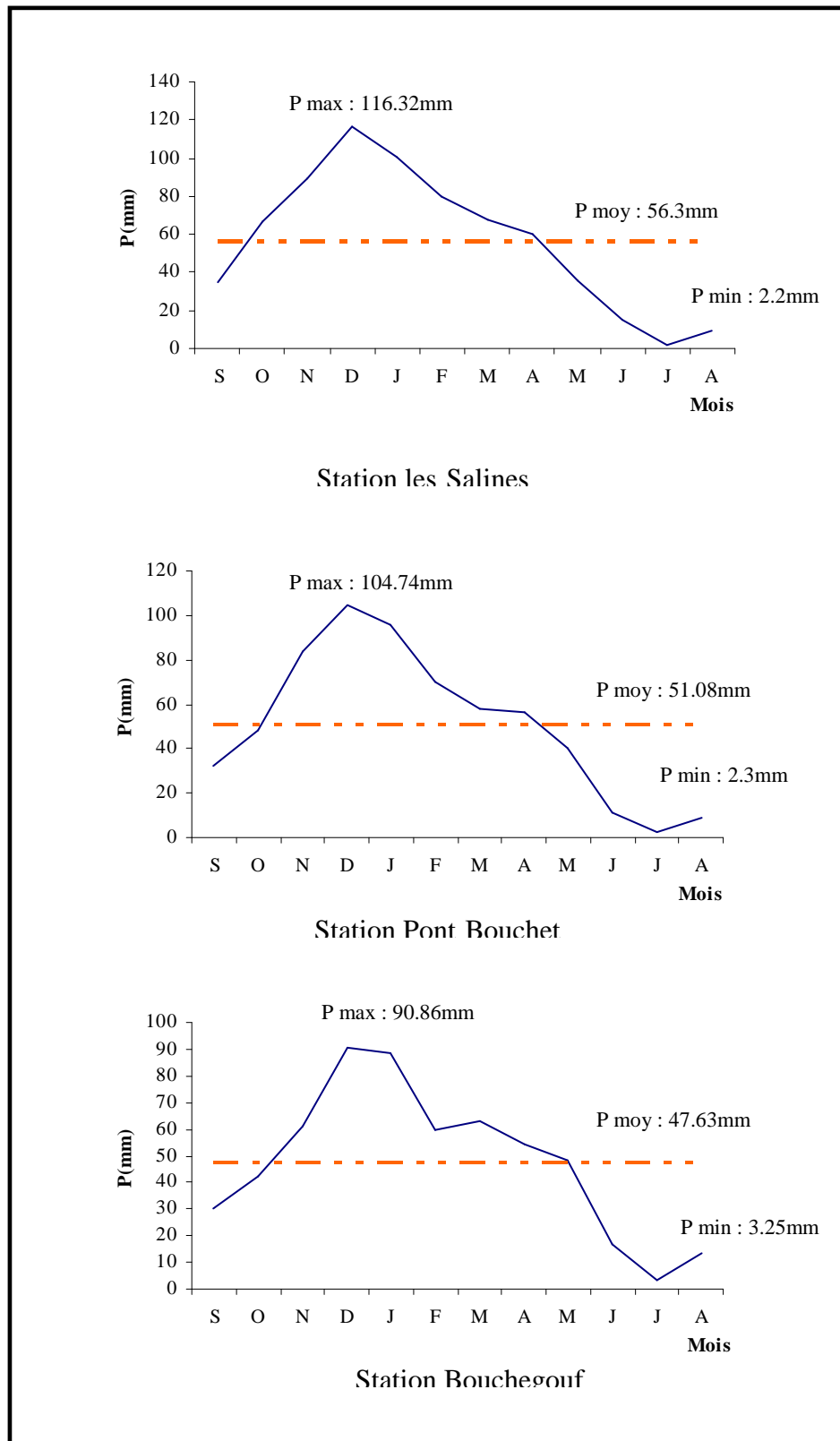


Fig.9. Variation des précipitations moyennes mensuelles

II.1. B . Les précipitations annuelles

Les valeurs des précipitations moyennes annuelles permettent de caractériser la pluviosité de chaque année. Au niveau des trois stations, on remarque que l'année la plus pluvieuse est 2004/2005 pour les Salines et Pont Bouchet. L'année 2002/2003 est la plus pluvieuse au niveau de la station de Bouchegouf. Les moyennes des précipitations enregistrées sont respectivement de 987.7mm aux Salines, 940.3mm à pont Bouchet et 937mm à Bouchegouf. Par contre l'année la plus sèche est l'année 1996/1997 pour les Salines avec 422.8mm, 1987/1988 pour la station de Pont Bouchet avec 372.4mm et 2001/2002 pour la station de Bouchegouf avec 339mm. Le tableau suivant, récapitule toutes ces informations.

Tableau 5. Précipitation annuelles dans les stations des Salines, Pont Bouchet et Bouchegouf (mm).

Station	Année sèche	P min (mm)	Année pluvieuse	P max (mm)	La moyenne (mm)
Les Salines	2004/2005	422.8	1996/1997	987.7	675.68
Pont Bouchet	2004/2005	372.4	1987/1988	940.3	610.705
Bouchegouf	2002/2003	339	2001/2002	937	572.378

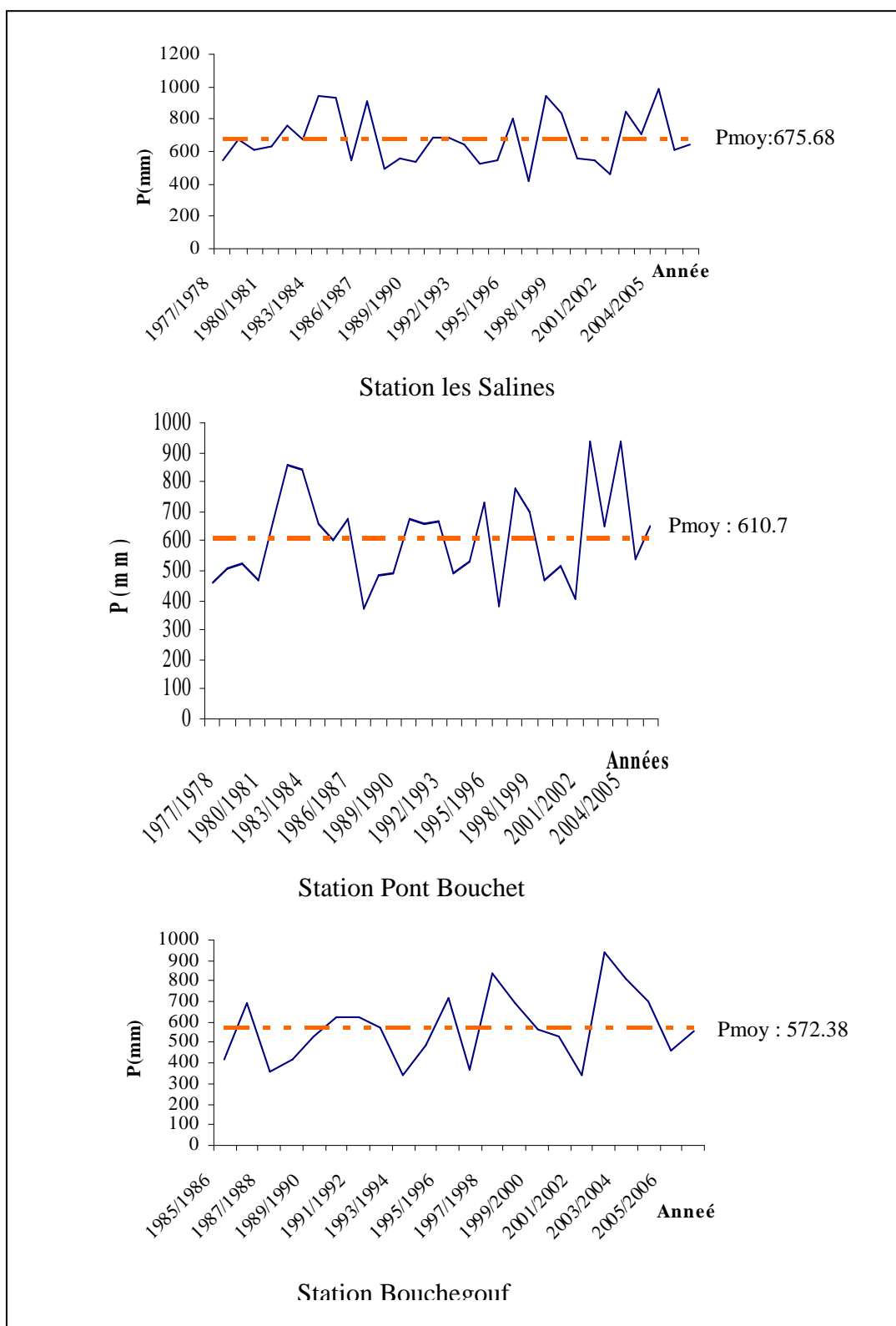


Fig.10. Variation annuelle des précipitations.

La répartition des pluies annuelles présente d'importantes irrégularités, ce phénomène peut être exprimé par la variabilité interannuelle des précipitations. Les valeurs extrêmes des précipitations et plus particulièrement celles des années humides changent souvent d'une station à l'autre, les valeurs faible indique les années sèches.

La figure 10, illustre les variations des précipitations par rapport à la moyenne qui atteint au niveau de la station des Salines 675.68mm sur une période de 30ans, à la station de Pont Bouchet elle est de l'ordre de 610.7mm et à la station de Bouchegouf de l'ordre de 572.38mm. Les fluctuations que fait les courbes par rapport à la moyenne nous indiquent les années excédentaires et les années déficitaires. L'année est d'autant excédentaire que la précipitation moyenne annuelle (de chaque année) est supérieur à la moyenne arithmétique des précipitations de la période étudier et si inférieur à la moyenne l'année dit déficitaire.

II.2.La température

Les températures sont un facteur climatique très important qui régit directement, en interaction avec les autres facteurs météorologiques (humidité, précipitation,...etc) et biogéographiques, le développement de la végétation, le phénomène de l'évapotranspiration et ainsi que le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Pour l'étude des températures, nous avons utilisée les données disponibles qui sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau des stations les Salines (1977/2007) et Bouchegouf (1985/2007). Les valeurs sont portées dans le tableau 6.

Tableau 6. Températures moyennes mensuelles.

Station	Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Salines	Moy	22,93	19,97	15,55	13,03	11,36	11,82	13,23	15,06	18,23	22,23	24,8	25,69
Bouchegouf	Moy	24,31	20,63	15,04	11,36	10,04	10,71	12,71	15,13	19,04	23,94	26,95	27,73

Dans ce tableau on constate une variation progressive des températures au cours des mois de l'année.

Le maximum des températures (fig.11) est enregistré au mois d'Août pour les deux stations (25.69°C à les Salines et 27.73°C à Bouchegouf) et le minimum au mois de Janvier de l'ordre de 11.36°C et 10.04°C, pour les deux stations.

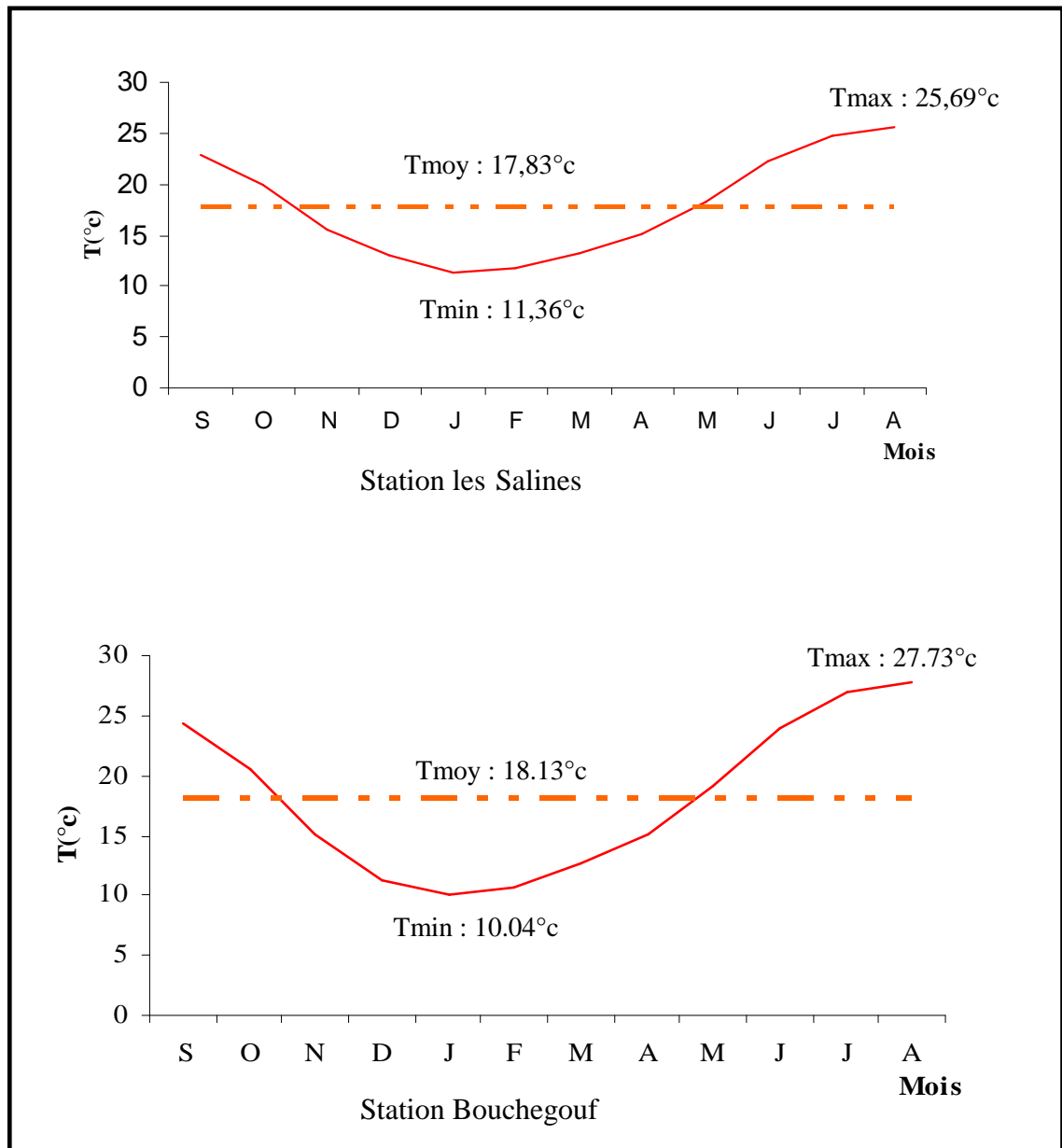


Fig.11. Variation mensuelles des températures

II.2.1. Diagramme Ombrothermique

Le diagramme montre (fig. 12), que la région d'étude possède un climat type Méditerranéen, caractérisé par deux saisons l' une saison humide s'étend du mois d'octobre jusqu'au mois mai et l'autre saison sèche qui va du mois de mai jusqu'au mois de septembre.

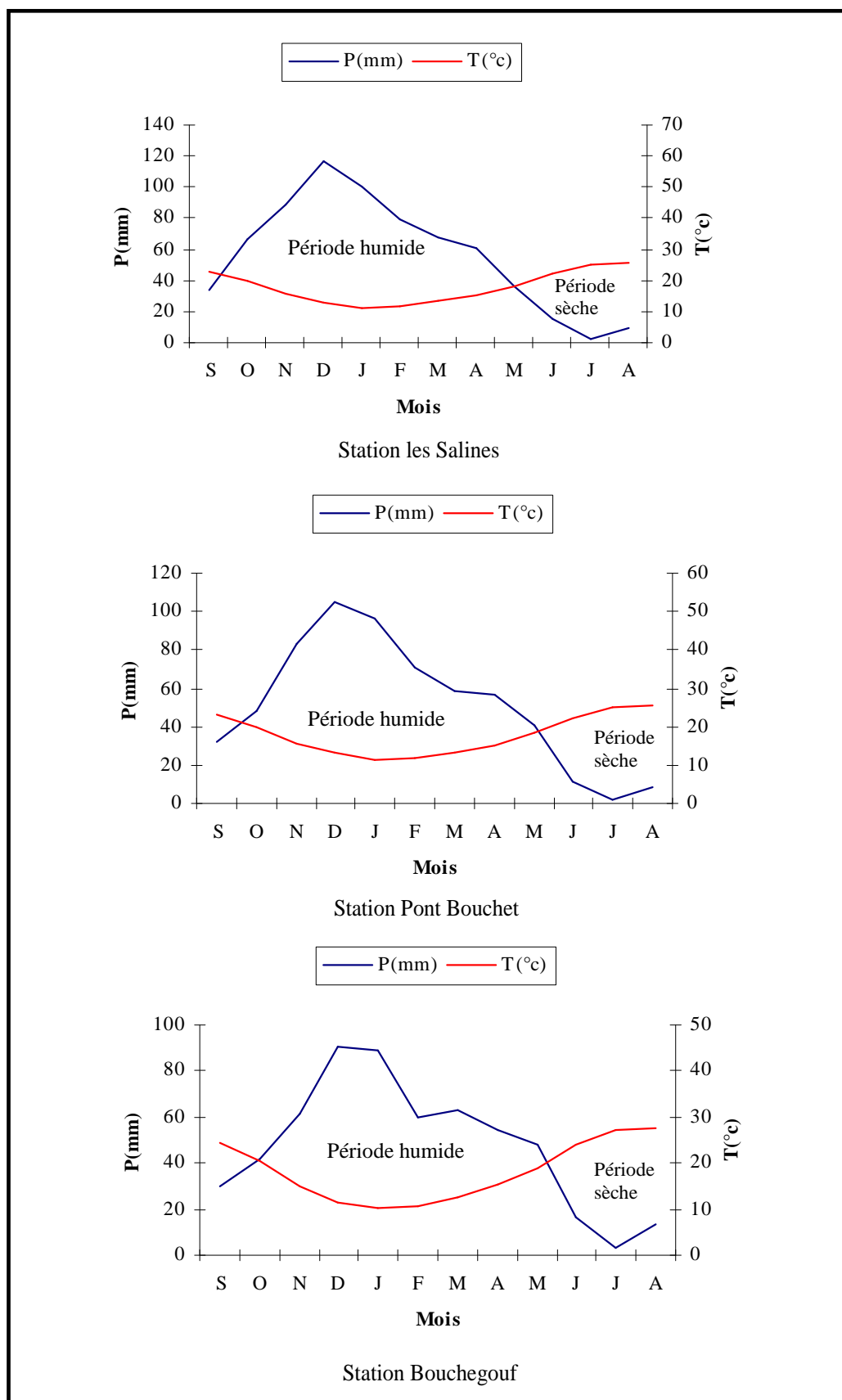


Fig.12. Diagramme ombrothermique

II.3. L'humidité

L'humidité relative est l'un des principaux paramètres du cycle hydrologique. Elle est la source de toutes les précipitations, elle conditionne l'évaporation. Elle correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de vapeur saturante à la même température. Les moyennes mensuelle de l'humidité relative varie de 70.27% en été (juillet) à 78.23% en hiver (janvier) avec une moyenne annuelle étant de 74.74% (Tableau 7).

Tableau 7. Moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station des Salines en % (1975/2007)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moyenne	72.42	74.88	76.45	77.25	78.23	77.05	75.5	74.93	75.03	73.01	70.27	71.84

II. 4. Le vent

Les vents ont un effet important sur les phénomènes d'évaporation, de précipitation et à un degré moindre sur les températures. A la station des Salines, les vents prédominants sont de direction NW-SE et leur vitesse moyenne est de 3.18 m.s^{-1} (tableau 8).

Tableau 8. Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à la station des Salines (1975/2007)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moyenne	3.07	2.92	3.07	3.47	3.27	3.33	3.34	3.24	3.04	3.06	3.21	3.16

III. Le bilan hydrique

Le bilan de l'eau est fonction d'un certain nombre de facteur, dont les précipitations, l'infiltration et surtout l'évapotranspiration. Il nous permet d'évaluer les effets du climat sur l'écoulement dans le bassin versant et tient compte uniquement des entrées et des sorties, qui s'effectuent par voie atmosphérique.

III.1. L'évapotranspiration

Dans les études hydrogéologiques, les deux éléments principaux du bilan, évaporation et transpiration sont réunis en un seul : l'évapotranspiration.

L'évapotranspiration ou l'évaporation totale (E.T) est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (phénomène biologique).

On distingue :

- L'évapotranspiration potentielle (E.T.P)
- L'évapotranspiration réelle (E.T.R)

III.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

On appelle évapotranspiration potentielle (ETP), exprimé en hauteur de lame ou tranche d'eau évaporée, la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie, en considérant des apports d'eau suffisants.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle nous avons utilisé la formule de Thornthwaite qui a établi une correction entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration mensuelle, cet auteur définit d'abord un indice thermique mensuel (i), où :

$$i = \left[\frac{T}{5} \right]^{1.5} ; \quad I = \sum_{1}^{12} i ; \quad a = \left(\frac{1.6}{100} \right) I + 0.5$$

$$ETP = 16 \left(\frac{10 T}{I} \right)^a k$$

Avec:

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

T : Température moyenne mensuelle en °C

i : Indice thermique mensuel.

I : Indice thermique annuel.

K : Coefficient d'ajustement.

III.1.2. 'évapotranspiration réelle (ETR)

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

Pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

Nous avons essayé d'estimer l'évapotranspiration réelle par les formules suivantes :

- Formule de Thornthwaite.
- Formule de Turc.
- Formule de Coutagne.

b.1) Formule de Thornthwaite (Voir tableau 15).

Cette méthode est décrite en détaille plus loin et les résultats sont représentés dans le tableau du bilan hydrique.

b.2) Formule de Turc

La formule de L. Turc permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle mensuelle moyenne et tenant compte de la durée réelle de l'insolation.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2 / L^2}} \quad \text{Avec : } L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3$$

P : Précipitations moyennes annuelles (mm)

T : Températures moyennes annuelles (°C)

ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

A partir de cette méthode les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 9. Résultats de l'ETR par la méthode de Turc

Paramètres	P (mm)	T °C	L	ETR (mm/an)
Station des Salines	675.66	17.82	1028.44	585.52
Station de Pont Bouchet	613.02	17.82	1028.44	547.33
Station de Bouchegouf	571.49	18.14	1051.95	522.86

b.3) Formule de Coutagne

Cette formule fait appel à deux paramètres indispensables en climatologie, mais sous une autre procédure (formule) de calcul.

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

Avec :

$$\lambda = 1 / (0.8 + 0.14T)$$

ETR : Evapotranspiration réelle en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

T : Température moyenne annuelle en °C

Cette formule n'est valable que si les précipitations sont comprises entre $1/8\lambda < p \text{ (m)} < 1/2\lambda$.

Tableau 10. Vérification de la condition $1/8\lambda < p \text{ (m)} < 1/2\lambda$.

Station	λ	$1/8\lambda$	$< p \text{ (m)} <$	$1/2\lambda$
Les Salines	0.303	0.412	0.675	1.650
Pont Bouchet	0.303	0.412	0.613	1.650
Bouchegouf	0.299	0.418	0.571	1.672

Ces valeurs permettent de déterminer les valeurs de l'ETR pour les trois stations pour les quelles on a dressé le tableau suivant :

Tableau 11. ETR selon la méthode de Coutagne

Paramètre Station	P (m)	T °C	λ	ETR (m)	ETR (mm/an)
Les Salines	0.675	17.82	0.303	0.537	537.66
Pont Bouchet	0.613	17.82	0.303	0.499	499.22
Bouhegouf	0.571	18.14	0.299	0.474	474.09

c) Comparaison

La comparaison est utile car elle permet de choisir la méthode appropriée pour la zone d'étude. La formule de Thornthwaite semble la plus convenable à la région.

L'ETR, calculée par la méthode de Turc semble surestimée pour tous les mois de l'année. Cependant les formules de Thornthwaite et de Coutagne présentent des résultats assez proches de la réalité mais la méthode de Thornthwaite a été souvent utilisée avec succès dans ces régions, en plus elle prend en considération un coefficient de correction.

Tableau 12. Corrélation des climats

Méthode	Les Salines	Pont Bouchet	Bouhegouf
Thornthwaite	463.42	443.98	437.41
Turc	585.52	547.33	522.86
Coutagne	537.66	499.22	474.09

III.2. Le ruissellement

Le ruissellement (R) peut être calculé par deux formules :

- Tixeront Berkallof par Romantchouk (1974) pour $P > 600$ mm

$$R = P^3 / 3 \dots\dots\dots(1)$$

- Tixeront Berkallof., pour $P < 600$ mm

$$R = P^3 / 3.(ETP)^2 \dots\dots\dots (2)$$

Avec :

- **R** : Ruissellement en m ;
- **P** : Précipitation moyenne mensuelle en m ;
- **ETP** : Evapotranspiration potentielle en m.

Les précipitations enregistrées dans la région d'étude dépassent 600 mm pour les Salines et Pont Bouchet, la formule utilisée est celle de Tixeront (1). La station de Bouhegouf est employée la formule de Tixeront (2).

La lame d'eau ruisselée des précipitations des trois stations est reportée dans le tableau qui suit :

Tableau 13. Résultats du ruissellement

Stations	P (m)	ETP (m)	R (m)
Les Salines	0.675	0.912	0.102
Pont Bouchet	0.613	0.912	0.076
Bougegouf	0.571	0.929	0.072

II.3. Estimation de l'infiltration

On peut calculer l'infiltration par deux méthodes :

A. La méthode des chlorures (SCHOLLER 1962)

C'est une méthode basée sur la reconcentration par évapotranspiration des apports en chlorures par les précipitations, et consiste à comparer les concentrations en chlorures dans les eaux de pluie et les eaux souterraines.

L'utilisation de cette méthode est conditionnée par l'absence de roches salines pouvant se dissoudre, des chroniques d'eau de pluie suffisantes afin d'avoir une composition moyenne représentative, et une origine des chlorures uniquement due aux précipitations.

Pour déterminer l'infiltration efficace, SCHOLLER a développé un ensemble d'équations dont les principaux liens les concentrations en chlorures de l'eau de pluie, des eaux souterraines les quantités de pluie. Les principales sont les suivantes :

$$I_e / p \times 100 = (1-r) Cl_p / Cl_n \times 100$$

Si le coefficient de ruissellement est faible :

$$I_e / p \times 100 = Cl_p / Cl_n \times 100$$

Avec :

P : pluie (mm)

r : coefficient de ruissellement (mm)

I_e : Infiltration efficace (mm)

Cl_p : concentration en chlorure de l'eau de pluie (meq.l⁻¹)

Cl_n : concentration en chlorure de l'eau souterraine (meq.l⁻¹)

La majorité de la région est une plaine qui se traduit par un ruissellement négligeable, on a appliqué la deuxième équation.

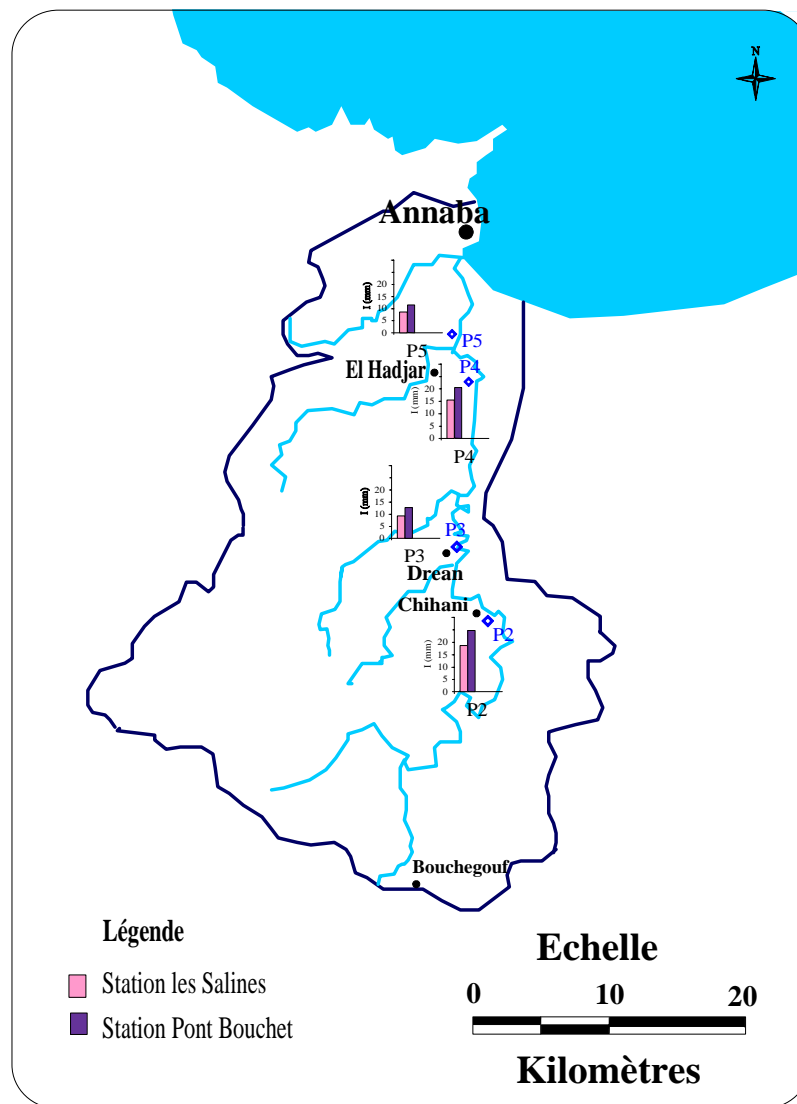
A partir de la concentration de chlorure et des précipitations nous calculons l'infiltration efficace au niveau de quatre puits dispersé dans la région. On a utilisé les précipitations mensuelles enregistrer au mois d'avril pour les deux stations qui rassemble a chaque puits.

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 14. Estimation de l'infiltration (mm) par SCHOLLER au mois d'avril.

Station / Puits	P2	P3	P4	P5
Les Salines	18.89	9.26	15.58	8.66
P. Bouchet	24.77	12.14	20.44	11.36

D'après le tableau 14 l'infiltration est élevée dans la région de Chihani et El Hadjar, et elle devient plus faible dans le reste de la région pour les Salines et Pont Bouchet (Fig.13).

**Fig.13.** La représentation de l'infiltration dans la région.

B. La méthode de Thornthwaite

On a le Bilan global :

$$P = R + I + ETR$$

Donc :

$$I = P - R - ETR$$

Avec :

P : Précipitation moyennes mensuelles (mm)

R : Ruissellement (mm)

I : L'infiltration (mm)

- Si $I > 0$: Les entrées sont supérieures aux sorties.
- Si $I < 0$: Les entrées sont inférieures aux sorties.

Tableau 15. Estimation de l'infiltration par la méthode de Thornthwaite.

Paramètres Stations	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Les Salines	675.66	463.42	102.5	109.75
Pont Bouchet	613.02	443.98	76.7	92.34
Bougegouf	571.49	437.41	72	62.08

III.4. Calcul du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite

Le procédé de calcul pour le bilan, consiste en les étapes suivantes :

- $P = ETP$: les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol, il n'y aura donc pas de surplus pour alimenter le RFU.
- $P > ETP$
- $L'ETR = ETP$
- L'excédent des précipitations sur l'ETP, est emmagasiné dans l'humidité du sol, dont il augmente la réserve jusqu'à ce que ce dernier soit saturé.
- La partie de l'excédent dépassant éventuellement la réserve cumulée et se trouve disponible pour l'alimentation de l'écoulement de surface et des nappes profondes.
- $P < ETP$: $L'ETR = P$, plus tout ou partie de la réserve d'eau du sol, celle-ci est mobilisée comme suit :
 - Si le RFU est assez forte pour combler l'insuffisance des précipitations, $L'ETR = ETP$.
 - Si la réserve d'humidité du sol, est insuffisante pour satisfaire l'ETP, donc l'ETR reste inférieure à l'ETP, qui implique que l'ETR égale aux précipitations du mois plus la réserve disponible. Le déficit agricole (représente la quantité d'eau nécessaire pour les plantes) est égale $L'ETR - ETR$. Les résultats de calcul sont consignés dans les tableaux suivants :

Tableau 16. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite.
Station des Salines (1977-2007).

Mois	P (mm)	T (°C)	i	K	ETP	ETR	RFU	Exc	DA
S	34.41	22.93	9.82	1.05	107.62	34.41	0	0	73.21
O	66.56	19.97	7.98	0.91	72.43	66.56	0	0	5.87
N	89.07	15.55	5.48	0.75	37.78	37.78	51.29	0	0
D	116.32	13.03	4.2	0.7	25.52	25.52	100	42.09	0
J	100.11	11.36	3.42	0.73	20.71	20.71	100	79.4	0
F	79.75	11.82	3.63	0.78	23.79	23.79	100	55.96	0
M	67.2	13.23	4.3	1.02	38.23	38.23	100	28.97	0
A	60.39	15.05	5.22	1.15	54.57	54.57	100	5.82	0
M	35.61	18.23	6.96	1.32	88.93	88.93	46.68	0	0
J	14.62	22.23	9.37	1.33	128.8	61.3	0	0	67.5
J	2.2	24.8	11.04	1.33	157.34	2.2	0	0	155.14
A	9.42	25.69	11.64	1.24	156.46	9.42	0	0	147.04
Total	675.66	17.82	83.06		912.18	463.42		212.24	448.76

Tableau 17. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite.
Station de Pont Bouchet (1977/2007)

Mois	P (mm)	T (°C)	i	K	ETP	ETR	RFU	Exc	DA
S	32.27	22.93	9.82	1.05	107.62	32.27	0	0	75.35
O	48.06	19.97	7.98	0.91	72.43	48.06	0	0	24.37
N	83.5	15.55	5.48	0.75	37.78	37.78	45.72	0	0
D	104.74	13.03	4.2	0.7	25.52	25.52	100	24.94	0
J	96.1	11.36	3.42	0.73	20.71	20.71	100	75.39	0
F	70.41	11.82	3.63	0.78	23.79	23.79	100	46.62	0
M	58.35	13.23	4.3	1.02	38.23	38.23	100	20.12	0
A	56.54	15.05	5.22	1.15	54.57	54.57	100	1.97	0
M	40.37	18.23	6.96	1.32	88.93	88.93	51.44	0	0
J	11.48	22.23	9.37	1.33	128.8	62.92	0	0	65.88
J	2.3	24.8	11.04	1.33	157.34	2.3	0	0	155.04
A	8.9	25.69	11.64	1.24	156.46	8.9	0	0	147.56
Total	613.02	17.82	83.06		912.18	443.98		169.04	468.2

Tableau 18. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite.
Station de Bouchegouf (1985-2007).

Mois	P (mm)	T (°C)	i	K	ETP	ETR	RFU	Exc	DA
S	30.01	24.31	10.72	1.03	114.83	30.01	0	0	84.82
O	42.11	20.63	8.38	0.97	79.43	42.11	0	0	37.32
N	61.03	15.04	5.21	0.86	38.87	38.87	22.16	0	0
D	90.86	11.35	3.42	0.81	21.6	21.6	91.42	0	0
J	88.72	10.05	2.85	0.87	18.43	18.43	100	61.71	0
F	59.81	10.71	3.13	0.85	20.29	20.29	100	39.52	0
M	62.93	12.77	4.08	1.03	34.16	34.16	100	28.77	0
A	54.61	15.17	5.28	1.1	50.53	50.53	100	4.08	0
M	48.1	18.98	7.39	1.21	84.71	84.71	63.39	0	0
J	16.57	24.02	10.53	1.22	132.98	79.96	0	0	53.02
J	3.26	27.01	12.55	1.24	168.52	3.26	0	0	165.26
A	13.48	27.68	13.02	1.16	165.08	13.48	0	0	151.6
Total	571.49	18.14	86.56		929.43	437.41		134.08	492.02

a) Interprétation du Bilan hydrique

L'établissement du bilan hydrique a pour but, de connaître des différents paramètres (ETP, ETR, RFU, DA, Exc), qui nous aident à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrauliques de surface.

Les tableaux 16, 17, 18 permettent un certain nombre d'observation :

L'année hydrologique se divise en deux périodes : la première où les précipitations dépassent l'évapotranspiration potentielle, correspond au mois de novembre, décembre, janvier, février, mars, avril. (Fig.14).

Durant cette période, les précipitations atteignent leur maximum et l'ETP enregistre ses valeurs les plus faibles, et l'inverse se produit durant les mois restants.

Lorsque la RFU est totale, il y a un excédent d'eau, dès qu'elle diminue, il y a un épuisement du stock qui s'accompagne par un déficit agricole. Pour les trois stations, le déficit commence à partir du mois de juin et se poursuit jusqu'au mois d'octobre.

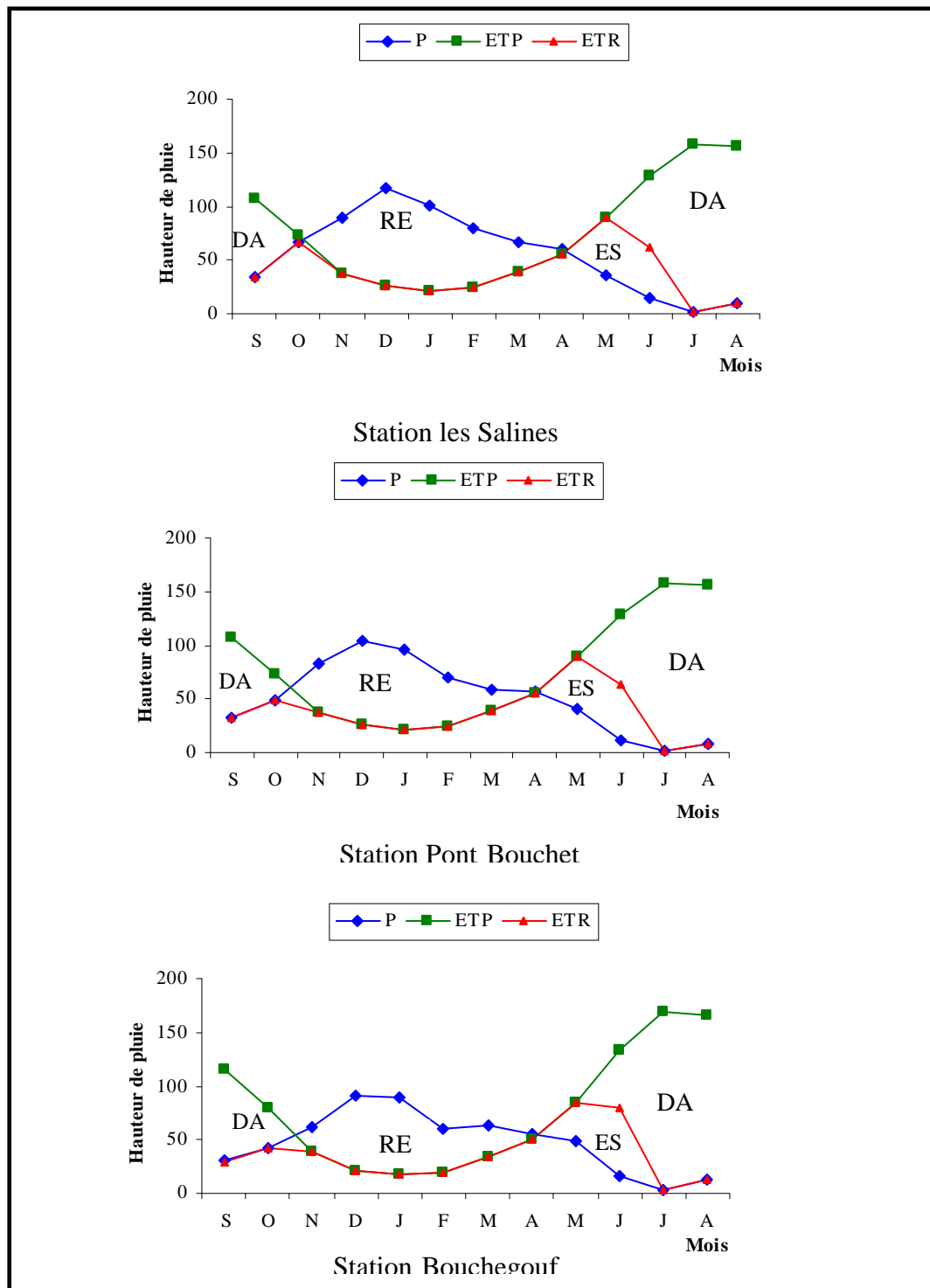


Fig.14. Représentation graphique du bilan hydrique

IV. Etude hydrologique

L'étude de l'écoulement des eaux de surface nous permet de connaître leurs régimes de circulation, premier véhicule d'éléments polluants. L'écoulement superficiel demeure un facteur très marquant de l'étude d'une éventuelle pollution, car la disponibilité potentielle de l'eau est étroitement liée à son réseau hydrographique et au comportement hydrologique d'un cours d'eau ou au régime pluvial.

Cette partie se penche sur l'étude du fonctionnement du réseau hydrographique et le comportement du système d'écoulement au sein du bassin versant à travers l'analyse des débits.

IV.1. Station hydrométrique

Dans la région d'étude existe une seule station hydrométrique celle de Mirbek qui contrôle oued Seybouse dans sa partie inférieure. Actuellement, la station n'est pas fonctionnelle à cause de son mauvais état et le manque de personnel. Les données disponibles sont très anciens et ne présentent pas la situation récente de l'oued.

Pour cette raison nous étudions les apports viennent de l'oued Mellah et oued Ressoul où il existe des stations hydrométriques.

Tableau 19. Station hydrométrique du bassin versant (Seybouse).

Oued	Station	X	Y	Période
Ressoul	Ain Berda	938.175	386.950	1991-2007
Mellah	Boucheouf	949.60	362.10	1980-2007

IV. 2. Etude du réseau hydrographique

L'oued Seybouse est le plus important, il résulte de la jonction des oueds, Bouhamdène et Cherf dans la région de Medjaz Ammar (W Guelma). A l'est de la moyenne Seybouse se trouve oued Mellah à Boucheouf. Au niveau de la basse Seybouse, le sous bassin est traversé essentiellement par (fig.15) :

- L'oued Seybouse, présente l'axe de drainage d'un bassin versant de 6471 Km².
- l'oued Fragha, Djefeli et oued Oglat el Feli, affluents de l'oued Seybouse.
- l'oued Ressoul à Ain Berda.

-l'oued Meboudja, le dernier affluent de l'oued Seybouse, assure la vidange du lac Fetzara par un canal d'assèchement de 14 Km.

Il est caractérisé de sud-nord par une densité de drains forte au sud et faible au nord où la pente devienne quasi nulle, l'oued prend une forme méandreuse et les vitesses d'écoulement se réduisent.

De l'est-ouest, la densité de drains moins faible à l'est qu'à l'ouest (présence des séries montagneuses plus importante à l'ouest).

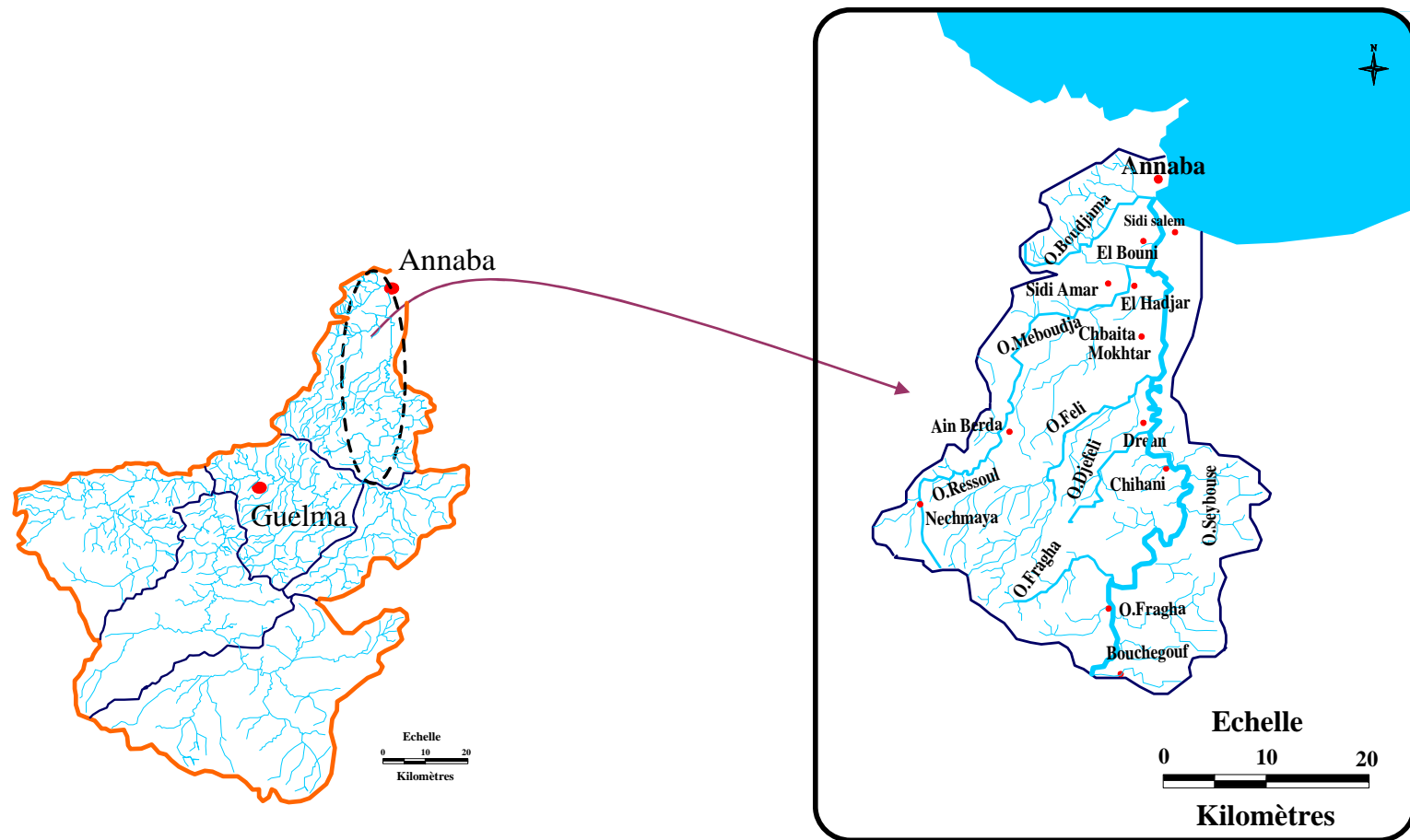


Fig. 15. Carte de réseau hydrographique du bassin versant de la Seybouse.

IV. 3. Etude des débits

L'oued Seybouse durant son parcours reçoit quelques affluents principaux comme oued Mellah et oued Ressoul dans sa partie aval, les apports de ces affluents semblent le plus importants pour l'oued Seybouse. Nous intéressons d'étudier les moyennes mensuelles et annuelles des débits enregistrés au niveau des stations de Ain Berda et de Bouchegouf.

A. Débits moyens mensuels

Les débits des oueds étudiés sont mesurés pour la série 1991 - 2007 à la station de jaugeage de Ain Barda (oued Ressoul) et 1983 - 2007 à la station de Bouchegouf (oued Mellah) (Tableau 20).

Tableau.20. Moyennes mensuelles interannuelles des débits en m³/s

Mois Oued	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne annuelle
Mellah	0.186	0.435	0.492	6.609	10.82	8	6.208	1.867	2.889	0.987	0.379	0.227	3.26
Ressoul	0.013	0.003	0.008	0.173	0.091	0.304	0.273	0.210	0.129	0.058	0.012	0.056	0.11

Le tableau ci-dessus représente le résultat de jaugeage (débits mensuels) sur une longue période. Ces résultats nous permettent d'établir des histogrammes de la variation mensuelle des débits moyens.

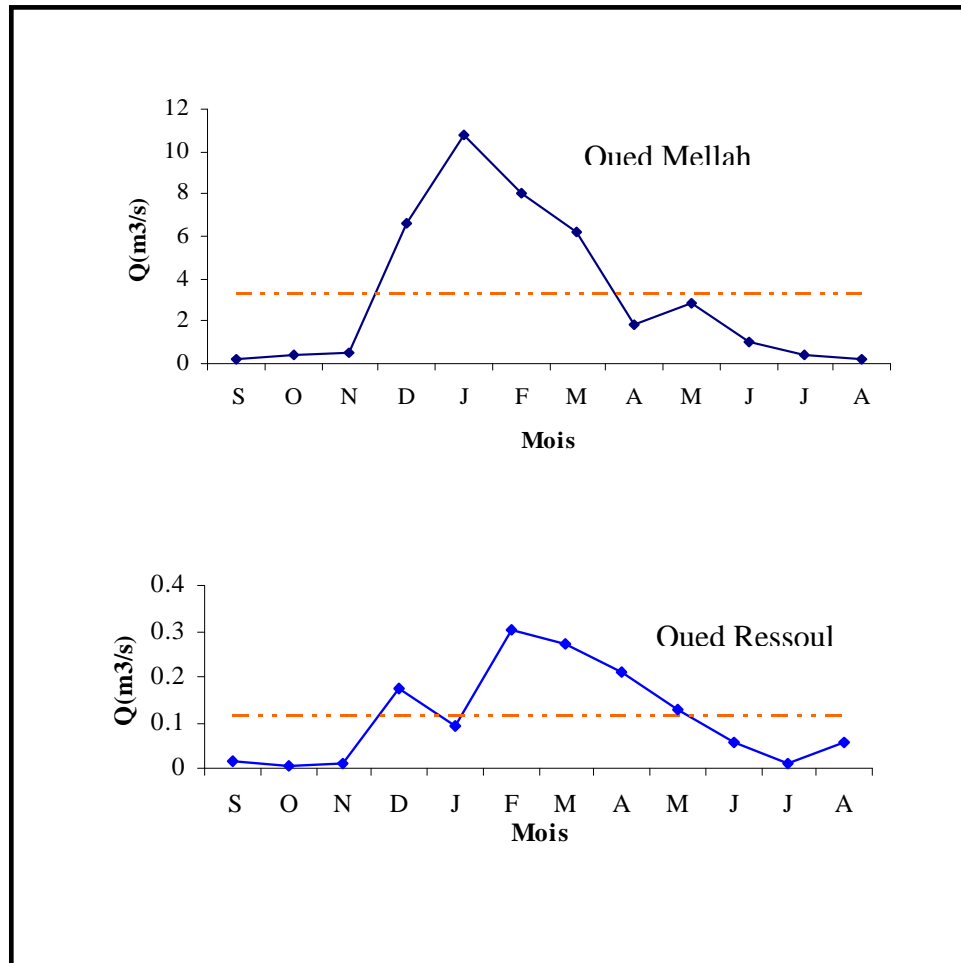


Fig.16. Variation des débits moyens mensuels

La figure 16 montre la variation des débits au cours de l'année pour les deux stations hydrométriques (Bouhegouf et Ain Berda). Le débit moyen mensuel se caractérise par un minimum correspond au mois de septembre à Bouhegouf ($0.186 \text{ m}^3/\text{s}$) et de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ au mois d'octobre à Ain Berda. Le maximum mensuel se situe en janvier avec une valeur de $10.82 \text{ m}^3/\text{s}$ à Bouhegouf, et en février à Ain Berda ($0.304 \text{ m}^3/\text{s}$).

B. Coefficient mensuel de débits

Les variations mensuelles de débits sont souvent exprimées par les coefficients mensuels de débits (CMD). Les CMD (rapport du débit mensuel au module annuel de la période considérée) supérieurs à l'unité (01) correspondent aux mois de hautes eaux et ceux inférieurs à l'unité sont caractéristiques des mois de basses eaux.

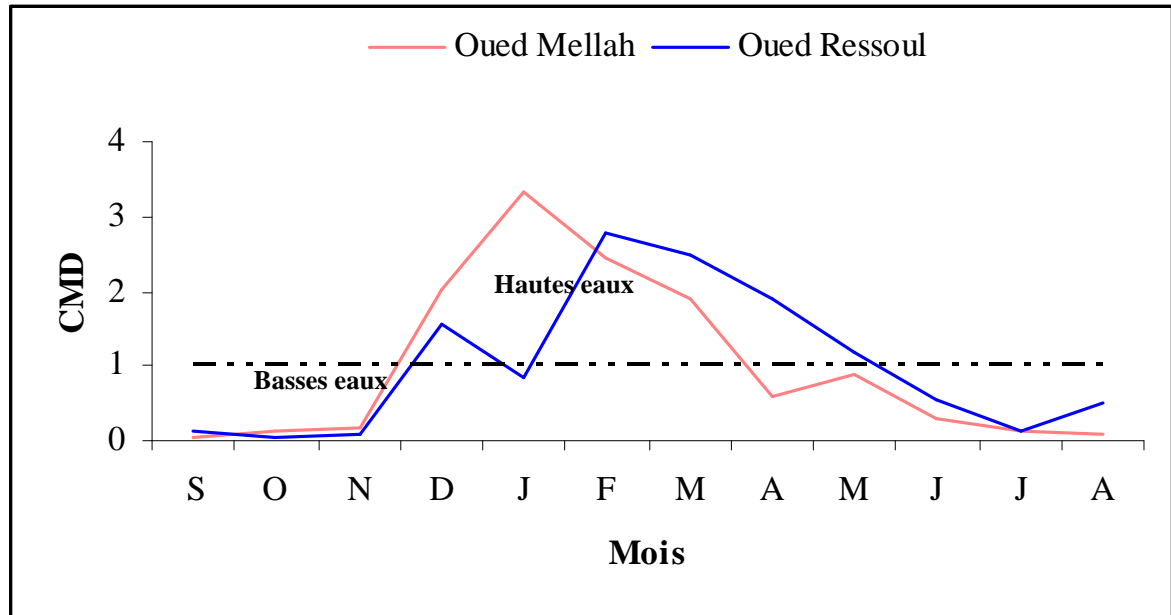


Fig.17. Représentation du coefficient mensuel de débits.

La figure 17 représente coefficients mensuels des débits, montre clairement que la période des hautes eaux est marquée au cours de 04 mois successifs : décembre, janvier, février et mars pour oued Mellah, et à oued Ressoul débute en décembre et se termine en mais avec une diminution brutal au mois de janvier. La période de basses eaux commence de mois d'avril jusqu'à novembre (station Bouchegouf), à la station de Ain Berda s'étalon sur sept mois de juin jusqu'à novembre et en signale aussi au mois de janvier.

Donc il y a une nette adaptation du régime hydrologique au régime pluviométrique ressort de l'allure générale de la courbe de C.M.D.

C. Débits moyens annuels

Pour montrer les années déficitaires et excédentaires au niveau de l'oued Mellah et oued Ressoul, nous avons étudié les variations annuelles des débits avec la représentation graphique de ces variations annuelles des débits (fig. 18).

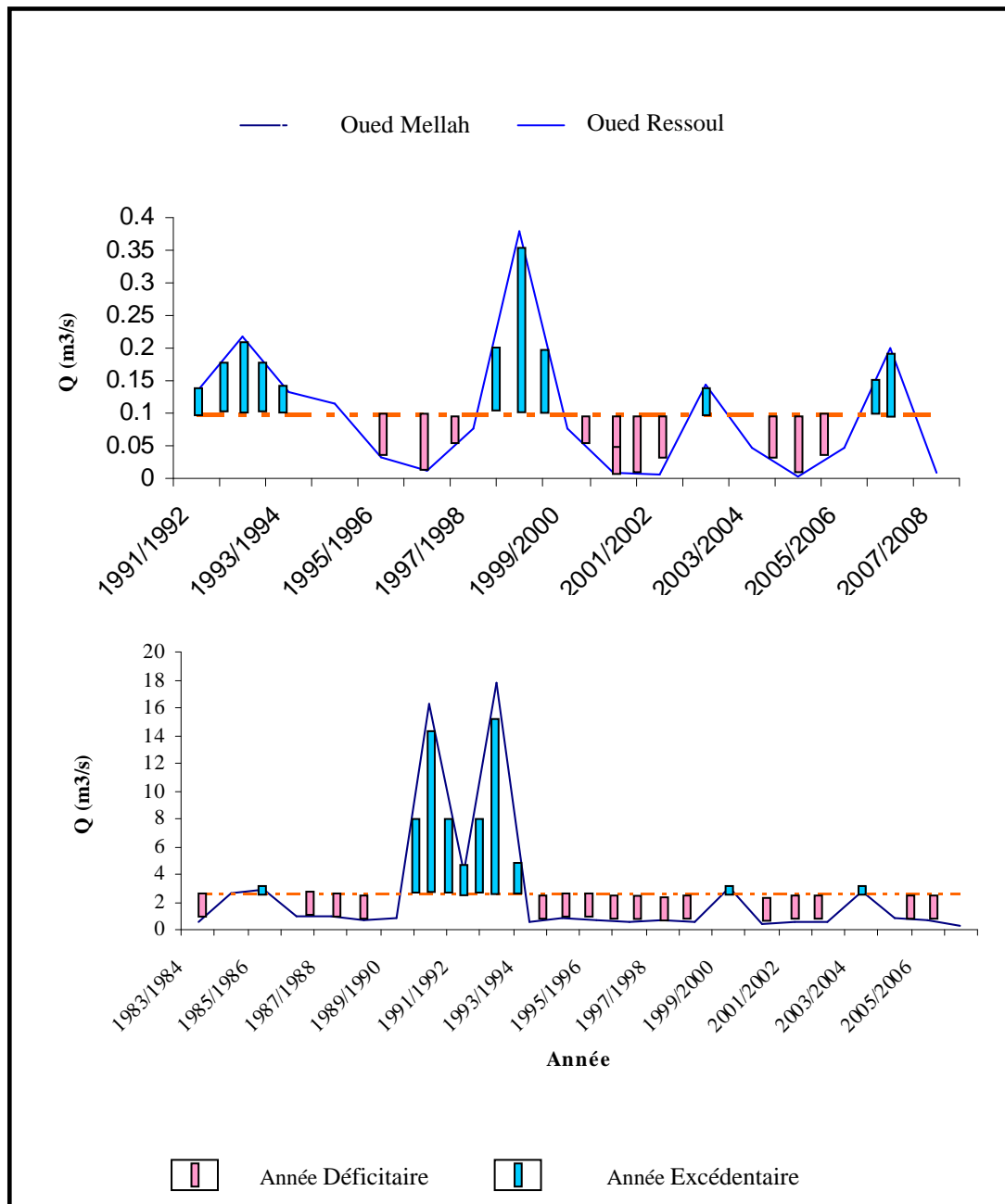


Figure.18. Variation des débits moyens annuelle.

La figure 18 indique une importante variation d'une année à l'autre d'où une alternance multiples d'années excédentaires et années déficitaires. Ainsi, le débit le plus élevé a été observé au cours de l'année 1992/1993 à la station de Bouchegouf ($17.86 \text{ m}^3/\text{s}$) et à oued Ressoul en 1998/1999 avec $0.378 \text{ m}^3/\text{s}$. Les débits les plus faibles pour Bouchegouf et Ain Berda sont respectivement $0.233 \text{ m}^3/\text{s}$ (2006/2007), $0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ (2004/2005).

Conclusion

Les caractéristiques climatique du bassin versant de l'oued Seybouse sont étroitement liées à sa position géographique et à son relief.

L'évolution annuelle des précipitations et des températures, permet de distinguer une période chaude et sèche, et une période froide et humide.

Pour le calcul du Bilan, la valeur de la RFU a été choisie en fonction de la nature du terrain (RFU = 100 mm).

Le bilan hydrologique est une façon de compter tous les éléments d'apport et de sortie d'eau au dessus d'une surface donnée.

A partir du mois de novembre, l'apport considérable de la pluie, la chute de température et la diminution de l'évapotranspiration permettent la recharge du sol mais un déficit agricole est enregistré à partir du mois de mai jusqu'au mois d'octobre c'est la période des basses eaux et c'est également la saison durant laquelle on irrigue, afin de rattraper ce déficit les agriculteurs puisent de l'eau des oueds souvent pollués et font contaminer non seulement leurs cultures mais aussi les eaux souterraine.

L'étude hydrologique a été abordée par la quantification des débits au niveau des oueds Mellah et Ressoul avec des débits considérables. Cette partie montre l'évolution des débits des deux oueds étudiés et l'irrégularité de débits, l'oued Mellah montre des débits très importants mais oued Ressoul se caractérise par des faibles débits. On note également un accroissement de la lame d'eau d'amont en aval.

Le régime d'écoulement des oueds est tributaire du régime pluvial dont les débits sont étroitement liés aux saisons (humide ou sèche). Les débits sont régis par des modes d'alimentation, et des conditions de rétention restitution qui sont à l'origine des écarts entre les impulsions de débits et les hauteurs de pluies.

Hydrogeologie

C H A P I T R E I V

I. Introduction

La zone étudiée recèle des possibilités aquifères importantes, cependant l'accroissement de la demande pour les besoins humains, industrielles ou agricoles génère une sollicitation accrue de la ressource, ce qui risque de poser un problème de disponibilité de ressource dans l'avenir. Notons également les effets néfastes générés par les changements climatiques, en effet ces derniers constituent cependant un obstacle à la pérennité de cette ressource.

Les études hydrogéologiques réalisées ont permis l'identification de plusieurs aquifères dans la zone d'étude. Ces dernières se succèdent de manière discontinue et hétérogène.

II. Identification des nappes

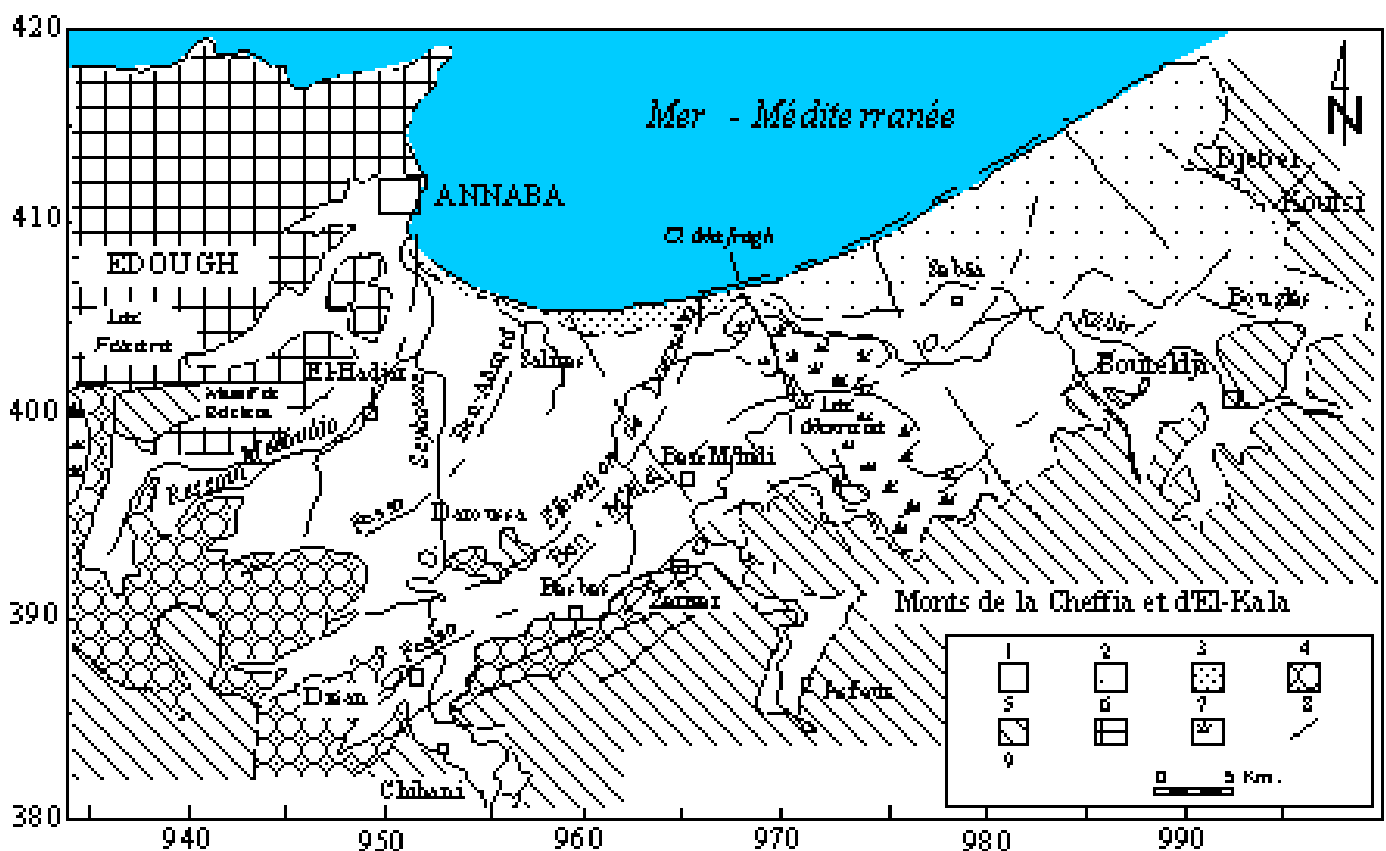


Fig. 19. Extension des différents aquifères dans les plaines de Annaba (In HANI 2003).

1 : Nappe des formations superficielles ; 2 : Nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja ; 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 : Marrécages ; 8 : Failles ; 9 : Fosses.

II.1. La nappe des formations superficielles

Cette nappe est contenue dans des formations sablo argileuses incluant des lentilles de sables. Les argiles grises compactes constituent le substratum. Les lentilles de sables sont plus fréquentes à proximité de l'oued Seybouse, et à la périphérie on note des affleurements des grès numidiens. Cette nappe est globalement libre sauf en quelques points où elle est captive sous des niveaux d'argiles. L'épaisseur de cette nappe varie de 5 à 18 m.

II.2. La nappe des graviers

Elle se situe en dessous de l'aquifère superficiel, couvre l'ensemble de la zone d'étude. Elle est contenue dans des graviers, sable et cailloutis Plio-quadernaires est perméable et semis perméable, et se développe sur toute leur étendue latérale. L'épaisseur de l'horizon aquifère varie de 2 à 70m. Le coefficient d'emménagement est parfois très faible de l'ordre de 10^{-4} . Captive dans sa presque totalité, elle devient libre en bordure Sud- Ouest, quand les graviers affleurent en surface.

Cette présente de bonnes qualités hydrauliques.

II.3. La nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja

Située à l'Est de la zone d'étude, c'est la nappe libre du massif dunaire et est contenue dans les sables éoliens reposant sur le remplissage mio-pliocène de la fosse de Ben-M'hidi.

II.4. La nappe des alluvions de la haute terrasse

Elle s'étend le long des massifs numidiens à l'Ouest et au Sud de la plaine de Annaba. Ces alluvions graveleuses et caillouteuses à matrice argileuse ont des possibilités aquifères très limitées.

II.5. La nappe des cipolins

Elle se situe dans les massifs de bordure du Belilieta et de Boukhadra (proche du massif de l'Edough). Elle est contenue dans des lentilles de cipolins, fissurés, existant au sein des gneiss et micaschistes du monoclinale métamorphique du Boukhadra. Ces calcaires sont en contact avec les alluvions de la plaine. Leur superficie est inférieure à 100ha.

II.6. La nappe des travertins

Elle est mal délimitée. Elle a été localisée dans le secteur compris entre Fardaous, la butte de Daroussa, Chbaïta et la ferme Hallalal Aïssa,

II.7. La nappe libre du cordon dunaire

Elle est contenue dans les dunes le long de la Méditerranée, à l'Ouest de la Mafragh. Elle présente l'intérêt de protéger la nappe phréatique des venues d'eau salées.



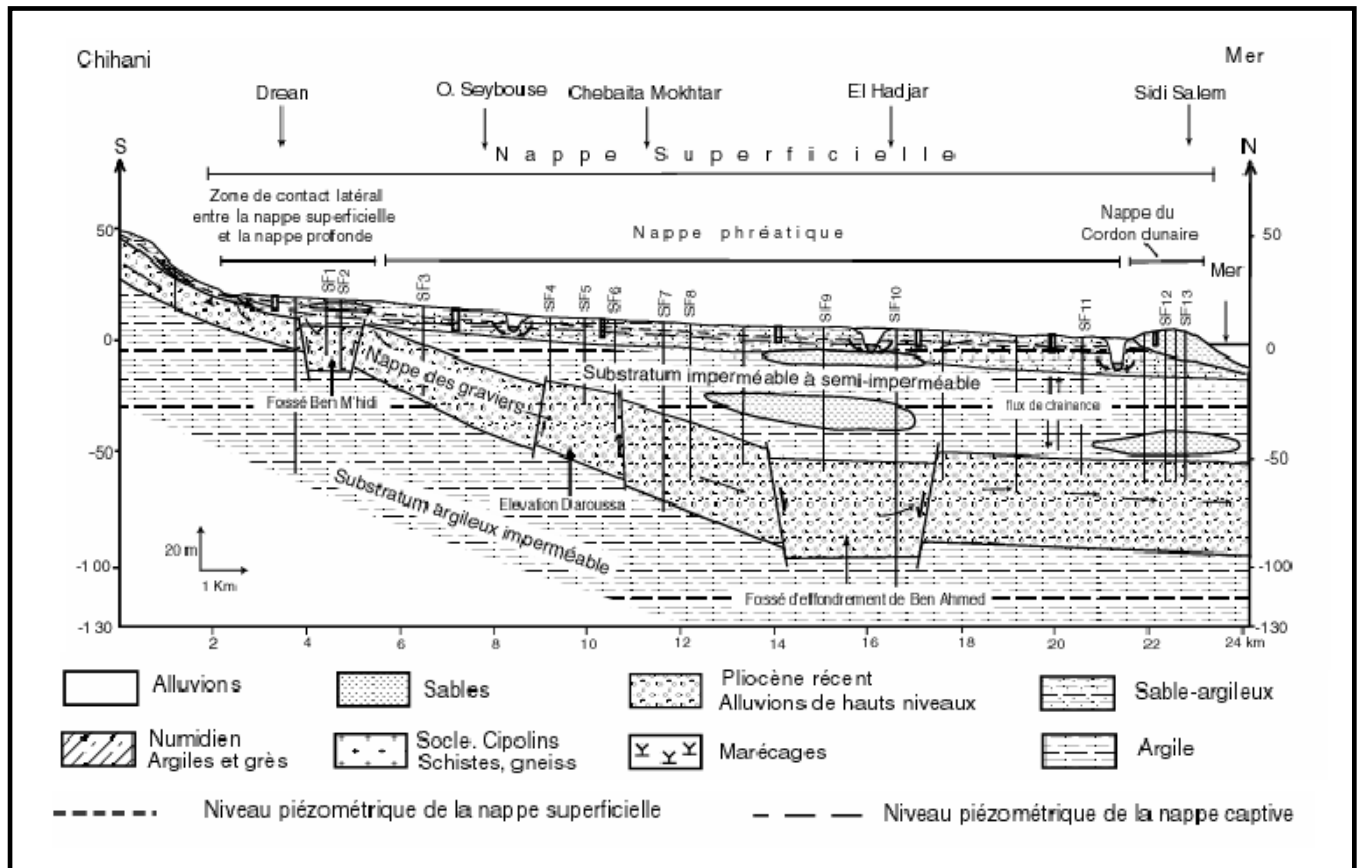


Fig.20. Position des nappes souterraines dans la basse plaine de la Seybouse (in Debieche 2002).

III. L'outil hydrogéologique

On se basant sur la description géologique des terrains ainsi que les caractéristiques hydrogéologiques de chaque formation, on a pu établir le tableau, qui synthétise et combine les caractéristiques géologique et hydrogéologiques de chaque étage.

Tableau 21. Description géologique et hydrogéologique du site .

Ere	Système	Lithologie	Epaisseur (m)	Hydrogéologie	
				perméabilité	Type de nappe
Quaternaire	récent	Sable	5 – 15	perméable	Nappe de cordon dunaire
	moyen	Sable-argileuse	0 – 20	Semi-perméable	Nappe phéatique
	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-gréseux	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	-		

La nappe superficielle fera l'objet de notre étude.

IV. Caractéristiques géométriques de La nappe superficielle

L'hétérogénéité des dépôts a permis de définir un système aquifère constitué par une nappe superficielle qui s'étend sur l'ensemble de la zone d'étude, excepté sur sa bordure nord constituée par les sables du cordon dunaire, à l'Ouest de l'oued Mafragh, et du massif dunaire de Bouteldja à l'Est.

Les coupes lithologiques de forage ont permis d'identifier la structure profonde des principaux aquifères et de déterminer leur extension latérale et verticale. A partir de ces coupes lithologiques, une carte isopaches a été réalisée (in HANI 2003) et montre que la nappe phréatique, est contenue dans des formations sablo-argileuses incluant des lentilles de sables.



La nappe phréatique est globalement libre sauf en quelques points où elle est captive. L'épaisseur de cette nappe est variable; elle passe de 4 m à 8 m sur la majorité de la région, et plus de 12 m dans la partie côtière de l'aquifère et près de Drean et Chbaita Mokhtar (fig.21).

La nappe superficielle est très vulnérable à la pollution suite à l'existence des formations sablo-argileuses qui laissent les polluants chimiques s'infiltrer vers la nappe et sa faible profondeur, d'où elle est menacée par l'existence de plusieurs sites industriels, urbains et agricoles

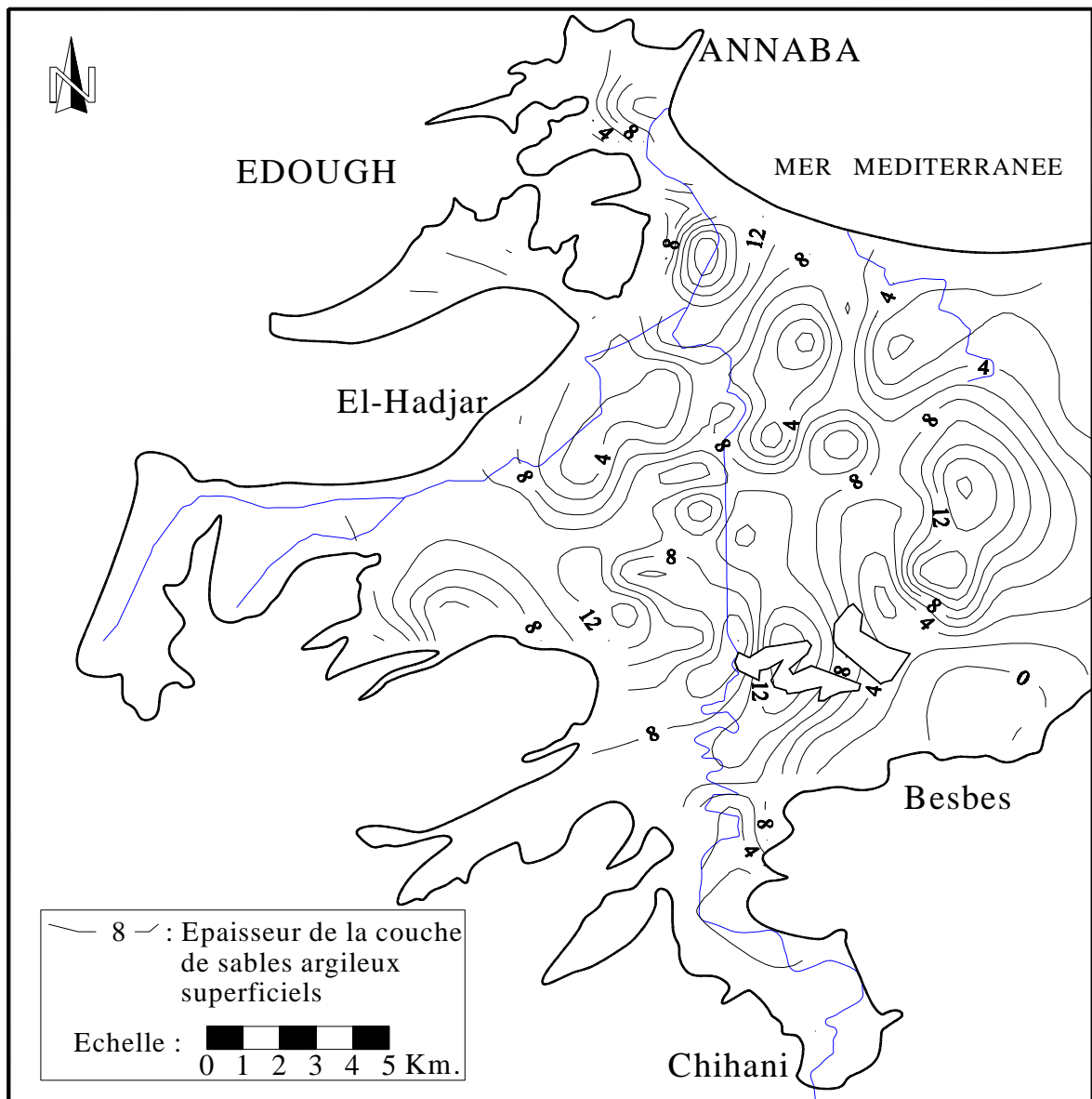


Fig. 21. Carte des isopaches de la nappe phréatique de la basse plaine de la Seybouse (in Hani, 2003).

IV.1. Alimentation de la nappe superficielle

Lorsqu'on parle de la nappe superficielle on la confond généralement avec la nappe des alluvions récentes et actuelles étant donné qu'elle recouvre la majorité de la région. Donc elle se fait

-A partir, des pluies abondantes de la saison humide, des eaux d'irrigation.

-A partir des écoulements souterrains des nappes secondaires de bordure : nappe des terrasses et des grès numidiens au sud, nappe des gneiss altérés.

-A partir de réseau hydrographique, notamment l'oued Seybouse.

V. La piézométrie de l'aquifère

La connaissance de la surface piézométrique de la nappe superficielle a été obtenue par l'inventaire réalisé sur une vingtaine de points d'eau (fig.22.).

Deux cartes piézométriques ont été tracées pour caractériser l'écoulement des eaux souterraines dans la nappe superficielle : l'une pour la période des hautes eaux (Mars 2007, fig.23.) et l'autre pour la période des basses eaux (Juillet 2007, fig.24.).

V.1. Interprétation des cartes piézométriques

V.1.1. Calcul de gradient hydraulique

Le gradient hydraulique est la différence piézométriques entre deux points de surface piézométriques, par unité de longueur, mesurée le long d'une ligne de courant. Dans la pratique, il est calculé sur le terrain, à l'aide des niveaux piézométriques mesurés dans deux ouvrages d'observation, alignés sur une ligne de courant l'un amont H_1 , l'autre aval H_2 , séparés d'une distance L , à partir de la formule suivante :

$$i = H_1 - H_2 / L$$

Avec :

i : gradient hydraulique.

H_1 : niveau piézométriques au point 1

H_2 : niveau piézométriques au point 2

L : la distance entre les deux points 1 et 2



V.1.2. Interprétation des cartes piézométriques

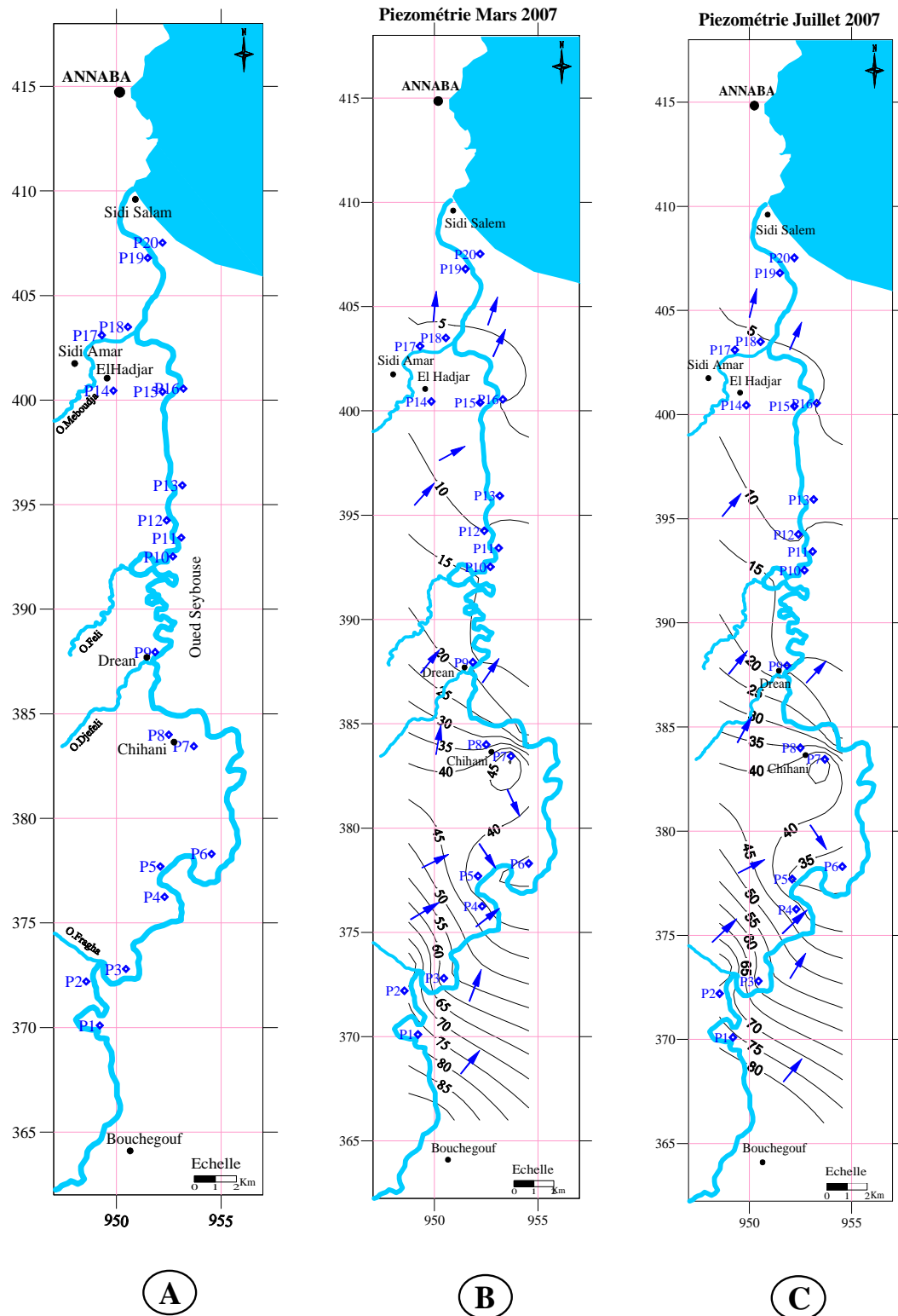
Les deux cartes piézométriques sont globalement identiques, avec un petit changement dans l'allure des isopièzes entre basses et hautes eaux, l'examen des courbes isopièses montre une surface piézométrique assez régulière.

La direction générale de l'écoulement est SW – NE, l'espacement des courbes augmentent progressivement dans cette direction dû à la topographie.

On constate une convergence des lignes de courants vers l'oued ce qui indique une alimentation de la Seybouse par la nappe, et une zone d'alimentation de la nappe par l'oued au niveau de la confluence de l'oued Seybouse et l'oued Meboudja.

Les courbes piézométriques sont serrées dans la partie amont de la région traduisant un fort gradient hydraulique ($1.6 \cdot 10^{-2}$), il marque un écoulement rapide dû à la pente et une perméabilité faible. Vers la partie aval de la région, les courbes sont plus espacées avec un gradient hydraulique faible de $3.5 \cdot 10^{-3}$ ce qui indique une forte perméabilité et écoulement lent.





A : Fig.22. Carte d'inventaire des points d'eau

B : Fig.23. Carte piézométriques hautes eaux

C : Fig.24. Carte piézométriques basses eaux

V.2. Relation nappe superficielle- l'oued

Pour démontrer la relation mixte entre la nappe et l'oued, nous avons réalisé un diagramme montrant les variations du niveau piézométrique de la nappe superficielle et le niveau d'eau dans l'oued. On remarque que tantôt le niveau des puits est supérieur au niveau de l'eau dans l'Oued, ceci caractérise particulièrement la zone amont et traduit donc un drainage de la nappe par l'Oued, au niveau de la zone aval, on note une relation inverse c'est-à-dire le niveau d'eau est plus élevé dans l'oued se traduisant donc par une alimentation de la nappe par l'Oued (fig.25).

L'oued Seybouse parcourt la nappe alluviale de la basse plaine de la Seybouse qui est constituée par des formations sablo-argileuses de 2 à 20 m d'épaisseur avec une perméabilité de l'ordre de 10^{-6} à $5.10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$ (in Kherici 1993) et une transmissivité de l'ordre de $2,4.10^{-3}$ à $4,2.10^{-3} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$. Par contre au niveau du lit de l'oued, les formations sont constituées par des matériaux alluvionnaires, des limons et des cailloux.



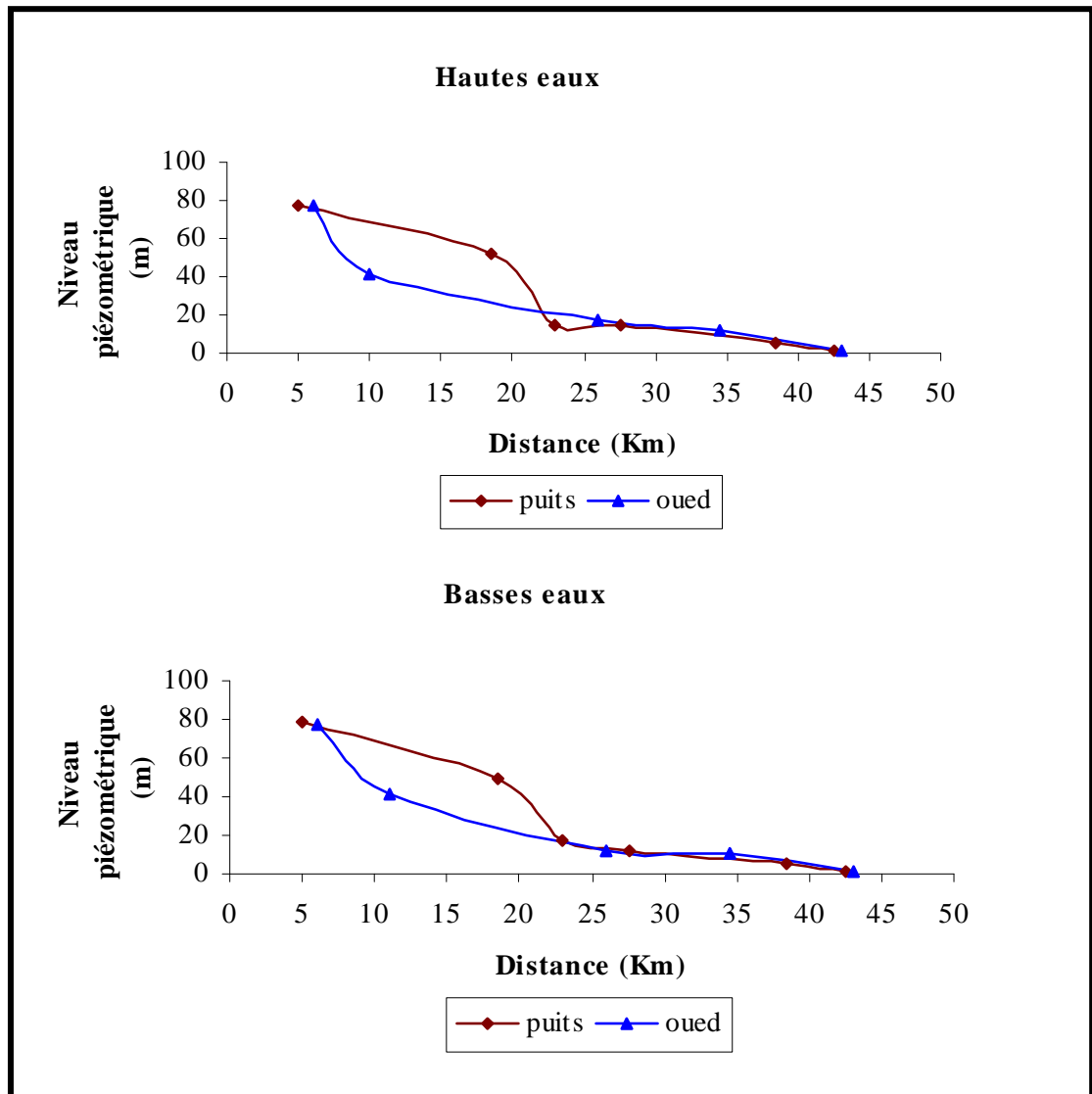
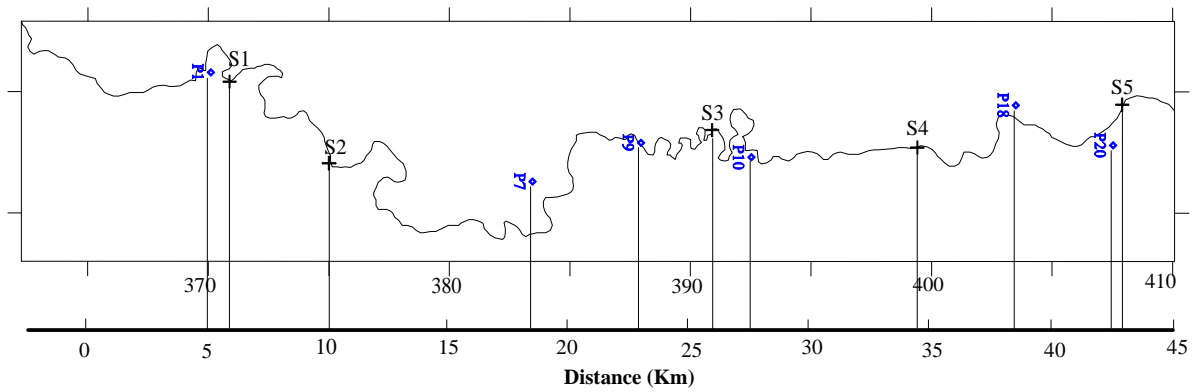


Fig.25. Relation hydrodynamique entre l'oued et la nappe superficielle en fonction de la distance par rapport à le niveau piézométrique.



Conclusion

Dans la basse Seybouse on distingue 3 principales nappes; la nappe superficielle contenue dans les argiles sableuses, la nappe des graviers et la nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja qui constitue la bordure Est du système. Ces trois nappes sont largement exploitées par de nombreux ouvrages de captage destinés à l'alimentation des populations et pour répondre aux besoins de l'industrie et de l'agriculture.

La cartographie piézométrique et l'étude de l'évolution du niveau piézométrique permettent de définir le sens de l'écoulement souterrain et ont mis en évidence la relation qui existe entre l'oued et la nappe. Les relevés piézométriques effectués montrent que la nappe draine l'oued dans la partie amont alors que dans la partie aval c'est l'oued qui alimente la nappe.

Les perméabilités verticales du sol variant entre 10^{-6} à 5.10^{-5} m/s rendent la nappe superficielle vulnérable à la pollution, suite à l'existence des formations sablo-argileuses qui laissent les polluants chimiques s'infiltrer vers la nappe, et sa faible profondeur d'où elle est menacée par l'activité de plusieurs sites industriels, urbains et agricoles.



Hydrochimie

C
H
A
P
I
T
R
E

V

L'étude de la qualité des eaux reste d'un apport indéniable car conditionnant toutes utilisations de ce liquide. Dans les pays en voie de développement et par méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène cette denrée reste exposée à toutes sortes de pollution, ce qui générera des maladies dont le coût d'irradiation dépasse de très loin le prix des analyses effectuées pour la détermination de la qualité de l'eau. La région ciblée par notre travail est sujette à différentes pollutions (agricole, industrielle, urbaine et naturelle due à la roche), ce qui nous oblige à orienter nos recherche dans diverses directions.

Introduction

La région étudiée a cause d'un développement urbain anarchique et d'une industrie particulièrement polluante, voit son environnement se dégrader de manière significative. De ce fait le problème de l'eau, en quantité suffisante et en qualité appréciable se pose avec acuité dans cette région.

L'évaluation de l'état des eaux de surface repose sur l'étude de trois caractéristiques :

- La qualité physique des cours d'eau (état du cours d'eau et de ses berges).
- La qualité physicochimique de l'eau.
- La qualité biologique de l'eau : nombre et variétés des espèces vivantes occupant le cours d'eau.

Une relation plus étroite entre les rejets et la qualité des eaux pour une connaissance exacte de l'état du milieu, il faut connaître les nouvelles sources de pollution et les caractéristiques de ces sources.

I. Les sources de pollution

Les eaux de surface sont exposées de plus en plus à la pollution, sous la forme de rejets d'effluents industriels ou domestiques, et deviennent progressivement impropres à tout usage.

Les sources d'émission des agents polluants sont liées aux rejets :

- Urbains et domestiques, générant souvent une pollution surtout organique, bactérienne et virale.
- Industriels causant une pollution chimique et thermique.
- Agricoles, particulièrement les phytosanitaires, d'où un accroissement des nutriments dans les eaux. .

I.1. Pollutions urbaines et domestiques

Les agglomérations urbaines recense actuellement 685286 habitants, contre 584386 en 1998.

Après usage, les eaux usées sont collectées dans un réseau d'assainissement (l'égout) et acheminées vers l'Oued et ceci sans traitements préalables. Les agglomérations de la basse

Seybouse disposent de réseaux d'assainissement unitaires et séparatifs. Le tableau en dessous montre les points de rejets domestiques des agglomérations qui entourent le long de l'oued Seybouse.

Tableau 22. Les récepteurs des eaux usées au niveau de la basse vallée de la Seybouse.

Agglomération	commune	Wilaya	Lieu de rejet
Boucheougouf	Boucheougouf	24	Oued Seybouse
Oued Fragha	Oued Fragha	24	Oued Seybouse via Oued Fragha
Moumna	Oued Fragha	24	Oued Seybouse
Boukamouza	Oued Fragha	24	Oued Seybouse
Chihani	Chihani	36	Oued Seybouse
Drean	Drean	36	Oued Seybouse
Feddaoui Moussa	Drean	36	Oued Seybouse
Chebaita Mokhtar	Chebaita Mokhtar	36	Oued Seybouse
El Hadjar	El Hadjar	23	Oued Meboudja
Sidi Amar	Sidi Amar	23	Oued Meboudja
El Bouni	El Bouni	23	Oued Seybouse
Sidi Salem	Sidi Salem	23	la Mer

Source : service de l'environnement (Annaba).

Les quantités d'eau utilisées par chaque commune dépendent de la population, de cette dernière dépendent aussi les quantités d'eau rejetées. Le tableau 19 présente la quantité des eaux usées rejetée de chaque commune.

Tableau 23. Le volume des eaux usées rejeté dans la Seybouse (2004).

Commune	Quantité consommée AEP m³/j	Quantité rejeter m³/j
Boucheougouf	2100.97	1680.77
Oued Fragha	363.78	291.02
Chihani	1954.26	1563.40
Drean	4029.1	3223.3
Chbaita Mokhtar	3097.8	2478.26
El Hadjar	6690.32	5352.25
Sidi Amar	13269.97	10615.98
El Bouni	20534.81	16427.84

Source : Service de l'environnement (Annaba)

I.2. pollution industrielle

La région d'étude abrite dans son tissu urbain et à sa périphérie des unités industrielles particulièrement polluantes. Le tableau suivant donne un aperçu sur ces unités industrielles dont les rejets atteignent l'oued Seybouse.

Tableau 24. Inventaire des entreprises existant dans la région

Commune	Lieu d'implantation	Nom	Nature / Type	Type de polluant	Volume rejeté m ³ /s
Bouhegouf	Bouhegouf	Eriad	Semoules		4
Bouhegouf	Bouhegouf	Eriad dépôt	Dépôt de semoule		1
Bouhegouf	Bouhegouf	Unité de textile militaire (CHC)	Fabrication d'habillement militaire et chaussures	P,I	/
Oued Fragha	Oued Fragha	L'huilerie (privé)	Transformation d'olive		
Drean	Drean	Saca (privé)	Transformation de tomate		28
Drean	Drean	Les Aures (privé)	Transformation de tomate		184
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	Sarl E.R.W.A.EST	Acierie	rejet non polluant	5
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	EPE-ENCC	Charpenterie métallique, chaudronnerie, et usage	Eaux usées	N.C
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	TRANS CANAL EST	Production tuyaux en béton armé	Eaux usées industrielles	1.5
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	CHO-CO-TEK (privé)	Chocolaterie et confiserie	Eaux usées	9
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	S.N.C. Belkheri (privé)	Confiserie		N.C
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	SAT.PAP ALIF (privé)	Transformation du papier	Eaux usées	9
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	M.T.A	Maintenance, transport, transit et agréage	Eaux usées et pluviiales et	4
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	ETS Boutra (privé)	Fabrication des sachets en plastique		10
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	Sarl Rhumel Gum	Fabrication de Chewing-Gum	Eaux usées	1
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	Sarl EST (privé)	Transport Est	Eaux + huiles usées	2
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	SOFARM (privé)	Fabrication articles médicaux		2
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	T.M.P.K (privé)	Transformation du plastique	Eaux usées	2
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	SIDER G.C.L	Commercialisation des	Eaux usées	1

			produits sidérurgiques		
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	E.N.G.L	Production et distribution de gaz industriel	La chaux et eaux usées	600
El Hadjar	Z.I. Pt Bouchet	TREFIL EST ex E.N.T.P.L	Transformation de produits longs (acier)	P,I	10
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	EN SIDER	Sidérurgie		10429
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	SARL PROCOMAC (privé)	Fabrication de carrelage GRANITO		1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	PLASTINATTE (privé)	Transformation du plastique		1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	Sarl Vitre Khezzane	Fabrication de pare brise, vitres et miroirs		1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	E.N.A.B	Bois et dérivés		1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	HIPPONE NATTES (privé)	Fabrication des nattes plastiques		5
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	S.N.C. C.E.C.C.O (privé)	Transformation du papier		1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	Sarl S.T.C.M. (privé)	Torréfaction de café		1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	G.I.P.C. CELPAP ENEPAC	Récupération et compactage des déchets papier et carton		1
Sidi Amar	Z.I. Sidi Amar	PROCIM ex (PROSIDER)	Construction et galvanisation		5
El Bouni	Z.I. Allelick	G.T.H ex (ETHAN)	Travaux hydrauliques	Eau chargée NH3, huile usagé, boue de chrome, poussière métallique	5
El Bouni	Z.I. Allelick	S.N.V.I/URD 801	Unité de rénovation et de distribution de véhicules		99
El Bouni	Z.I. Allelick	FERROVIAL	Construction de matériels et équipement ferroviaires		102
El Bouni	Z.I. Allelick	ORELAIT	Production et commercialisation du lait et des produits laitiers		666
El Bouni	Z.I. Allelick	(Ex. EBAN) ETCA	Bâtiments et travaux publics		9
El Bouni	Rte des salines	ORAVIEST	Production et		80

			commercialisation des produits avicoles		
El Bouni	Gharbi Aissa	G.A.E.-U.A.B. ANNABA	Production et commercialisation des aliments de bétail		4
El Bouni	Z.I. Sidi Salem	S.N.C. Zemouli Frères	Boissons gazeuses		1
El Bouni	Z.I. Sidi Salem	Coop. El EKHOUA (privé)	Fabrication de parpaings		2
El Bouni	Z.I. Sidi Salem	ASMIDAL	Production des engrais phosphatés et azotés		2800

Source : Agence des bassins hydrographiques

Les stations d'essence particulièrement, celles assurant le lavage et la vidange des véhicules sont des sources de pollution potentielle. Il convient donc de les considérer comme tel. Le tableau suivant donne un aperçu sur la répartition des stations de lavage et vidange à travers la zone d'étude.

Tableau 25. La répartition des stations de lavage et vidange à travers la zone d'étude.

Région	Bougegouf	Chihani	Drean	Chbaita. M	El Hadjar	Sidi Amar	El Bouni	Sidi Salem
station lavage et vidange	1	/	4	1	/	6	3	2

I.3. Pollution agricole

L'agriculture est une source de pollution avérée, son origine est l'utilisation abusive des engrais. Le tableau suivant donne un aperçu sur les quantités d'engrais livrés aux agriculteurs.

Tableau 26. Engrais et produits phytosanitaires utilisés par les agriculteurs de la région de Annaba (compagne 2005 / 2006).

Type de produits	Unité 1	Quantité livrée aux producteurs
Engrais		
NPK $\times 10$	Quintal	1913
NPK 3 \times 15 SP	Quintal	23400
PK 0 20 25	Quintal	110
TSP SUPER PHOSPHATES	Quintal	8350
UAN	Quintal	430
NPK 3 \times 15 KCL	Quintal	3520
UREE 46%	Quintal	13872
Sulfate d'ammonium 21%	Quintal	85
SSP (Super simple PH)	Quintal	3550
Produits phytosanitaires		
1. Solides		
Insecticides	Kg	1563
Fongicides	Kg	5345
Herbicide	Kg	1493
2. Liquides		
Insecticides	Litre	13620
Fongicides	Litre	5636
Herbicide	Litre	26930

Source: l'agriculture Annaba

En Algérie, l'utilisation des engrais reste faible comparativement au Maroc (figure 26). L'utilisation semble se stabiliser autour de 45 unités d'éléments nutritifs/ha, mais reste en deçà des normes d'intensification des cultures et d'amélioration de la productivité. Actuellement l'agriculture algérienne ne consomme que 100 000 tonnes d'éléments fertilisants environ par an alors que, selon la moyenne mondiale, la consommation devrait se situer à 850 000 tonnes par an (ASMIDAL, 2004b). En réalité les doses engrais varie selon le type de culture, la nature de sol et le type d'engrais.

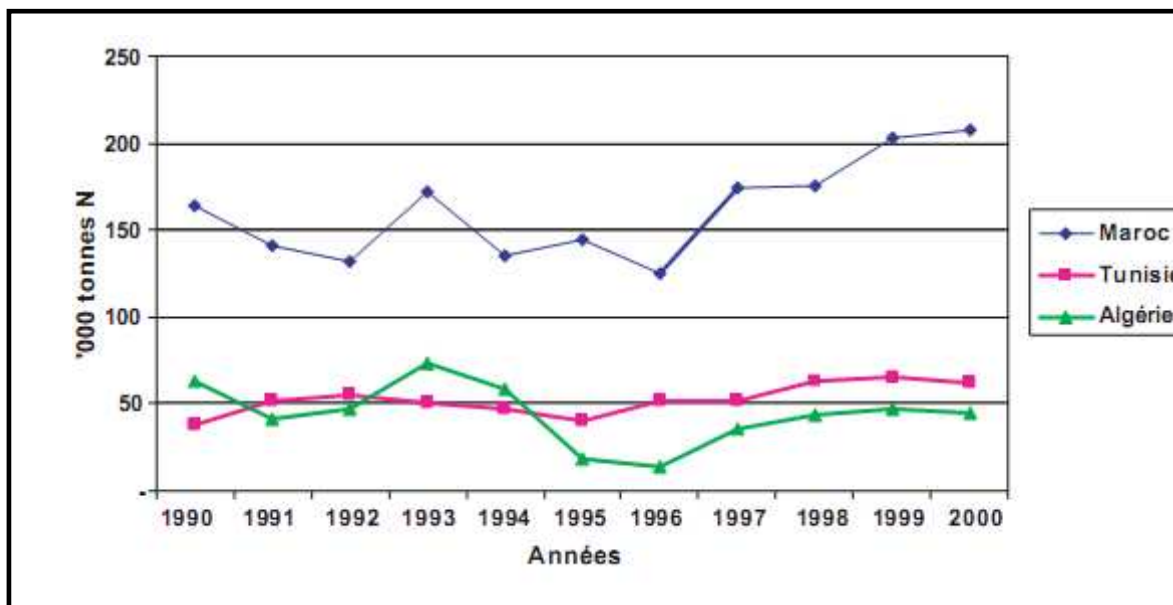


Fig. 26. Tendance de l'utilisation des engrais en Afrique du nord (1990-2000).

L'utilisation des engrais (N.P.K) est chutée entre 1994 et 1997, les valeurs sont inférieures à 25 000 tonnes cause de la disparition des subventions implicites ou explicites et donc de la hausse des charges supportées par les exploitations. Il est possible que la chute brutale entre 1995 et 1998 serait due en outre, probablement, à l'absence d'ammonitrate sur le marché. Une reprise de l'utilisation d'engrais s'amorce en 1999, probablement grâce au soutien apporté à la fertilisation des céréales, la consommation d'engrais attendre 50 000 tonnes en 2000. Par contre au Maroc l'utilisation d'engrais est très élevée peut atteindre plus de 200 000 tonnes en 2000.

Nous avons recensé au niveau de la carte (fig. 27), toutes les sources de pollutions présentes dans la région d'étude. Nous remarquons que ces sources sont plus présentes au niveau de la partie aval. Les rejets des eaux usées (industriels, urbains et provenant de la zone amont) constituant la seconde sources de pollution sont également présent au niveau de cette zone.

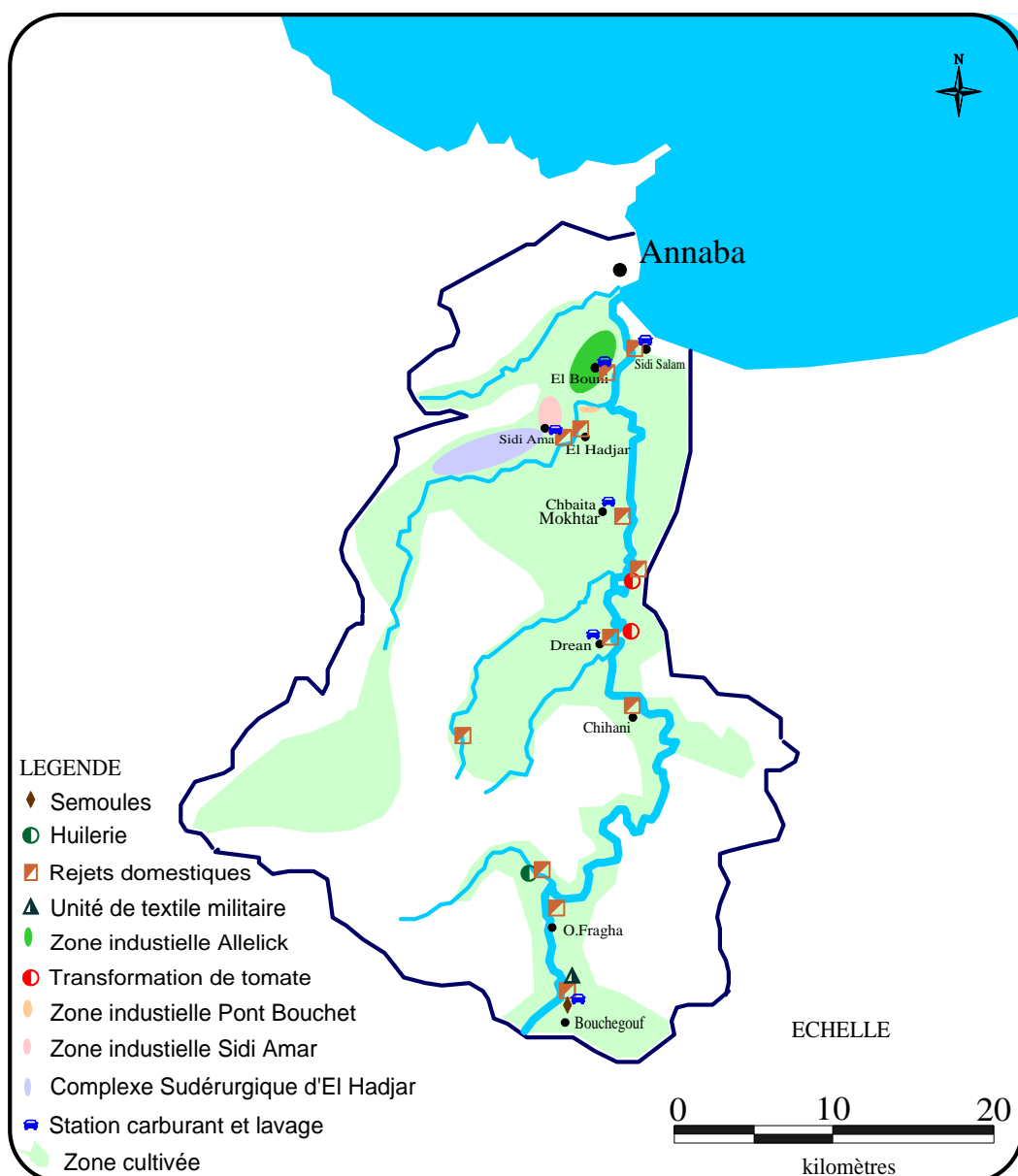


Fig. 27. Carte d'inventaire des entreprises industrielles et des rejets dans la région.

I.4. Les décharges sauvages.

Toute accumulation d'ordures dans un endroit non prévu à cet effet, constitue une décharge sauvage générant des risques de pollution. De ce fait les bouteilles, le plastique, paquets de cigarettes, livres, couches-culottes, emballages de fast-food, carcasses de bêtes, seringues, tontes de gazon, bouteilles remplies d'urine (par des routiers qui ne prennent pas le temps de s'arrêter). Ajoutons à cet inventaire, qui serait digne de Prévert s'il n'était aussi sordide, les trophées d'autres nettoyeurs de l'environnement : roues, cadres de vélomoteurs, bidons, bouteilles d'alcool, canettes (notamment de bière forte), étuis de cartouches de chasse, appareils

électroménagers, matelas, bidons d'huile de vidange, batteries, emballages de barres énergétiques (pour joggers et cyclistes ... etc.), retrouvés en bordure de voirie ou de l'oued sont sources de pollution à prendre en considération.

Les décharges sauvages sont nombreuses dans la zone et souvent à proximité de l'oued, la figure 28 présente la localisation des ces décharges.



Fig. 28. La localisation des décharges sauvages.

La localisation de ces décharges est temporaire, elles apparaissent à chaque fois dans des endroits différents, ce qui nécessite une cartographie quasi constante de ces décharges.

II. Caractéristiques chimiques des rejets

Les eaux usées se déversant dans l'Oued peuvent avoir une origine urbaine ou industrielle. La composition chimique varie en fonction de la provenance des eaux, ce qui implique une étude au cas par cas.

II.1. Les rejets urbains

Les eaux résiduaires urbaines regroupent les eaux ménagères, les eaux vannes et les eaux de ruissellement. La composition et les caractéristiques d'une eau résiduaire urbaine sont peu variables par rapport aux eaux usées industrielles, comme indiqué sur la figure 29, ci-dessous.

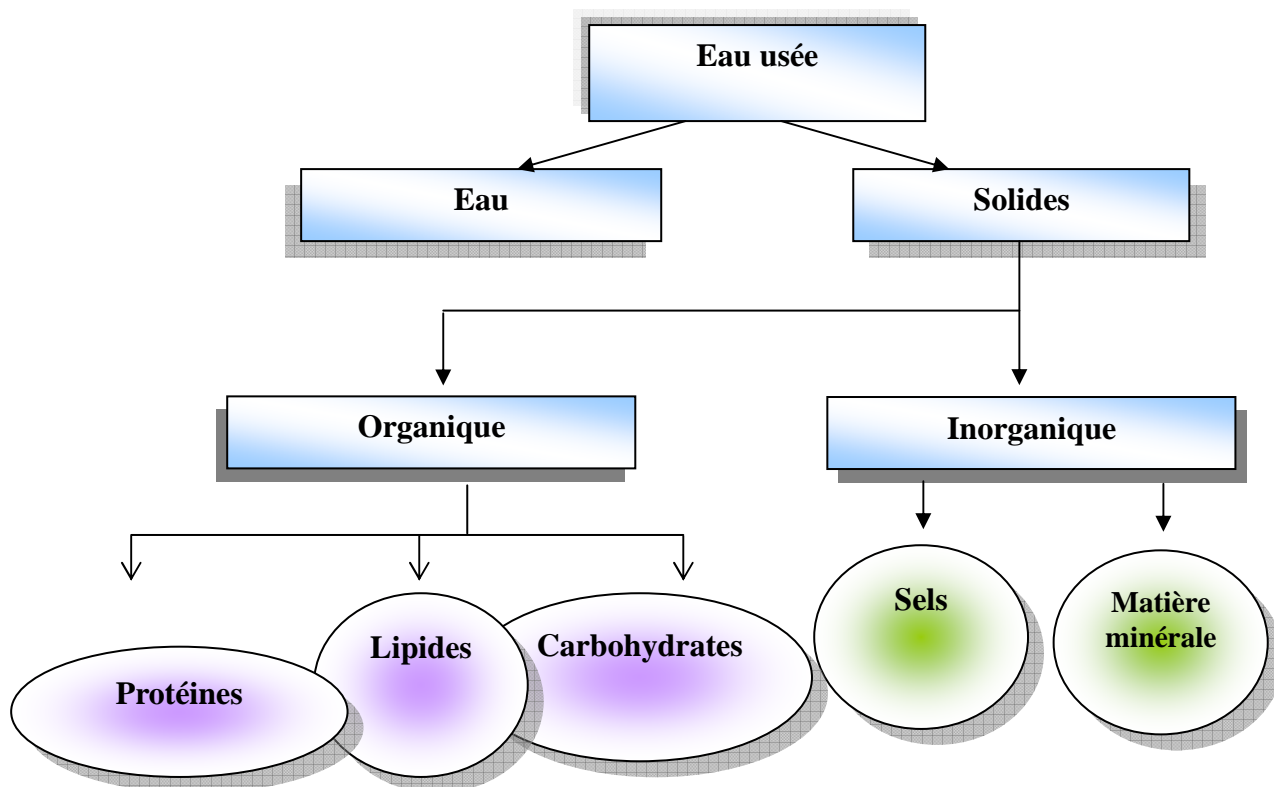


Fig. 29. Composition d'une eau usée domestique

Les apports des eaux domestiques sont caractérisés par des matières organiques biodégradables, mais aussi par des germes pathogènes (causes d'épidémie) et des produits chimiques. Une analyse chimique portant sur quelques éléments de pollution a été réalisée sur les eaux des rejets de l'agglomération de Sidi Amar (Novembre 1999 par Debieche). Les eaux issues des rejets se déversent directement dans l'oued Meboudja. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant 27.

Tableau 27. Analyse physico-chimique de l'eau du rejet urbain de Sidi Amar (novembre, 1999)

Rejet urbain	T°C	pH	Conductivité	Eh	O2	NH4	NO2	NO3	PO4
Unité	°C		$\mu\text{S.cm}^{-1}$	mV	Mg.l^{-1}	mg.l^{-1}	mg.l^{-1}	mg.l^{-1}	mg.l^{-1}
Sidi Amar	17,3	8	1440	410	1	70	0.1	10	32

D'autres analyses ont été effectuées sur les eaux se déversant dans les étangs de stabilisation de l'aéroport ont données les résultats figurant dans le tableau suivant 28.

Tableau 28. Résultats des analyses chimiques des eaux à traiter.

Lieu de prélèvement	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	RS	CE uc/cm	Ph
Dégraisseur (mg/l)	108	60	346	58	560	90	476	1	1786	2600	8.0
Bassin n°1(mg/l)	350	344	2040	260	4000	1250	305	1	8220	12100	8.1

Par ailleurs les analyses de la DCO et de la DBO5 ont donné les résultats suivants :

DCO= 118.4 mg/l

DBO5 = 50 mg/l

Les deux valeurs obtenues montrent une charge polluante importante.

On remarque que les concentrations déterminées restent importantes et dépassent souvent les normes admises surtout au niveau des bassins de décantations. Ces eaux sont pauvre en oxygène (1 mg.l-1) et riche en nutriments principalement: l'ammonium (70 mg.l-1) et le phosphate (32 mg.l-1) qui est essentiellement dû à l'utilisation des détergents.

II.2. Les rejets industriels:

Au niveau de la zone d'étude plusieurs industries ont été recensées, ce qui laisse supposer différentes compositions des eaux des rejets issus de ces industries. Cette situation complique la tâche du chercheur et par la même occasion la lutte contre cette pollution industrielle devient de plus en plus difficile. Les eaux des rejets industriels peuvent être pollués par :

- la matière organique (MO),
- la matière en suspension (MES),
- les nutriments,
- les matières toxiques (phénols, cyanures...),
- les ETM.

A titre d'exemple TH. Debieche 2002, a effectué des dosages sur les eaux prélevées au niveau des rejets de différentes industries implantées dans la zone d'étude.

On peut déduire les constatations suivantes :

Tableau 29 : Composition physico-chimique de quelques rejets industriels

Endroit	Rejet	T°C	PH	Cond.	Eh	O ₂	Nh ₄ ⁺	No ₂ ⁻	No ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Fe(T)	Mn ²⁺
	Unité	°C		μS.cm ⁻¹	mV	Mg.l ⁻¹						
O. Meboudja	Rejet	13.7	2.3	8670	526	4.5	88	0.3	117	0.3	1390	33
	Sider											
O. Seybouse	Rejet	25.5	7.1	1330	164	0.7	2.6	0.1	0	3.2	0.3	0.1
	O.R.Lait											
	Rejet tomate	15.8	7.7	570	364	3.3	0	0	0	0.1	0	0
Mer	Asmidal	27.7	5.6	51000	476	3.3	34	0.4	0	260	0.2	2.4

On remarque que les eaux des rejets de SIDER (aciérie) sont riches en Fe (T), Mn²⁺ et NH⁴⁺.

Le complexe d'engrais phosphatés et azotés (ASMIDAL), présent de fortes teneurs surtout en NH⁴⁺ et PO₄³⁻.

Les eaux du rejet de O.R.Lait, caractérisent un milieu réduit.

Ces deux rejets (industriels et urbains) représentent un danger majeur sur la qualité des eaux, vu les fortes concentrations en polluants chimiques ainsi que le débit élevé des rejets.

III. Qualité des eaux

La qualité d'une eau est caractérisée par les diverses substances qu'elle comprend, leur quantité et l'effet qu'elles ont sur l'écosystème et sur l'être humain. Même l'eau des rivières contient de nombreuses substances, dissoutes ou en suspension, que l'on retrouve partout dans la nature (bicarbonates, sulfates, sodium, calcium, magnésium, potassium, azote, phosphore, aluminium, etc.).

La basse vallée de l'oued Seybouse se caractérise par une grande activité industrielle et urbaine, elle est particulièrement présente sur les deux rives de l'oued Seybouse et ces affluents.

Ces derniers reçoivent quotidiennement des centaines de mètres cubes des eaux rejetées dégradant ainsi la qualité des eaux de ces Oueds. Dans cette partie, nous allons donner un aperçu sur l'état actuel des eaux de l'oued et déterminer les liens pouvant exister entre la pollution et ses sources supposées.

- Les prélèvements et analyses de l'eau:

Trois campagnes de prélèvements ont été réalisées (mois de janvier, avril et juin 2007). Ces dernières ont porté sur les eaux de surface et les eaux de la nappe superficielle. Les échantillons prélevés au nombre de seize échantillons par campagne et se répartissant comme suit :

- Onze (11) échantillons pour Les eaux de surface (sept au niveau des ponts traversant l'oued Seybouse et quatre points localisés sur les affluents de l'Oued. Les points prélevés se situent à l'entrée ou la sortie d'une zone industrielle ou agricole ;

- Cinq (05) échantillons caractérisant les eaux de la nappe superficielle. Les puits analysés se localisent entre Bouchegouf et Annaba, ce qui nous permettra de déterminer la relation oued – nappe (fig. 30).

Les analyses réalisées ont portées sur les paramètres physico chimiques tel que: la température (T), le potentiel d'hydrogène (pH), le potentiel Redox (Eh), la conductivité électrique (CE) et l'oxygène dissous (O₂), les éléments majeurs (Ca, Mg, Na, K, SO₄, HCO₃, Cl), les ETM (Cu, Ni, Pb, Mn, Zn et Fer total), Les paramètres organiques PO₄, NO₃, NO₂, NH₄ et bactériologique (les coliformes totaux, coliformes fécaux et les streptocoques).

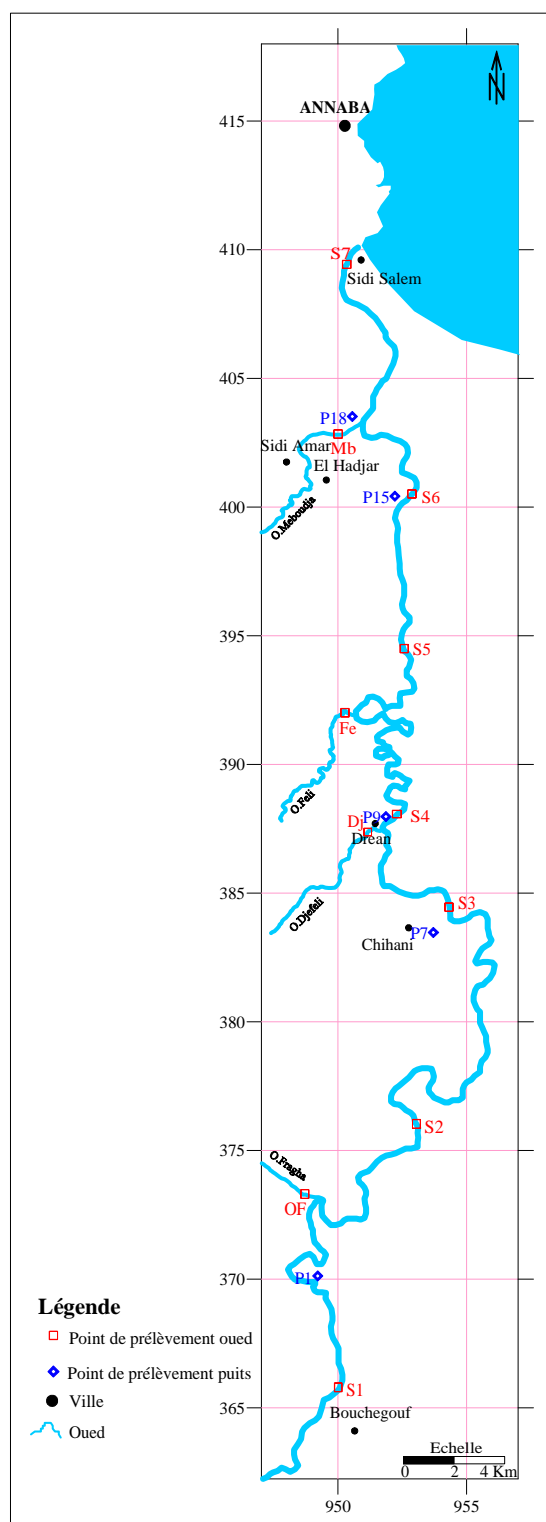


Figure 30. Carte d'inventaire des points de prélèvement

III.1. Résultats et interprétations

III.1.1. Variation des paramètres physico-chimique

Les courbes de variation du pH, EH, conductivité électrique et de la température représentent l'évolution de ces paramètres dans l'espace sur des profils depuis l'amont jusqu'à l'aval de l'oued Seybouse et durant la période s'étalant du mois de janvier, avril et juin 2007.

■ Variation du pH

C'est un paramètre qui définit l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques dans les diagrammes Eh-pH.

Tableau 30. Variations du pH pendant la période de janvier à juin 2007.

Paramètres		Eau de surface					Nappe superficielle
		O. Seybouse	O. Meboudja	O. Fragha	O. Djefeli	O. Feli	
Paramètres Statistiques	Max	8.360	8.860	7.780	7.850	7.950	8.580
	Moy	8.006	8.727	7.540	7.750	7.860	7.569
	Min	7.510	8.520	7.300	7.610	7.710	6.120
	Ecart type	0.036	0.148	0.240	0.102	0.107	0.172
Normes		6.5 < pH < 8.5					

D'une manière générale la plupart des échantillons ont un pH qui ne dépasse pas les normes ($6.5 < \text{pH} < 8.5$). Dans le détail, nous pouvons faire les constatations suivantes :

- Concernant les eaux superficielles de l'oued Seybouse le pH varie entre 7.51 et 8.36. Ce qui serait lié au contact direct avec l'air. Au niveau des affluents (oued Fragha, Djefeli, Feli et Meboudja), le pH, oscille entre 7.3 et 8.86, dû à l'effet des rejets acides ou alcalins provenant des usines.
- les eaux souterraines (la nappe superficielle) présentent des valeurs de pH variant entre 6.12 à 8.58, dépassant la norme ($6.5 \text{ à } 8.5$).

La figure 31, donne un aperçu sur les variations du pH, au niveau des points mesurés. On remarque que cette variation n'est pas homogène mais elle est fonction de la nature de l'eau et de son origine.

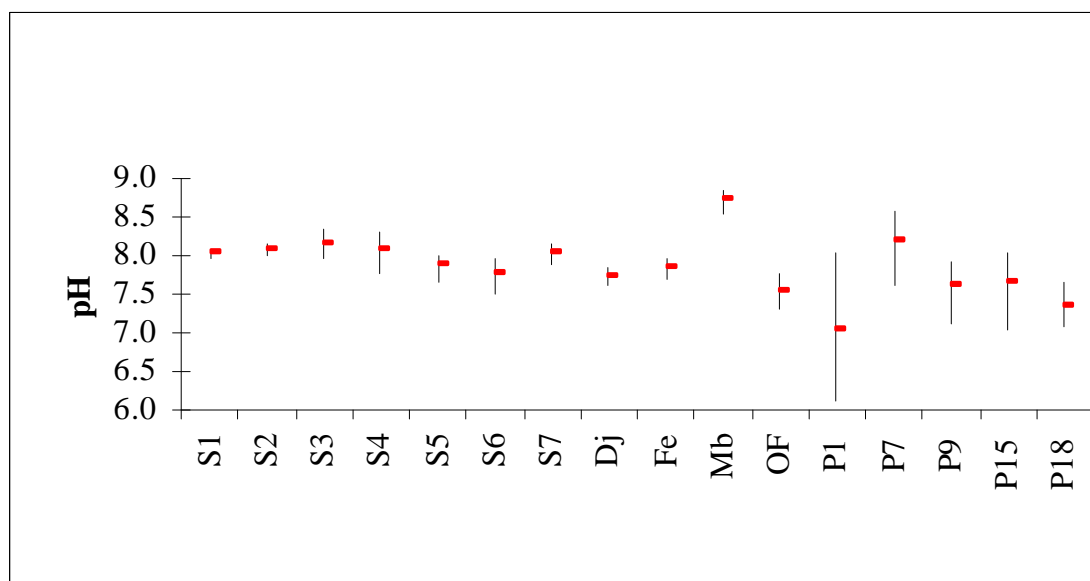


Fig. 31. Variation du pH

■ Variation du potentiel d'oxydoréduction (EH mV)

Le potentiel d'oxydoréduction (EH) est la mesure de la concentration des électrons en solution (en mV). Il agit sur l'intensité de l'activité biologique, sur l'état d'oxydation de certains éléments (Fe, Mn...etc.) et sur l'évolution de la matière organique.

- Si le EH est supérieur à 0 : le milieu est oxydant en contact avec l'air (milieu aérien, aquatique superficiel ou agité).

- Si le EH est inférieur à 0 : le milieu est réducteur à l'abri de l'air (milieu aquatique calme, eaux stratifiées, sols hydro morphes).

Tableau 31. Variations du potentiel d'oxydoréduction pendant la période de janvier à juin 2007.

Paramètres		Eau de surface					Nappe superficielle
		O. Seybouse	O.Meboudja	O. Fragha	O. Djefeli	O. Feli	
Paramètres statistiques	Max	-47.000	-97.000	-57.000	-47.000	-53.000	-9.000
	Moy	-71.143	-112.667	-60.000	-58.000	-62.667	-51.667
	Min	-88.000	-123.000	-63.000	-68.000	7.134	-101.000
	Ecart type	1.795	11.265	3.000	8.602	-70.000	4.147
Normes		-					

Les valeurs de EH varient pour l'ensemble des points de -123 à -9 mV traduisent un milieu réducteur. Les plus faibles valeurs de EH sont de -123 mV, sont enregistrées au niveau de l'Oued Meboudja et sont générées par les rejets urbains et industriels organiques (fig.32).

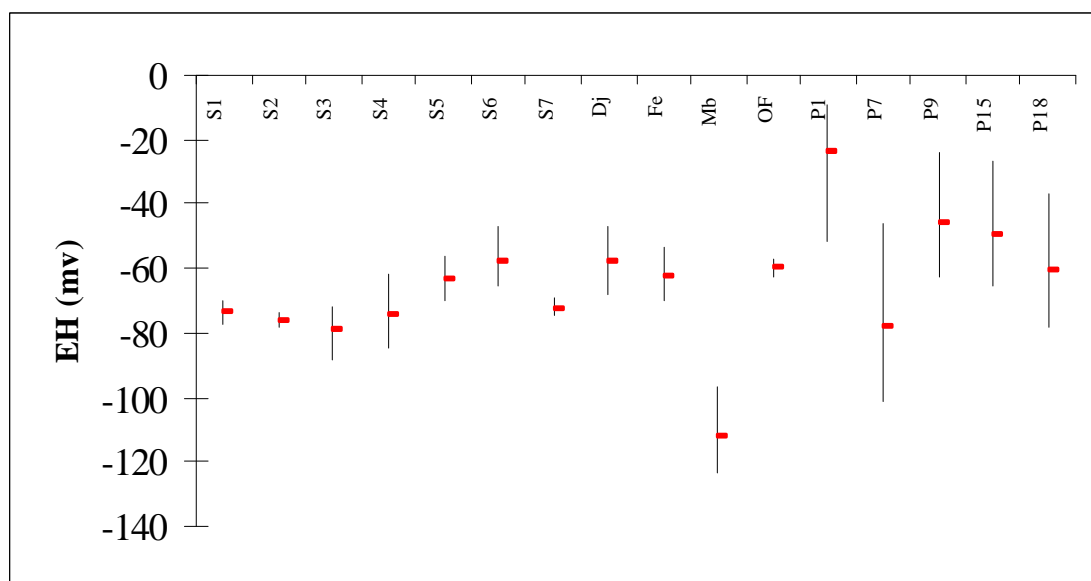


Fig. 32. Variation du potentiel d'oxydoréduction (EH mV)

■ Variation de la température (T °C)

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons et la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

Tableau 32. Variations de température pendant la période de janvier à juin 2007.

Paramètres		Eau de surface					Nappe superficielle
		O. Seybouse	O. Meboudja	O. Fragha	O. Djefeli	O. Feli	
Paramètres statistiques	Max	27.700	26.300	25.600	24.200	23.600	22.500
	Moy	21.019	21.833	24.900	20.433	20.533	19.879
	Min	14.300	17.200	24.200	15.200	15.300	14.600
	Ecart type	0.427	3.717	0.700	3.818	3.719	0.289
Normes		<25					

Au niveau de la nappe superficielle, la température atteint 22.5 °C, elle reste inférieure à la norme (< 25°C). Par contre Au niveau des eaux de surface, les températures peuvent aller jusqu'à 30°C sous l'influence des conditions externes (fig. 33)

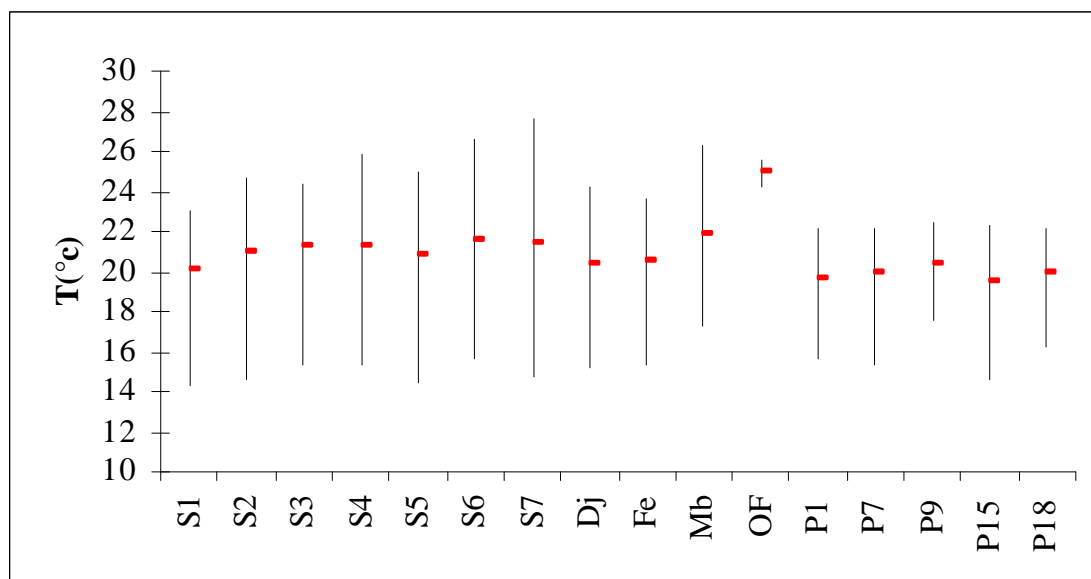


Fig.33. Variation de la température.

■ Variation de la conductivité électrique (CE μ s/cm)

La conductivité électrique montre le degré de minéralisation d'une eau. Elle est conditionnée par la présence des espèces ioniques en solution. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée.

Tableau 33. Variations de conductivité électrique pendant la période de janvier à juin 2007.

Paramètres		Eau de surface					Nappe superficielle
		O. Seybouse	O. Meboudja	O. Fragha	O. Djefeli	O. Feli	
Paramètres statistiques	Max	3060.000	1949.000	789.000	2895.000	2770.000	4480.000
	Moy	1945.190	1750.330	740.500	2046.330	2057.000	2267.870
	Min	1189.000	1579.000	692.000	1024.000	941.000	692.000
	Ecart type	88.861	152.283	48.500	773.641	799.215	34.060
Normes		< 400					

Les valeurs de conductivité dépassent la norme recommandée pour les eaux de potable (400 μ s/cm).

La nappe superficielle présente des valeurs allant jusqu'à 4480 μ s/cm, traduisant ainsi un lessivage des minéraux, engendré par le contact eau-roche.

La conductivité des eaux de surface est élevée (3060 μ s/cm). Au niveau du S7, cette minéralisation serait due à une contamination marine. Cette conductivité atteint de faibles valeurs au cours de la période pluvieuse. Elle était de l'ordre de 692 μ s/cm pour les eaux de l'oued Fragha (fig. 34).

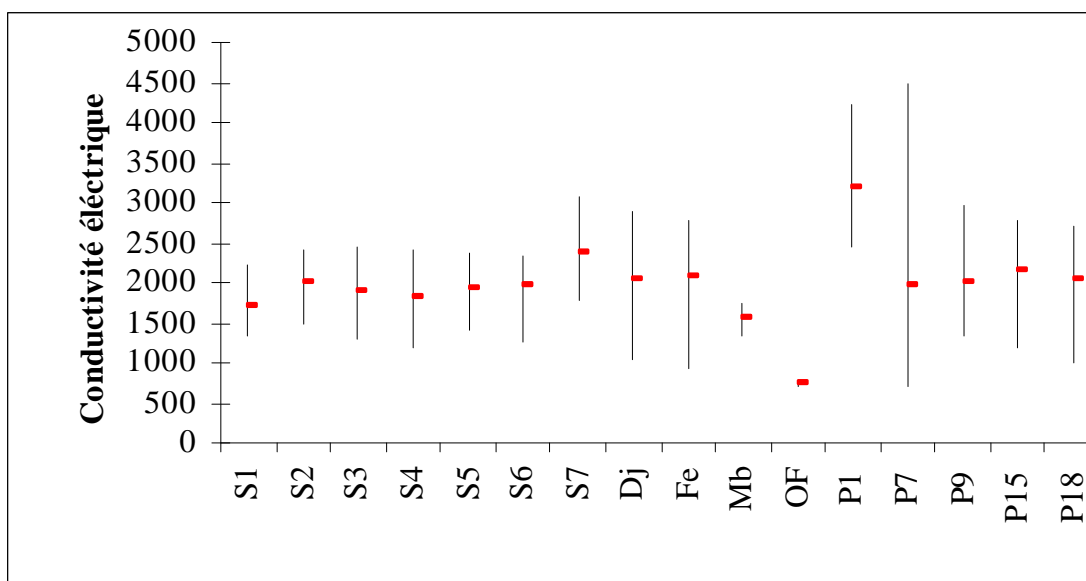


Fig.34. Variations de la conductivité en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

■ Variation de l'oxygène dissous (O_2)

La quantité d'oxygène en solution dans une eau régit les réactions d'oxydoréduction et présente une évolution inverse à celle du Eh.

Tableau 34. Variations de l'oxygène dissous pendant la période de janvier à juin 2007.

Paramètres		Eau de surface					Nappe superficielle
		O. Seybouse	O. Meboudja	O. Fragha	O. Djefeli	O. Feli	
Paramètres statistiques	Max	7.680	1.990	3.200	2.210	5.630	5.620
	Moy	3.746	1.690	3.130	1.333	3.627	2.762
	Min	1.650	1.490	3.060	0.390	2.400	1.230
	Ecart type	0.538	0.216	0.070	0.745	1.428	0.465
Normes		5					

Les teneurs les plus élevées sont observées au niveau des eaux de surface de l'oued Seybouse avec une moyenne de $3.74 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Les valeurs les plus basses sont observées au niveau de l'oued Meboudja avec une moyenne de $1.69 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, les rejets industriels diminuent les teneurs en O_2 . Par contre, la nappe superficielle dont la couverture argileuse en surface est absente rendant le niveau d'eau proche de la surface du sol, les teneurs sont importantes mais au niveau des zones où la couverture argileuse on observe une diminution des teneurs en oxygène (fig. 35).

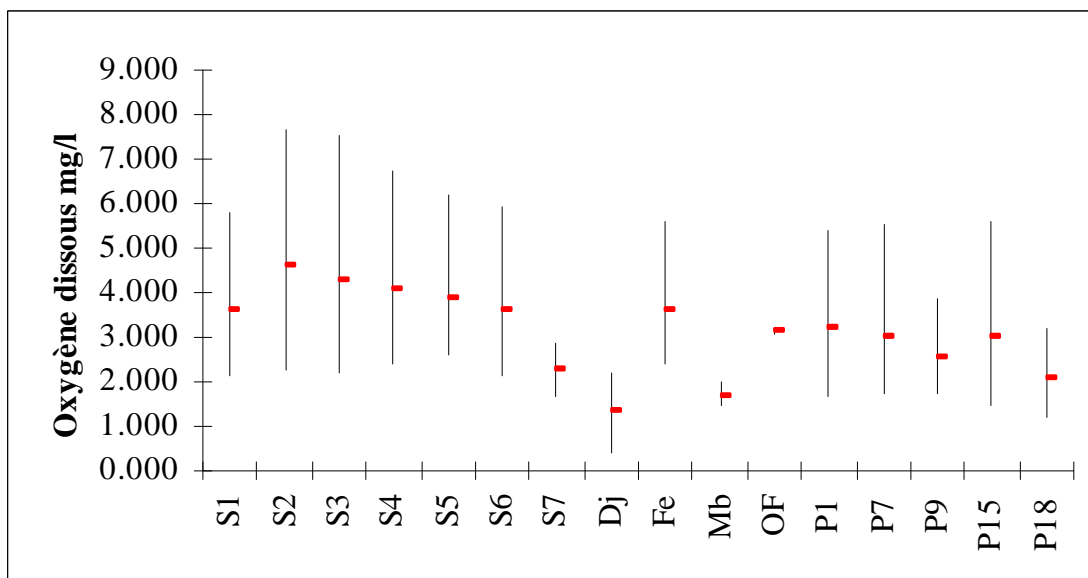


Fig.35. Variation de l'oxygène dissous (O₂).

III.1.2. Les eaux de surface

III.1.2.1 Statistiques élémentaires

Les paramètres statistiques des basses et des hautes eaux pour l'année 2007 (Min, Max, Moyenne et écart type) sont calculés et résumés dans le tableau suivant:

Tableau 35. Variations des concentrations des éléments chimiques des eaux

Libellé de la variable	Effectif	Poids	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Normes
Ca	11	11.00	160.585	42.814	61.600	210.000	> 200
Mg	11	11.00	34.598	6.154	23.667	44.000	50
Na	11	11.00	297.358	55.828	182.500	374.533	200
K	11	11.00	9.334	2.613	4.230	13.477	12
HCO ₃	11	11.00	266.531	42.270	210.000	371.067	
Cl	11	11.00	318.806	56.045	235.250	437.550	250
SO ₄	11	11.00	114.884	31.036	40.500	148.667	250
NO ₃ (mg/l)	11	11.00	2.406	1.946	0.570	7.093	50
NO ₂ (mg/l)	11	11.00	1.776	1.911	0.187	6.363	0.1
NH ₄ (mg/l)	11	11.00	4.067	4.606	0.580	13.117	0.5
PO ₄ (mg/l)	11	11.00	1.138	0.962	0.230	3.157	0.5

Nous remarquons que les teneurs en calcium, magnésium, sulfates et potassium, présentent des valeurs moyennes inférieures aux normes admises et ceci au cours des deux périodes considérées. En revanche les chlorures, le sodium et les bicarbonates présentent des

teneurs supérieures aux normes.

L'azote est présent dans les eaux de surface sous trois formes chimiques (nitrates, nitrites et l'ammonium). Notons que les concentrations moyennes en nitrates (2.406), au niveau de l'oued Seybouse et ces affluents sont inférieures aux normes admises (50 mg/l), par contre l'ammonium (4.067 mg/l), nitrites (1.776) et phosphates (1.138) présentent des teneurs élevées supérieures aux normes.

Pour comprendre les mécanismes régissant la pollution des eaux dans cette région, nous allons utiliser plusieurs méthodes parmi les quelles l'analyse en composantes principales, celle-ci permettra la détermination des liens existants entre les éléments chimiques.

III.1.2.2. Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique essentiellement descriptive; son objectif est de présenter, sous une forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données (Diday & *al.* 1982; Philipeau, 1992). Ce tableau doit être constitué, en lignes, par des individus sur lesquels sont mesurées des variables quantitatives (Gaudin, 1982; Diday & *al.* 1982; Philipeau, 1992; Dervin, 1992).

Pour faciliter la visualisation des individus, l'ACP réduit les dimensions des espaces. Les espaces retenus seront donc à une dimension (c'est-à-dire des droites) ou, et c'est le cas le plus fréquent, à deux dimensions (c'est à dire des plans) (Philipeau, 1992).

Les droites et les plans issus d'une ACP ne seront pas réalisés avec les variables initiales mais avec des indices synthétiques obtenus par combinaison linéaire de variables initiales. La méthode cherche d'abord l'indice pour le quel la variation des individus est maximale: cet indice est appelé première composante principale ou premier axe principal.

Ensuite, une seconde composante est recherchée et ceci sous deux conditions:

- Avoir une corrélation nulle avec la première.
- Avoir, à son tour, la plus grande variance.

Ainsi, cette deuxième composante fournit la plus grande information non expliquée par la première (Dervin, 1992; Philipeau, 1992).

Le processus se déroule ainsi jusqu'à l'obtention de la dernière composante principale, la part d'information expliquée par chacune d'elle devenant de plus en plus faible (Diday & *al.* 1982; Philipeau, 1992).

Dans cette étude, nous avons effectué une analyse statistique (ACP) des eaux superficielle

sur les deux périodes (basses eaux et hautes eaux). Le but de cette analyse statistique est de faire ressortir:

- Les différentes corrélations significatives entre éléments chimiques afin de comprendre le mécanisme du chimisme des eaux.
- Les points d'eau qui possèdent des concentrations élevées en éléments chimiques par rapport à l'ensemble de la plaine.

Cela nous permet de donner une idée préalable sur les éléments et les sites de pollution.

Ces résultats d'analyse caractérisant les eaux de surface et la nappe superficielle ont permis la réalisation d'une analyse en composantes principales (basses et hautes eaux).

♦ Résultats et interprétations

Pour réaliser notre étude, nous avons utilisé le logiciel Spad, La matrice des données comporte 11 variables et 11 individus. Le traitement réalisé a donné une inertie totale de 74.99 % pour les deux axes F1 et F2. (Fig. 36)

Le facteur FI (49.74%) montre une opposition entre deux familles, la première regroupant l'ammonium, le phosphate et le potassium provenant de l'utilisation des engrais. La deuxième comporte outre les nitrates, les nitrites et les éléments majeurs caractérisant la minéralisation des eaux comme le Na, le Ca, le Mg, le SO_4 et le Cl, ces éléments semblent avoir la même origine. Les bicarbonates s'opposent aux éléments pré cités semblent indiquer une origine externe à la plaine, ils proviendraient de la zone amont.

Le facteur FII avec 19.30%, indique une opposition entre les eaux fortement minéralisées et polluées par les nutriments et le phosphate aux eaux de bonnes qualités.

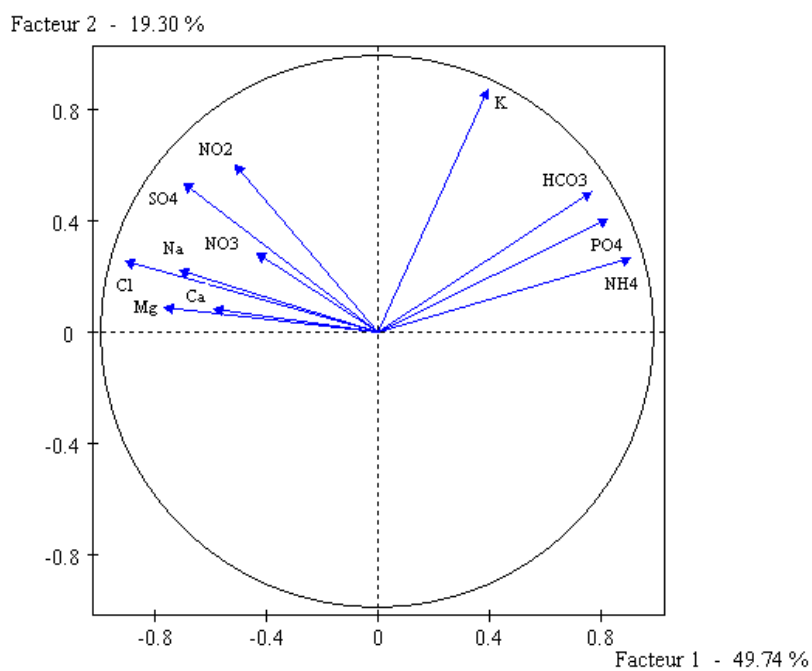


Fig. 36. Cercle ACP des eaux souterraines (eau de surface).

La projection des individus (fig. 37) montre que les éléments de la pollution urbaine, industrielle et agricole sont liés aux eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents, ce qui laisse supposer des arrivées d'eau de diverses origines.

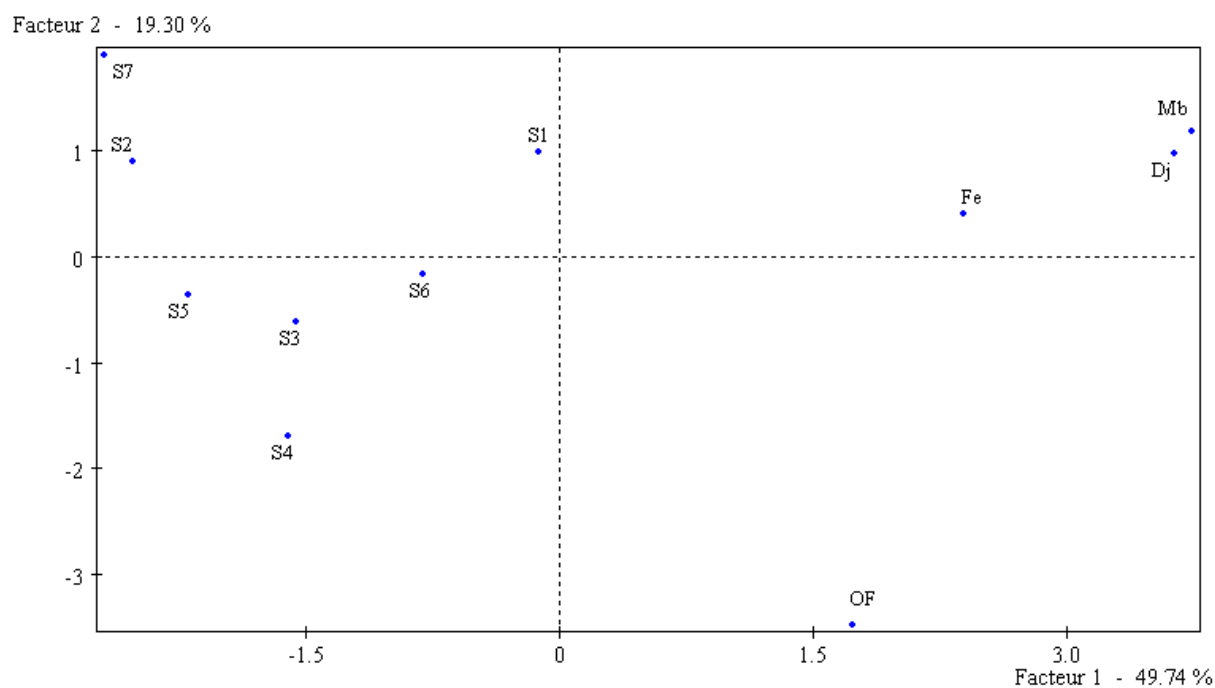


Fig. 37. Plan I-II des individus (eau de surface).

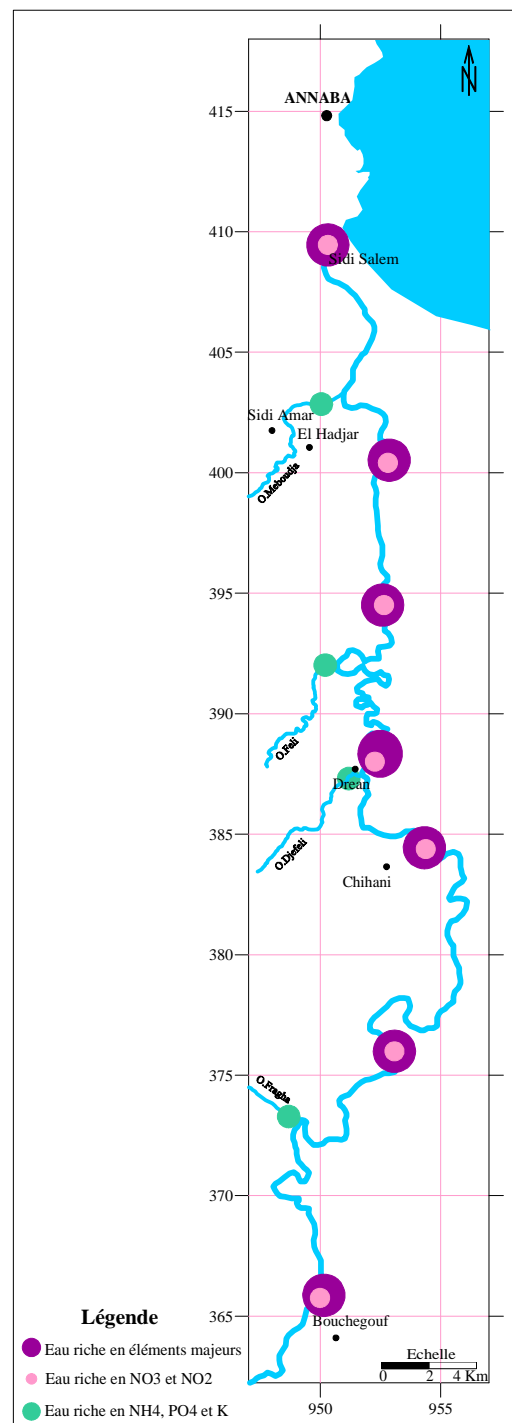


Fig.38. Carte récapitulative des concentrations des éléments chimique
(Eau de surface)

b/ Comparaison des eaux des Oued Fragha et Oued Seybouse

A partir de tableau 36 on peut remarquer que les eaux de S1 (oued Seybouse) riches en éléments majeurs proviennent de la dissolution des formations géologique, les nitrates et les nitrites qui dépendent des engrais. Par contre les eaux de l'oued Fragha sont moins minéralisées et moins polluées (faibles concentrations en nitrates et en nitrites), par rapport à celles de l'Oued Seybouse. Cette situation serait due au fait que les eaux de Oued Fragha, ne sont pas issues des rejets et donc ne subissent pas les effets de ces dernier.

Tableau 36. Comparaison des eaux OF et les eaux de S1

Echantillon	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CE	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
OF	105.500	32.000	8.120	262.000	40.500	245.300	740.500	0.965	0.307
S1	149.000	33.700	14.060	302.067	130.453	262.580	1690.330	2.593	3.670

III.1.3. Les eaux de la nappe superficielle

Les analyses chimiques des eaux de la nappe superficielle ont été effectuées sur 5 observations se rapportant à trois campagnes d'échantillonnages (Janvier, Avril et Juin 2007).

Le nombre d'individu (5 individus) est faible donc cette ACP ne donne pas des résultats probants, pour cette raison je prends le nombre total des analyses.

III.1.3.1. Statistiques élémentaires

Les concentrations observées sont reportées dans le tableau ci-après (tableau 37).

Tableau 37. Variations des concentrations des éléments chimiques des eaux

Libellé de la variable	Effectif	Poids	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Normes
Ca	16	16.00	159.610	42.125	61.600	236.667	> 200
Mg	16	16.00	34.955	7.307	18.553	45.667	50
Na	16	16.00	278.054	84.010	111.867	391.333	200
K	16	16.00	18.865	26.618	4.230	99.367	12
HCO3	16	16.00	271.477	52.977	189.467	385.933	
Cl	16	16.00	288.679	92.255	45.283	437.550	250
SO4	16	16.00	124.347	32.094	40.500	179.333	250
NO3	16	16.00	2.953	2.763	0.310	10.533	50
NO2	16	16.00	1.651	2.089	0.055	6.363	0.1
NH ₄	16	16.00	2.845	4.228	0.017	13.117	0.5
PO ₄	16	16.00	1.002	0.844	0.190	3.157	0.5

On remarque qu'au niveau des cations le sodium domine tandis que pour les anions il y a une compétition entre les bicarbonates et les chlorures, montrant une large variation des teneurs en chlorures et en bicarbonates

Le tableau ci-dessus montre qu'une partie des éléments dosés présentent des moyennes inférieures aux normes admises pour la consommation, par ailleurs le sodium (278.054), les chlorures (288.679), les nitrites (1.651), l'ammonium (2.845) et le phosphate (1.002), ont des valeurs moyennes dépassant la norme admise. Les valeurs élevées de bicarbonate sont influencées par la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire).

III.1.3.2. Le cercle ACP 2

Le traitement donne un pourcentage d'information de l'ordre de 55.36 %.

L'observation selon l'axe FI (33.02 %), montre une situation analogue à celle des eaux de surface, ce qui indique probablement une contamination des eaux de la nappe par les eaux des Oueds (Fig. 39).

Selon l'axe FII (22.34 %), on remarque que les eaux sulfatées magnésiennes polluées par les nitrates et le potassium s'opposent aux restes des eaux, confirmant ainsi l'origine externe de cette eau, en effet les formations gypsifères sont présentes en amont de Guelma (in Djabri & all 2007).

La présence conjointe des nitrates et du potassium indique que les engrais utilisés sont de type NPK. L'absence de phosphate dans ce groupe, serait lié au fait que dans cette zone ce dernier peut avoir aussi une origine ménagère (lessive), ce qui expliquerait son lien avec les nitrites et l'ammonium caractérisant les rejets domestiques et industriels.

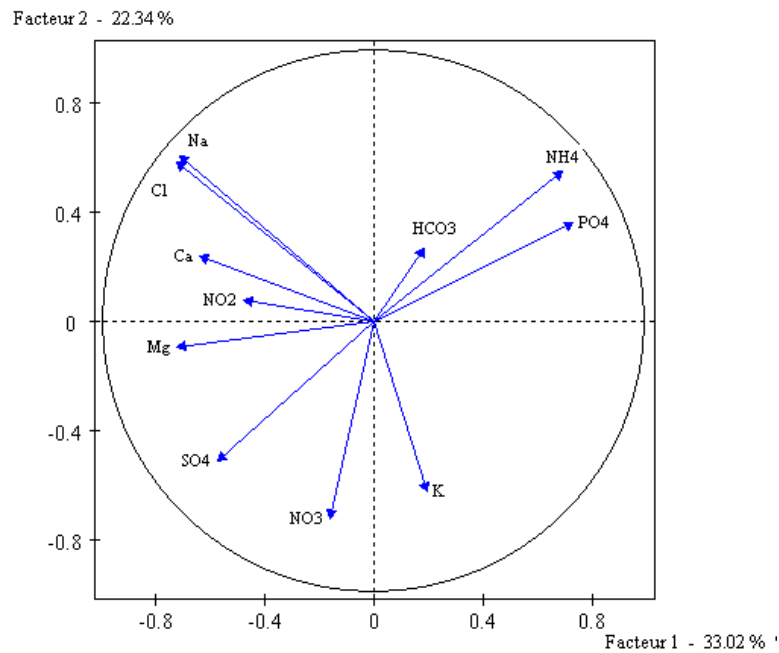


Fig.39. Cercle ACP des eaux souterraines

La projection des individus (fig.40) montre l'existence de trois groupes:

A / Le groupe de minéralisation traduit les eaux de puits P1, P9 et les eaux de l'oued Seybouse;

B / Le deuxième celui de la pollution urbaines et industrielles représente les eaux des affluents;

C / Le dernier groupe concerne les puits P7, P15 et P18 qui sont riche en nitrate et potassium (pollution agricole).

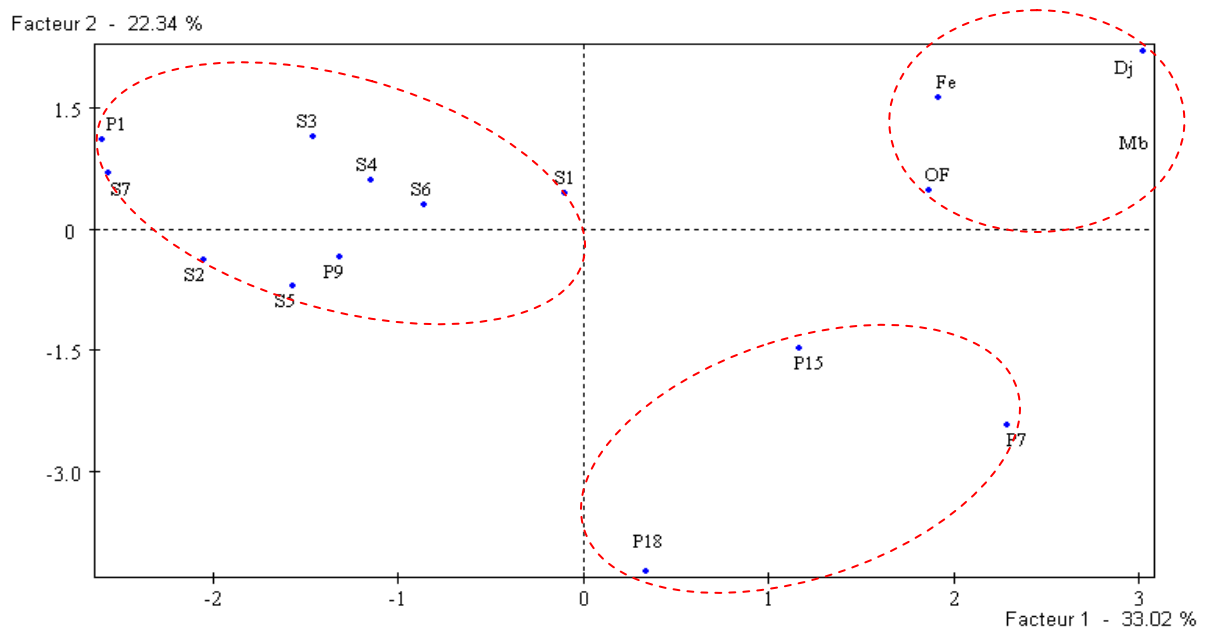


Fig. 40. Plan I-II des individus (eau souterraine).

La figure 41 représente la répartition de ces groupes.

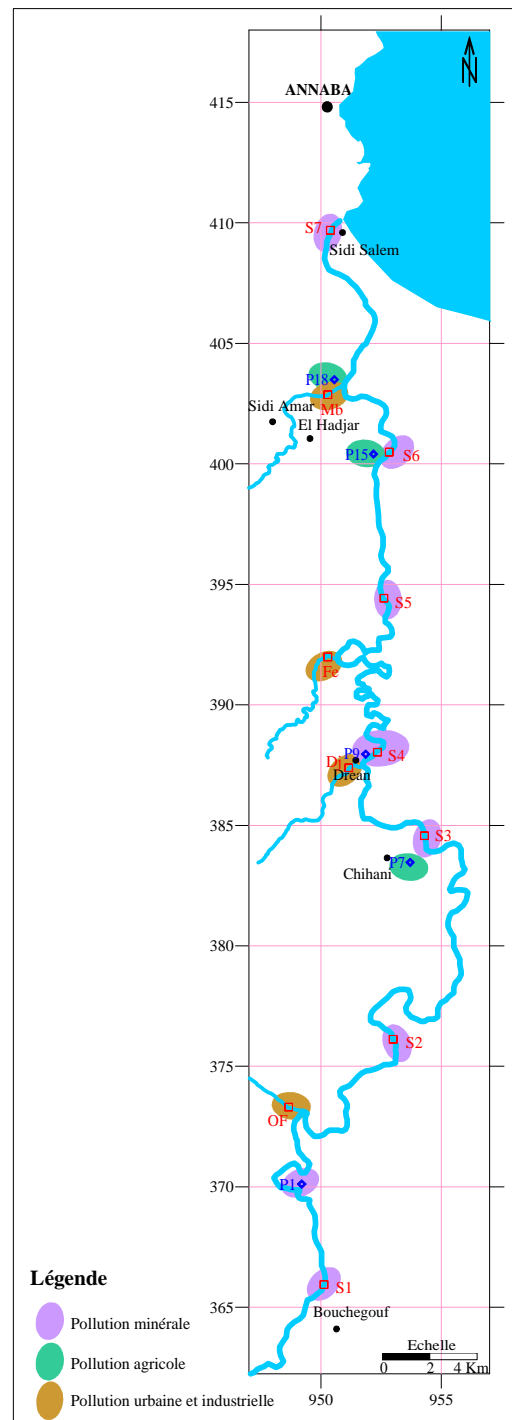


Fig.41. Carte des différents types de pollution.

IV Qualité des eaux de surface

Les eaux de l'Oued Seybouse sont utilisées pour l'irrigation, les cartes piézométriques établies ont montré une relation mixte entre l'Oued et la nappe, ce qui se traduit par un déplacement du polluant d'un milieu à un autre. De ce fait il devient impératif de connaître la qualité des eaux de l'oued Seybouse et de chercher les origines et les sources responsables des apports anthropiques, dans les limites de la région.

IV. 1. Variation des éléments majeurs

IV. 1. 1. Chlorure (Cl^-) et sodium (Na^+)

Dans les eaux de l'oued Seybouse, l'existence de ces deux éléments est liée à la dissolution des formations évaporitiques existant à l'amont de l'oued (Djabri, 2007). Au niveau de l'oued Meboudja, leur existence est liée aux apports d'eau salée du lac Fedzara, par l'effet de l'évaporation (Zenati, 1999).

Les teneurs en sodium et en chlorure sont généralement importantes, variant entre 235.25 et 437.55 mg/l pour les chlorures et 182.5 et 374.53 mg/l pour le sodium, ce qui indique un apport d'eau riche en NaCl (Fig. 42).

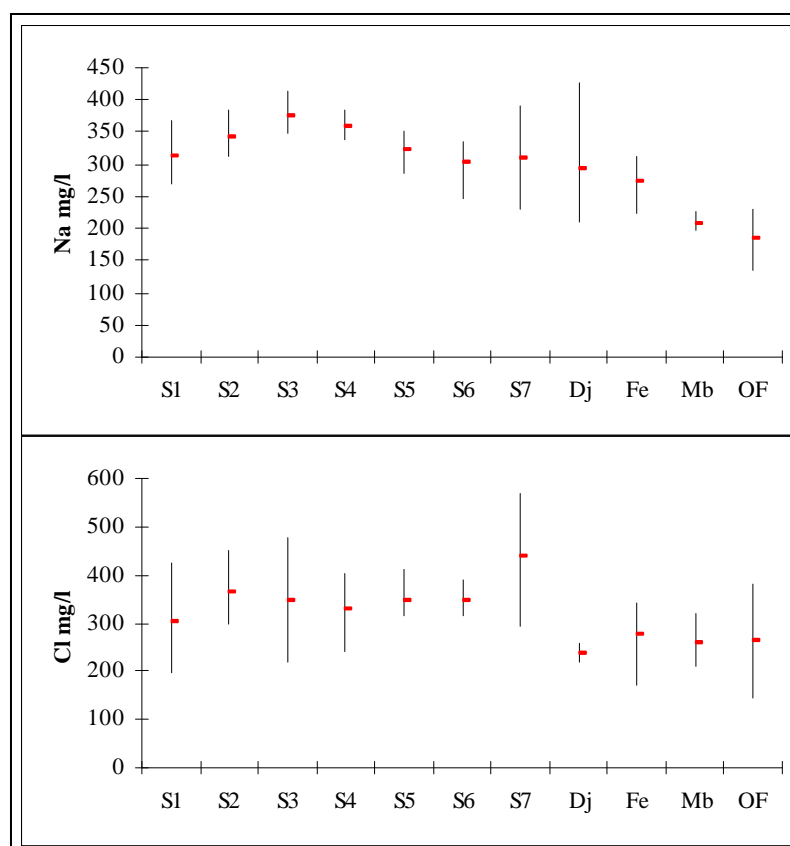


Fig. 42. Variation des éléments majeurs (Chlorure et sodium).

IV. 1. 2. Calcium (Ca^{2+})

Naturellement le Calcium dans l'eau est lié soit à la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4), la teneur en calcium varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. La figure 43 montre que la plupart des points d'eau de l'oued présentent des valeurs importantes, pouvant atteindre 355 mg/l cas du point S3. Cette présence en quantité est probablement liée à la dissolution des formations carbonatées et gypseuses traversées par les eaux.

IV.1.3. Magnésium (Mg^{2+})

Présents dans l'eau, le magnésium accompagne le calcium, ce qui laisse supposer qu'ils ont la même origine. Les analyses effectuées ont montrés que les concentrations restent faibles sauf pour le point S7 (64 mg/l), situé à l'embouchure (fig. 43).

IV.1.4. Bicarbonates (HCO_3)

L'origine des bicarbonates est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire). Les teneurs sont très variables, allant de 152 mg/l au point S4 (oued Seybouse) à 395 mg/l au point Mb au niveau de l'oued Meboudja (fig. 43)..

La présence de cet élément dans les eaux de l'oued Meboudja est liée à la dissolution des cipolins (Edough). Par contre, au niveau de l'oued Seybouse, elle est liée à la dissolution des formations calcaires existant à l'amont de l'oued (Djabri, 1996).

IV.1.5. Sulfates (SO_4)

Les sulfates dans les eaux peuvent résulter de la dissolution des formations gypsifères.

Les sulfates sont présents (fig.43) dans les eaux mais à des faibles doses, ceci laisse supposer que le phénomène de dilution ne s'opère pas ou il y a eu réduction des sulfates. La plus forte concentration est de 200 mg/l, elle est observée au niveau de l'Oued Seybouse aux points S1, S2 et S7.

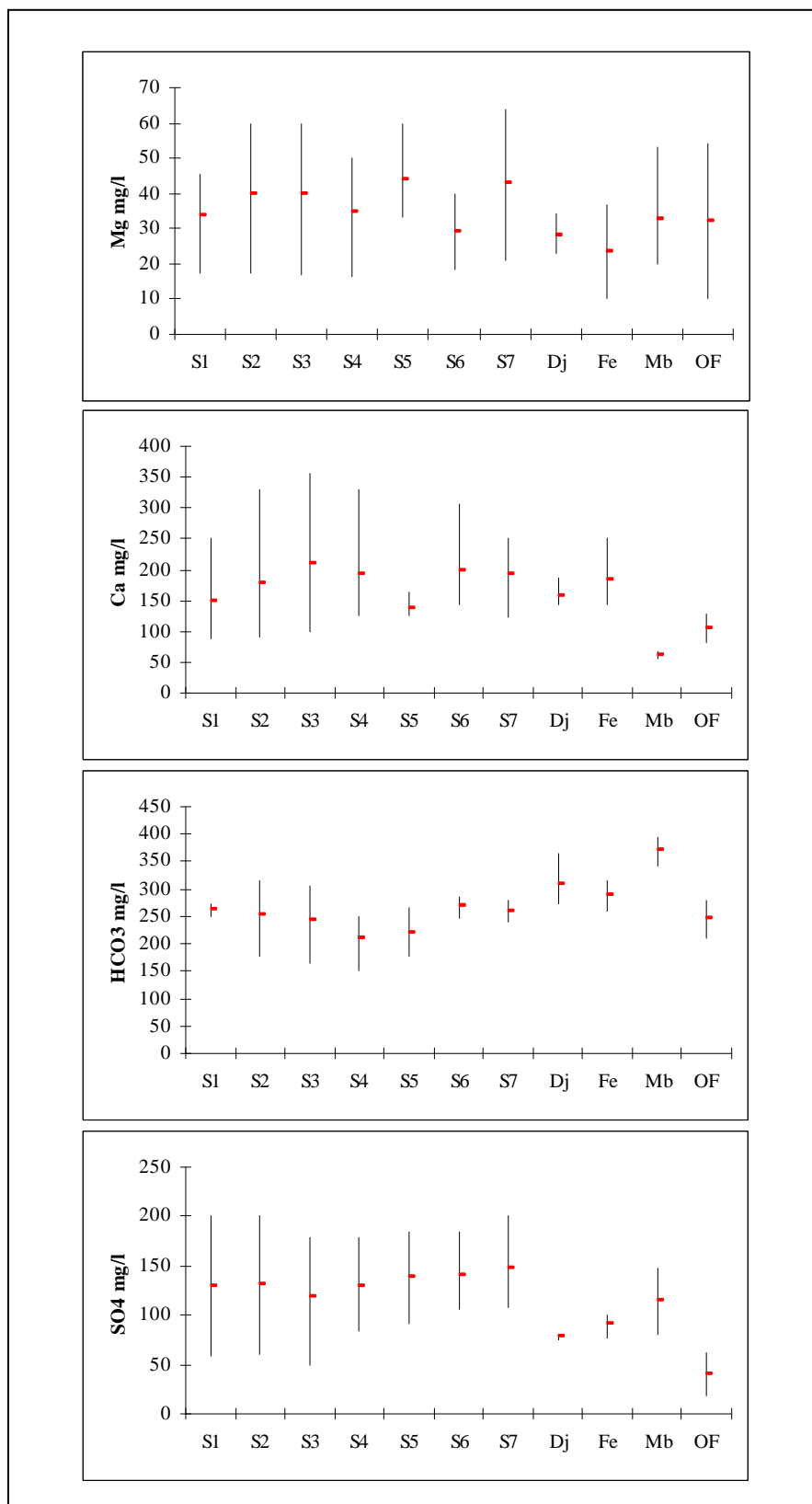


Fig. 43. Variation des éléments majeurs (Magnésium, Calcium, Bicarbonates & Sulfates).

IV.1.6. Potassium (K⁺)

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK). Les valeurs les plus élevées sont observées au niveau des affluents (oued Meboudja, Djefli et oued Feli) avec des doses allant de 11.28, 13.47 et 12.01. Le maximum est de 20 mg/l au niveau de l'oued Djefli (fig. 44).

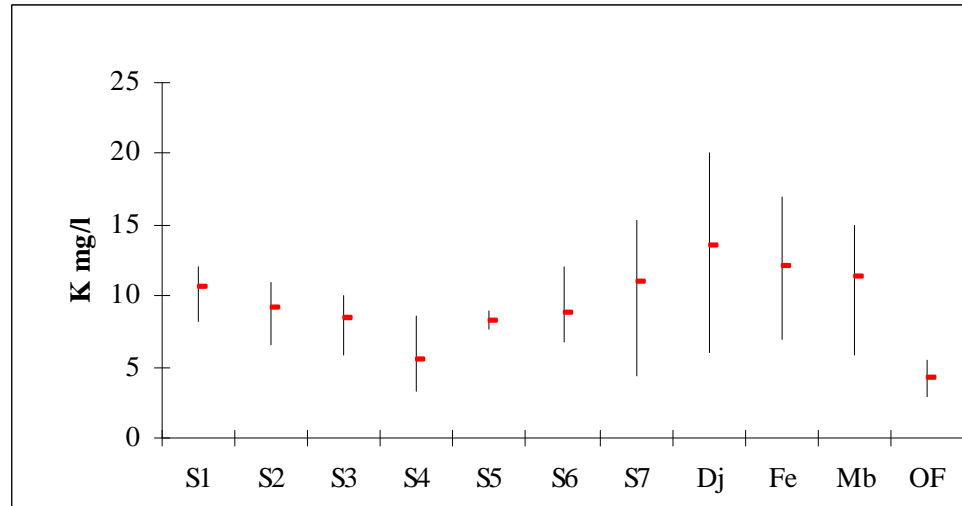


Fig. 44. Variation de l'élément potassium.

IV.1.7. Risques de sodicité et de salinité

La salinité des eaux peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium et des chlorures par les colloïdes du sol.

Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. Sous cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes. Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations Ca^{+2} dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels, peut provoquer cette action. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR qui est défini par la relation

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} (\text{mg/l})$$

Les valeurs du SAR sont représentées en fonction de la conductivité électrique de l'eau sur le diagramme de Richards (Fig.45).

● Classification de Richards

Richards (1954) a élaboré une classification, en se basant sur les deux paramètres à savoir (SAR et conductivité électrique). Les classes d'utilisation des eaux (C_1S_1, \dots, C_4S_4) (tableau 38) montrent les différentes précautions à prendre pour l'utilisation de ces eaux pour l'irrigation. Utilisé pour les eaux de la région, nous obtenons le diagramme (Fig. 45.).

Tableau 38 : Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation (Méthode du SAR).

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

D'après le diagramme de Richards on constate que les eaux de l'oued Seybouse et ses affluents appartiennent à la même classe d'aptitude à l'irrigation ; classe C_3S_1 , elles sont de qualité admissible. En générale, ces eaux conviennent à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés, sauf les eaux au point S7 situé près de la mer présentent une qualité médiocre.

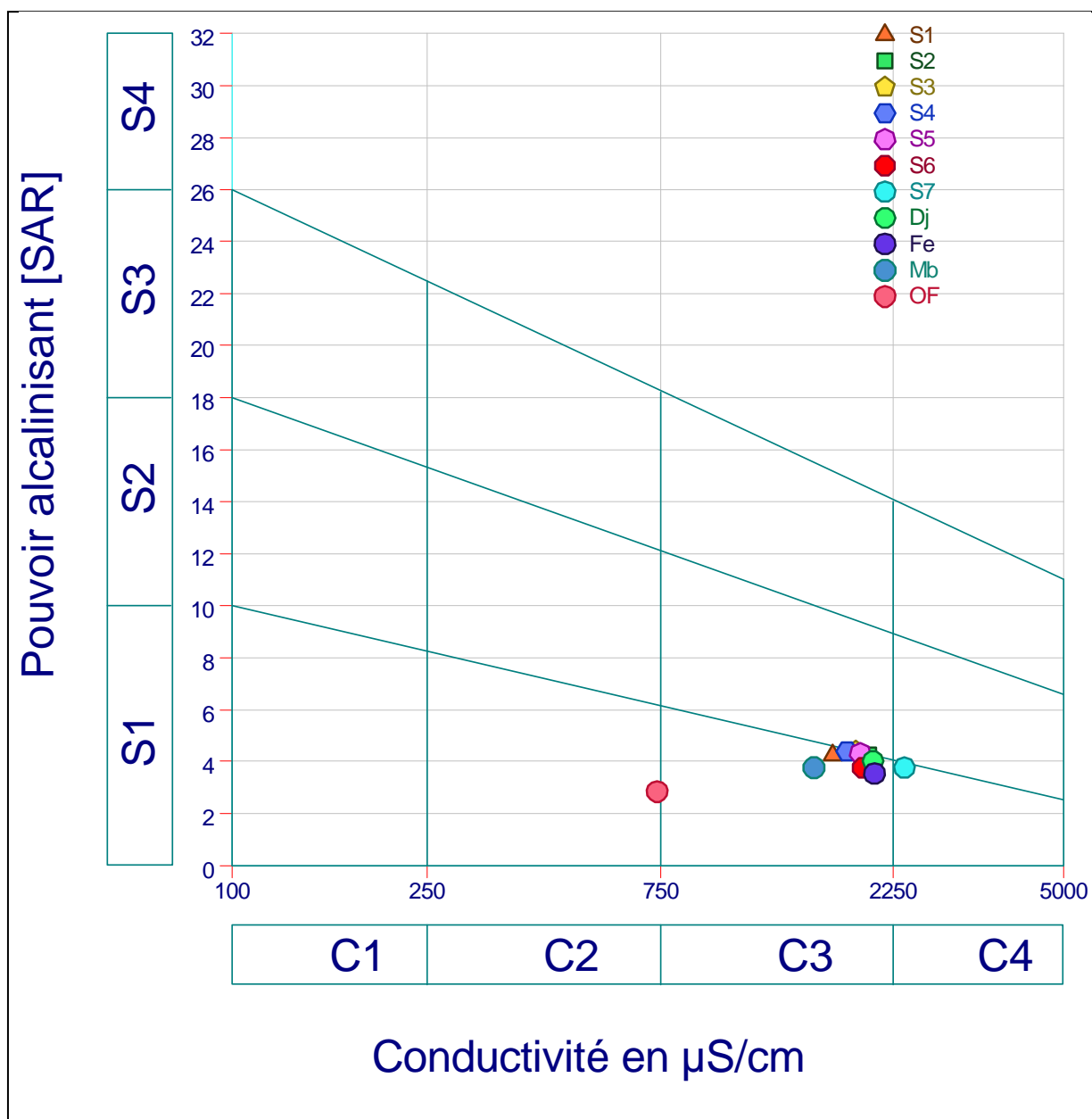


Fig.45. Diagramme de richards

IV. 2. Variation des éléments de pollution

IV. 2.1. Les nitrates (NO_3^-)

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Son existence dans les eaux est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques. La teneur maximale est observée au niveau de point S2 (19 mg/l). Les concentrations sont faibles pour la plupart des points (fig. 46). Les valeurs moyennes au niveau de l'oued Seybouse et ses affluents sont inférieures à la norme des eaux de surface.

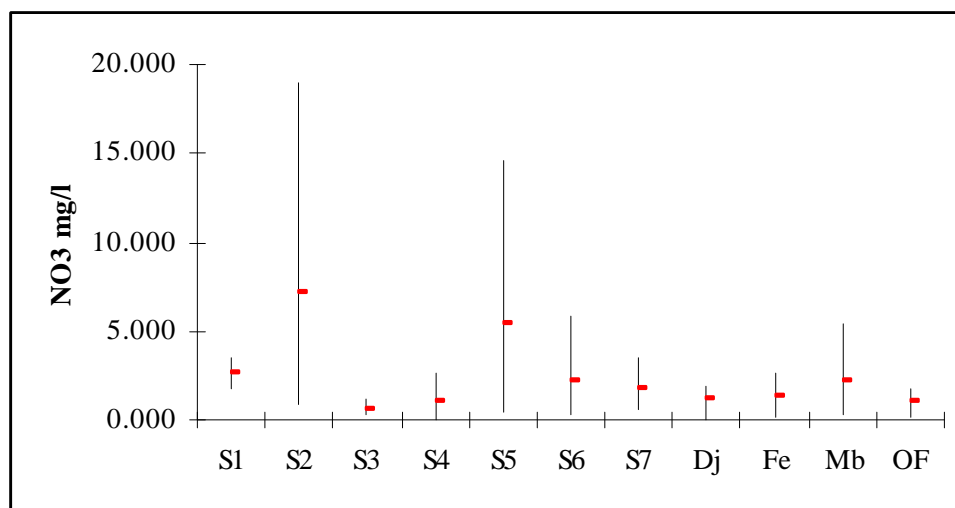


Fig. 46. Variation de l'élément nitrate.

IV.2.2. Les nitrites (NO_2^-)

Les nitrites ou azote nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable, elle représente la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique. Son origine est liée à l'agriculture ou aux rejets urbains et industriels. Les valeurs moyennes les plus élevées sont observées au niveau de l'oued Seybouse S7 (6.36 mg/l). Cette valeur indique le déroulement de réactions chimiques, en effet les nitrites constituent un état transitoire entre les nitrates et l'ammonium. Dans l'ensemble de la région, les valeurs sont supérieures à la norme avec des concentrations élevées (fig. 47).

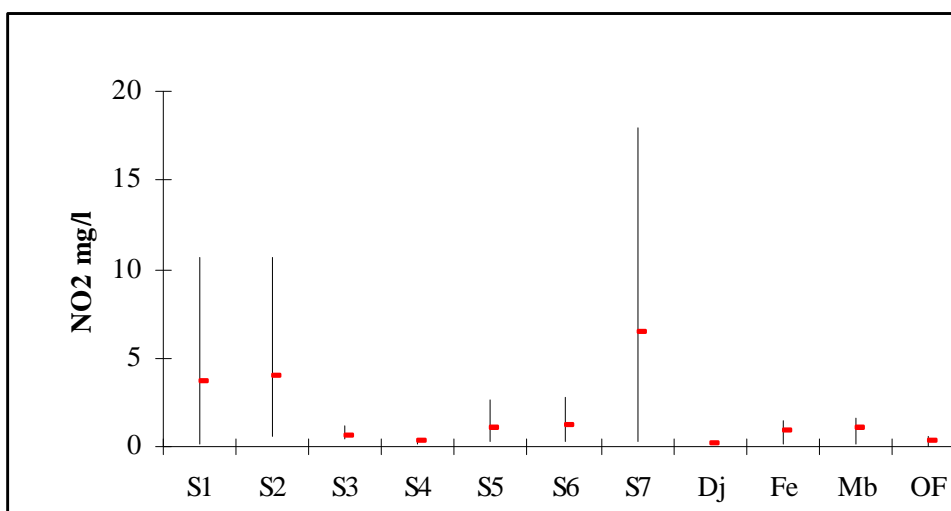


Fig. 47. Variation de l'élément nitrite.

IV.2.3. L'ammonium (NH_4^+)

C'est la forme d'azote la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée à certaines valeurs de

pH et EH. La teneur maximale déterminée est de 19 mg/l au niveau de l'oued Meboudja. Cette concentration est due à une réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en conditions réduites (fig. 48). Par contre, au niveau de l'oued Seybouse, les concentrations sont moins élevées, on est en zone de transition, confirmé par l'abondance des nitrites.

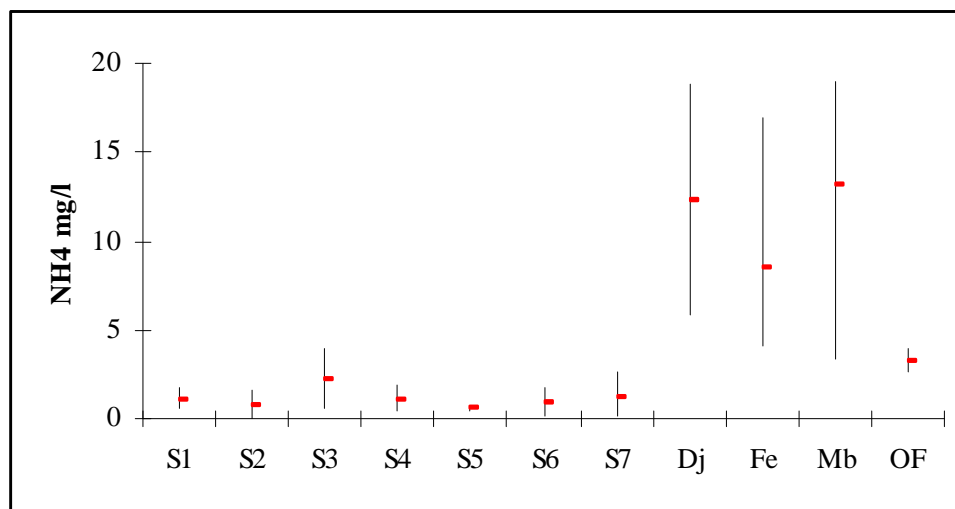


Fig. 48. Variation de l'élément Ammonium.

IV.2.4. Phosphate (PO_4^{3-})

L'origine de l'existence des phosphates dans les eaux serait liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques (NPK). Dans les eaux de surface les teneurs sont fortes, dépassant la norme (0.5 mg/l) (fig. 49). Les concentrations maximales s'observent au niveau des Oueds Meboudja, Djefli et Feli (4.55, 4.25 et 4 mg/l).

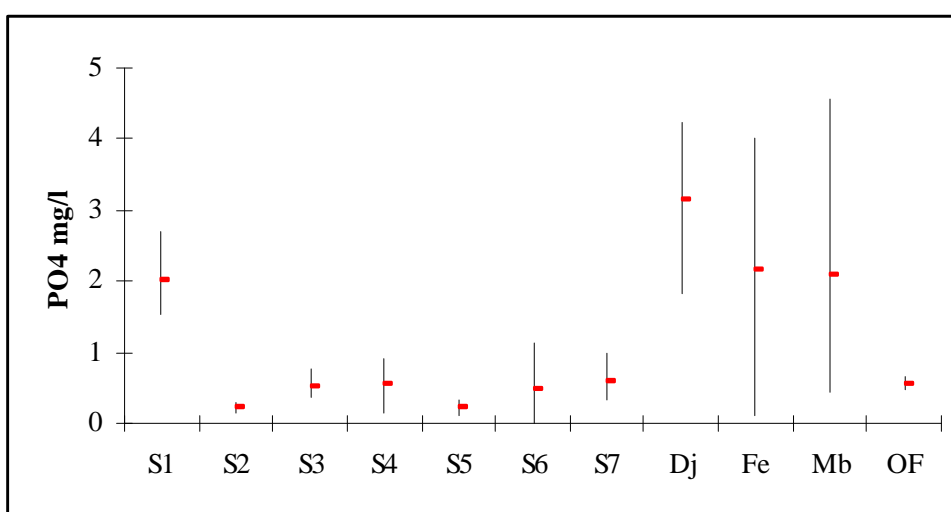
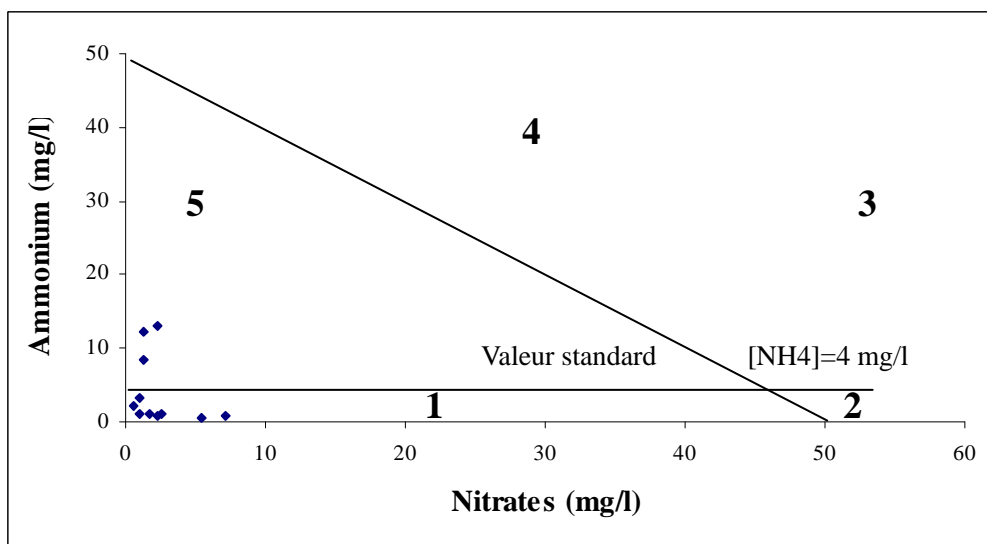


Fig. 49. Variation de l'élément phosphate.

IV.2.5. Diagramme ammonium - nitrate

L'établissement de diagramme d'équilibre ammonium nitrates des eaux de surface, constituées de cinq classes, appliquées aux eaux de la région d'étude, il fait ressortir deux classes 1 et 5 caractérisant ainsi une activité bactérienne conduisant à l'assimilation de l'ammonium (classe 1) et la dénitrification (classe 5).



Légende :

1: Assimilation et disparition d'ammonium

2: Nitrification

3: Afflux de nitrate

4: Production de NH_4

5:

Dénitrification

Fig.50. Diagramme d'équilibre nitrate Ammonium : application aux eaux de surface de la basse vallée de la Seybouse.

IV.2.6. L'évolution des nitrates en fonction des paramètres physico-chimiques

Nous avons essayé de déterminer les variations des nitrates en fonction des paramètres physico-chimiques. La figure 51 nous permet de tirer les remarques suivantes :

- Relation nitrates -pH : les deux éléments évoluent de la même manière.
- Relation nitrates – EH : Ces deux éléments évoluent, c'est-à-dire aux fortes valeurs en potentiel d'oxydoréduction correspondent les faibles concentrations en nitrates, ceci montre une réduction.
- Relation nitrate – oxygène dissous (fig. 51), les concentrations en nitrate suivent une évolution proportionnelle aux teneurs en oxygène dissous, les teneurs en nitrate diminuent quand celles en oxygène diminuent sauf quelques points a été localisé avec des fortes teneurs en oxygène mais avec de faibles teneurs en nitrate, cela représente les puits qui se situent dans des zones non

agricoles ou une activité agricoles moins importante.

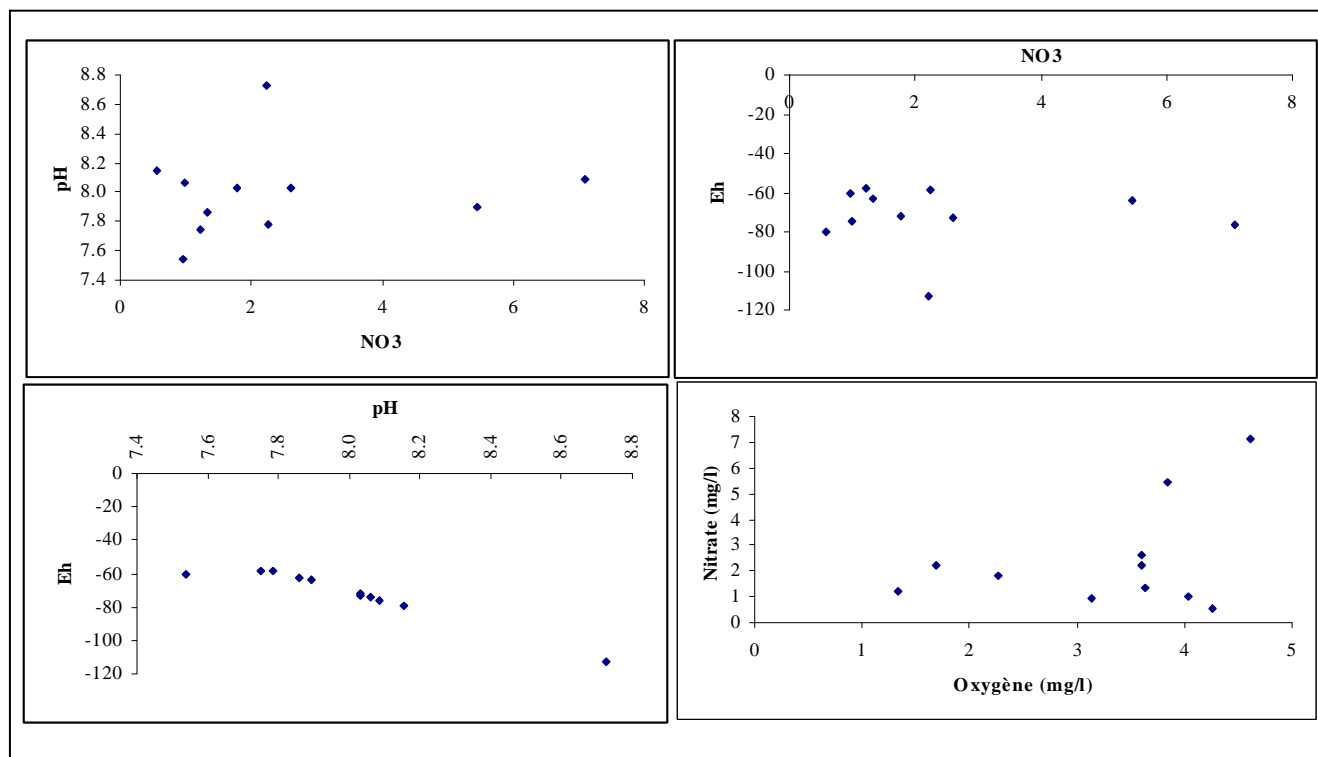


Fig. 51. Variations des nitrates en fonction de quelques paramètres physico-chimiques.

IV.3. Pollution par les métaux lourds

La pollution la plus dangereuse provient aussi des métaux lourds, les effets toxiques des métaux lourds peuvent avoir des répercussions négatives sur le système nerveux, le sang ou la moelle osseuse. A fortes doses certains d'entre eux peuvent causer des cancers. Au niveau de la basse Seybouse, les eaux contiennent les teneurs variables. Nous détaillons ici les résultats des analyses réalisées au mois de janvier 2007 sur quelques métaux lourds (Cu, Ni, Pb, Mn, Zn et Fer total).

IV.3.1. Le Fer total

Existant dans les eaux souterraines et superficielles, l'origine du fer peut être attribuée à la géologie par lessivage des formations argileuses, ou à l'industrie (métallurgie et sidérurgie).

La norme fixée par l'OMS est de 0.2 mg/l, la majorité des points ont des teneurs supérieures à cette norme. La plus faible est de 0.042 mg/l au point P1 et la plus forte est de 4.1 mg/l au niveau de l'oued Meboudja Mb, montrant l'impact des rejets d'ACELOR METAL STILL au niveau de ce cours d'eau (fig.52).

IV.3.2. Le Cuivre

Sa présence dans les eaux est liée à l'industrie. Il est employé dans les alliages (laiton, bronze, maillechort), dans l'industrie électrique, le traitement de surface, la galvanoplastie ainsi que dans les traitements agricoles.

Les concentrations en cuivre observées dans les eaux sont faibles et n'atteignent pas la norme de 1 mg/l (fig. 52). La forte teneur en cuivre se localise à S7 avec 0.17 mg/l.

IV.3.3. Le Plomb

Dans la nature, le plomb est présent dans la galène, les cérusites et les pyrophosphates par contre dans l'industrie, il est utilisé dans la fabrication des accumulateurs acides, de la soudure et des pigments. Quelques points d'eau présentent des doses élevées, c'est le cas du point Dj (Oued Djefeli) avec 0.34 mg/l, cette valeur dépasse la norme admise (0.05 mg/l), mettant ainsi en évidence une pollution des eaux par cet élément (fig. 52).

IV.3.4. Le Zinc

Dans l'industrie, le zinc est employé dans la galvanisation ainsi que dans la fabrication des pigments pour la teinture. Les concentrations en zinc sont faibles et la plus importante concentration est de 0.12 mg/l à S1 (fig.52).

IV.3.5. Le Nickel

Les sources de nickel principalement invoquées en milieu naturel sont les sulfures de fer par coprecipitation, les hydroxydes de fer et manganèse par coprécipitation et surtout par adsorption. Dans le cas de la zone d'étude les résultats obtenus montrent un excès, il y a dépassement de la norme (0.02 mg/l). Les teneurs varient entre 0.07 mg/l au point Mb, à 0.33 au point S4. Les points S6 et S7 indiquent des teneurs allant de 0.33 mg/l à 0.21 mg/l (fig. 52).

IV.3.6. Le manganèse

Il est très répandu dans la nature, les concentrations dans l'écorce terrestre varient de 500 à 900 mg/kg. Les minerais les plus connus sont la pyrolusite, la rhodocrosite, la braunite.

Les concentrations déterminées sont faibles ne dépassant pas la norme admise (0.5 mg/l).

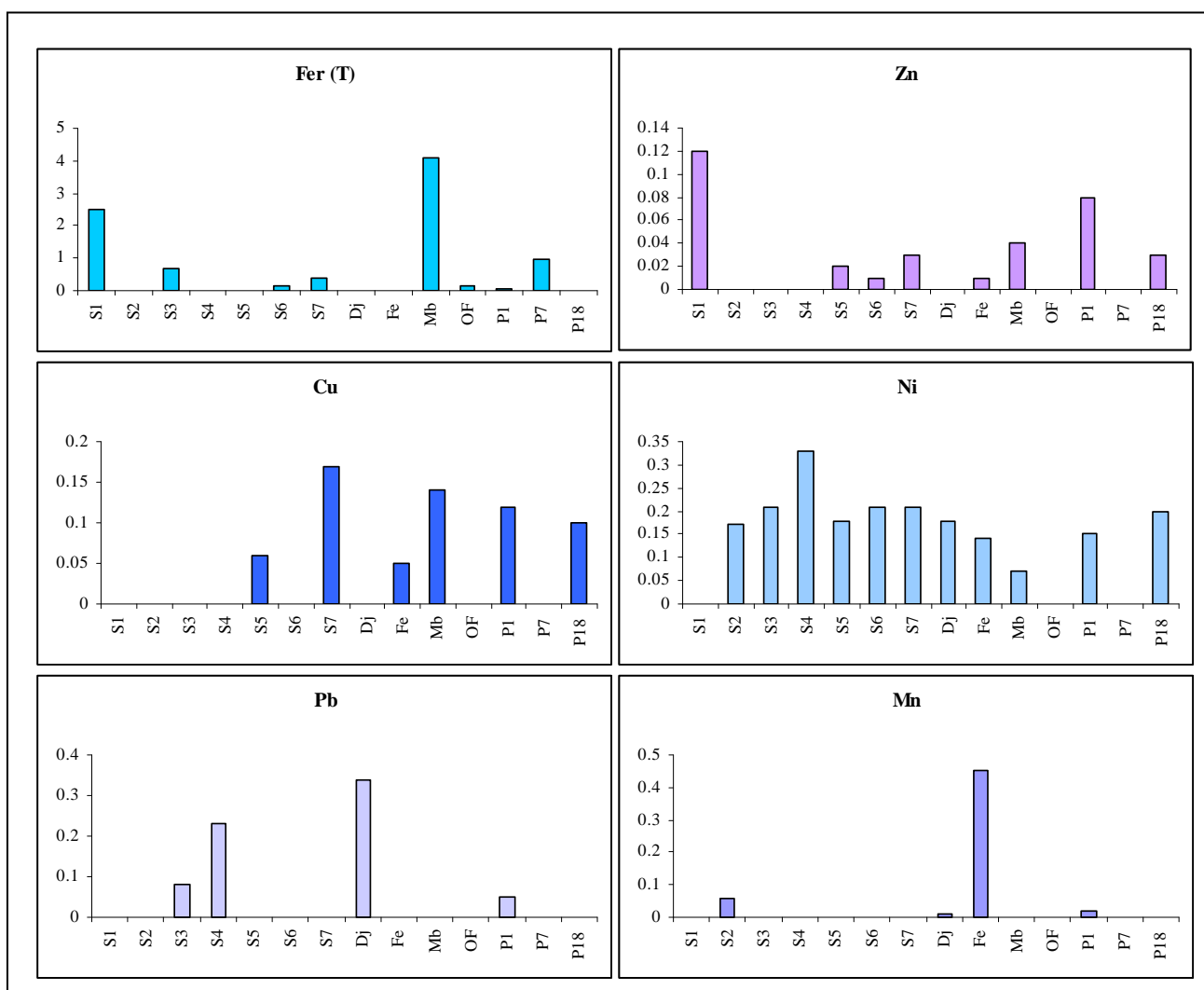


Fig.52. Variation des concentrations des métaux lourds.

IV.4. Evolution bactériologique

L'analyse bactériologique permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau. Les organismes pathogènes sont très nombreux et très variés et ne peuvent donc pas faire l'objet d'une recherche spécifique. De plus leur identification est très difficile voire impossible dans le cas des virus. Enfin leur durée de vie peut être très courte. Pour ces différentes raisons, il est préalable de rechercher des germes qui sont toujours présents en grand nombre dans la matière fécale des hommes et des animaux à sang chaud, qui se maintiennent plus facilement dans le milieu extérieur et qui sont clairement identifiés (les coliformes totaux, coliformes fécaux et les streptocoques).

Coliformes

Ce sont des bactéries gram négatif appartenant à la famille des Enterobacteriaceae qui sont capables de fermenter le lactose. Les coliformes sont d'origine animale et humaine, leur présence indique une contamination récente par des matières fécales. Ce groupe est constitué de deux catégories de bactéries : les coliformes totaux et les coliformes fécaux.

A / Coliformes totaux

Ce sont des bacilles gram négatif, ne formant pas de spores, ne possédant pas d'oxydase, anaérobies facultatifs et fermentant le lactose avec production de gaz en 48 h à 35°C. Ils peuvent avoir d'autres sources à part la matière fécale à savoir les cours d'eau, les eaux de ruissellement et certains types d'effluents industriels. Ce groupe est présenté par les germes suivants : Enterobacter, Serratia, Yersinia, Rahnella, et Buttiauxella.

B / Coliformes fécaux

Ils ont les mêmes caractéristiques que les coliformes totaux mais la fermentation du lactose avec production du gaz se fait à 44°C. Ils indiquent généralement une pollution récente.

Ce groupe englobe 5 genres : Escherichia, Klebsiella, Enterobacter, Citrobacter et Shigella. De tous ces coliformes, Escherichia-coli (E-coli) est l'indicateur spécifique d'une origine fécale. Chez l'homme, il y a 4 types d'E-coli qui sont à l'origine de maladies gastro-intestinales :

- β E-coli enteropathogène (EPEC) est associé à des diarrhées infantiles,

- β E-coli enterotoxinogène (ETEC) cause une maladie gastro-intestinale chez les adultes ainsi que chez les enfants et produit des toxines thermostables et thermolabiles,

- β E-coli enteroinvasive (EIEC) cause des diarrhées similaires à celles causées par Shigella,

- β E-coli verotoxinogène (EVT) est toxique pour les cultures cellulaires.

C / Les streptocoques

Ils sont en grande partie d'origine humaine. Ils sont néanmoins considérés comme indicateurs d'une pollution fécale, et leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils sont résistants à la dessiccation. Ils apportent donc une information supplémentaire sur une pollution.

Durant ces dernières années, un débat s'est déclenché autour de la qualité bactériologique des eaux de l'oued Seybouse. Dans cette partie de l'étude, on essaiera de connaître la charge bactérienne au niveau de l'oued et ses affluents (fig. 53).

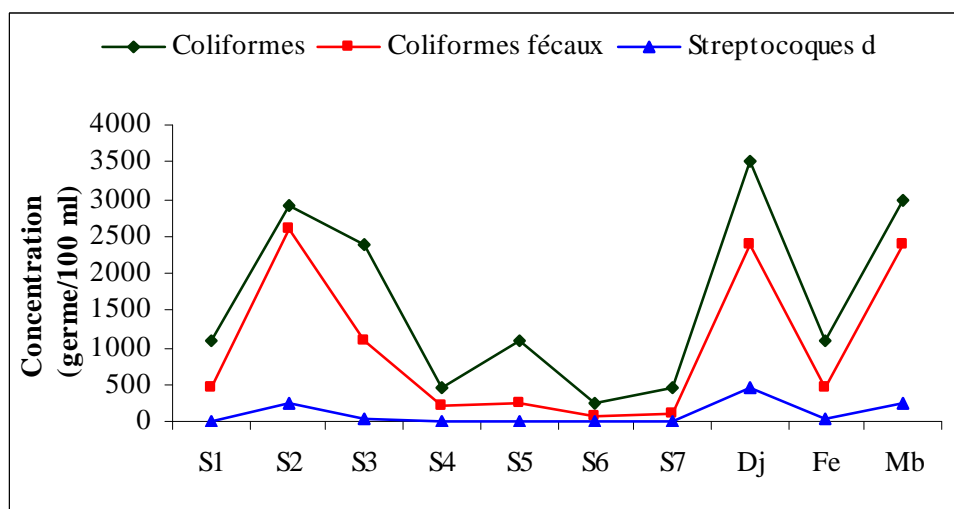


Fig. 53. Evolution de la charge bactériologique

Du point de vue quantitatif, l'ensemble des points connaissent une charge bactériologique considérable, au points S2, S3, Dj et Mb sont les plus chargé en coliformes et coliformes fécaux que les autres points, cela est dû aux apports des eaux usées rejetées. Au stations S1, S4, S5, S6 et S7 on note l'absence total des streptocoques d.

IV.5. Impact des eaux de surface sur la nappe superficielle

La zone d'étude est caractérisée par des échanges Oueds nappe et par une pollution des eaux de surface. L'action conjuguée de ces deux facteurs accélèrerai la pollution des eaux de la nappe superficielle. De ce fait le contrôle de la qualité des eaux de cette nappe devient inévitable.

IV.5.1. Evolution des éléments chimique majeurs

La qualité des eaux de la nappe peut être soit simultanée soit se produire avec un léger temps de retard due à l'infiltration des eaux. Les résultats obtenus montrent une grande variation des concentrations des éléments majeurs: Na^+ et Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- et K^+ .

IV.5.1.1. Evolutions des concentrations des éléments Ca^{2+} , Mg^{2+} & HCO_3^-

La majorité des puits présentent des concentrations inférieures aux normes.

Le point (P1), présente des concentrations importantes de l'ordre de 236.7 mg/l en calcium. Les bicarbonates atteignant des valeurs élevées avoisinant 400mg/l.

L'observation de la figure 54 indique une réaction quasi instantanée de la nappe vis-à-vis des bicarbonates. Les autres éléments sont freinés par le phénomène d'échanges de bases qui se produit (In Djabri 2007).

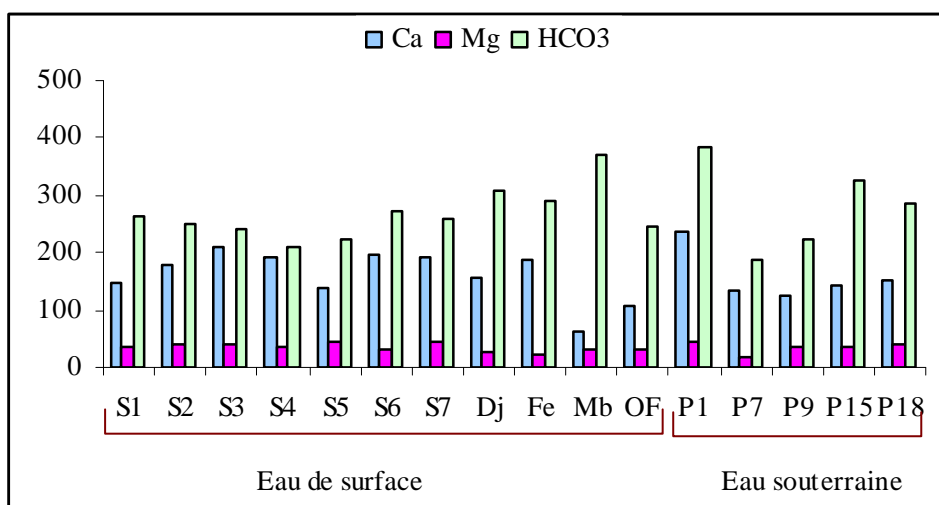


Fig. 54. Evolution des concentrations des éléments Ca^{2+} , Mg^{2+} & HCO_3^- .

IV.5.1.2. Evolutions des concentrations du Sodium et de Chlorures

Les concentrations déterminées sont élevées au niveau des puits P1 et P9. Les teneurs atteignent 374.66 mg/l en chlorures et 391.33 mg/l en le sodium (fig. 55). Ces deux points sont très proches de l'Oued et par conséquent on retrouve des concentrations analogues à celles des eaux de l'Oued.

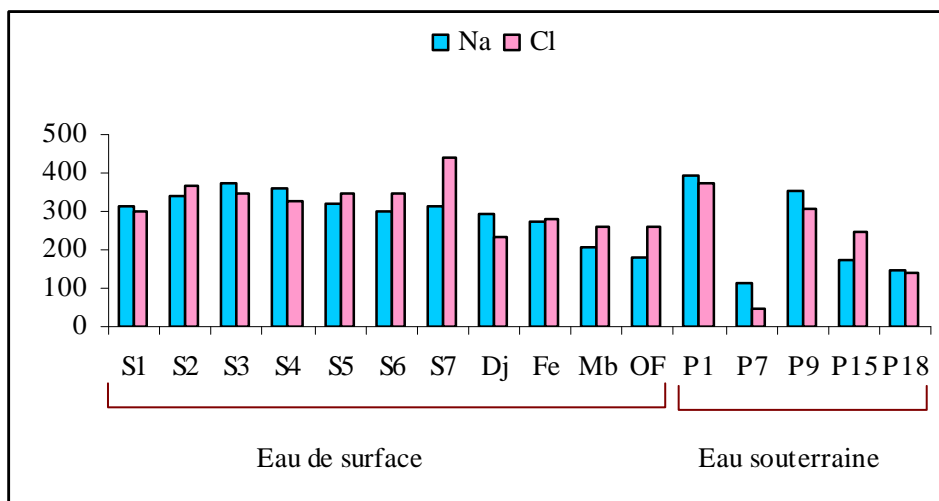


Fig. 55. Evolution de concentration des Cl et de Na.

IV.5.1.3. Evolutions des concentrations des Sulfates

La présence des sulfates les eaux résulte de la dissolution des formations gypsifères. Leur présence en faibles concentrations, est liée à l'éloignement des formations évaporitiques et aux réactions chimiques pouvant se réaliser entre les différents éléments, provoquant ainsi une réduction des sulfates.

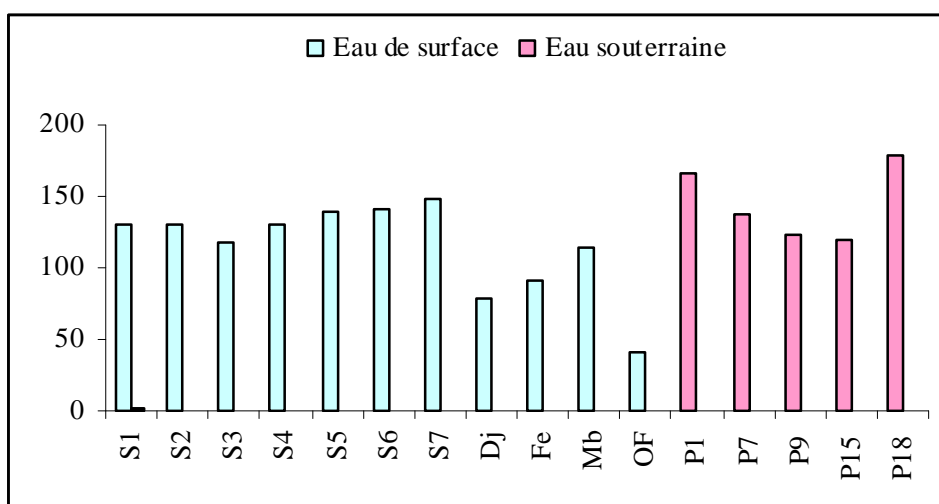


Fig. 56. Evolution de concentration de sulfate.

IV.5.1.4. Evolution des concentrations en potassium

Les fortes concentrations qui sont observées dans les puits P15 et P18 (fig.57) de la nappe superficielle peuvent avoir deux origines soit à l'utilisation des engrais chimiques, soit le lessivage des formations argileuses riches en potassium.

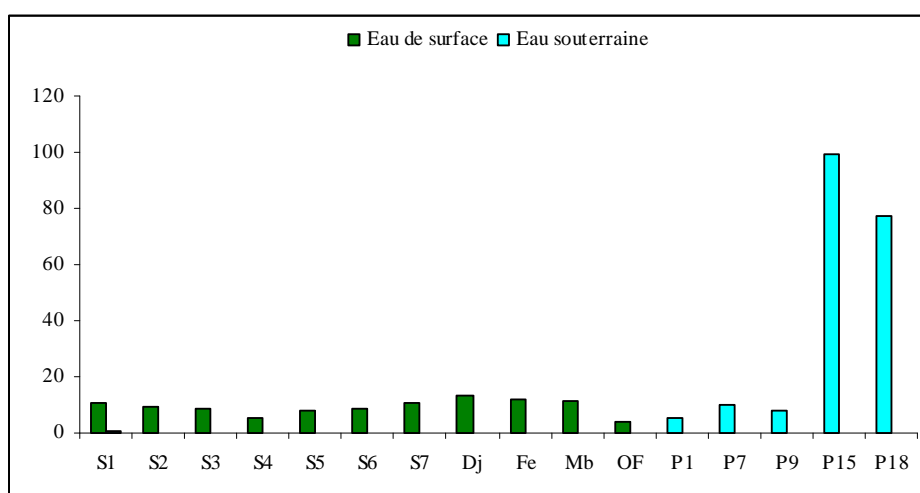


Fig. 57. Evolution de concentration de potassium.

IV.5.1.5. Evolution des concentrations des Nutriments

Au niveau des eaux de la nappes les nitrates dominant, leurs concentrations sont très importantes au niveau des puits P18 et P9 (fig.58), ce dernier présente également des concentrations élevées en nitrite. On remarque que l'ion ammonium souvent dominant au niveau des eaux superficielles est pratiquement absent au niveau des eaux de la nappe, ceci traduit une absence de réaction due probablement au manque d'oxygène et à la profondeur de la nappe.

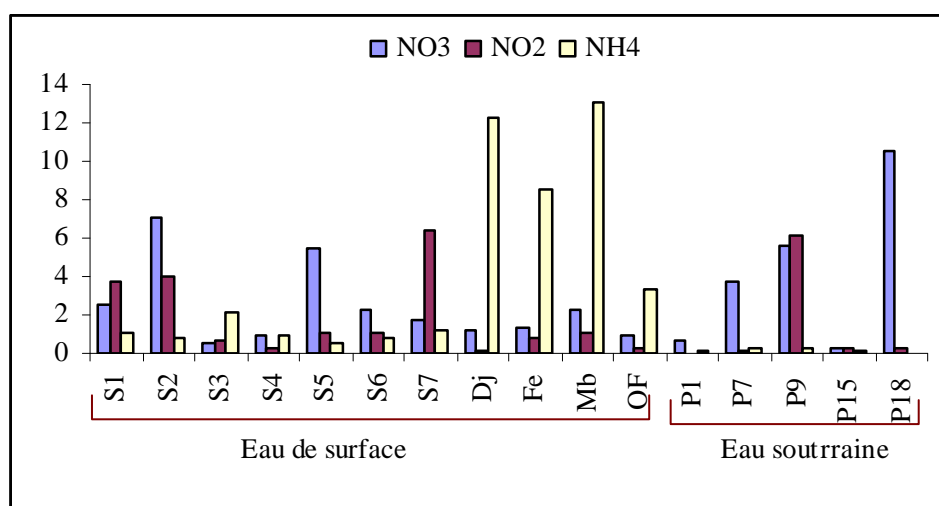


Fig. 58. Evolution de concentration de NO3, NO2 et NH4.

IV.5.1.6. Evolution des concentrations des Phosphates

Dans les eaux les phosphates proviennent soit des rejets urbains soit des engrais chimiques de type (NPK). Dans les eaux souterraines (fig. 59) les teneurs sont importantes particulièrement aux puits P7, P9, P15 et P18. Le maximum des concentrations est de 1.17 mg/l, au puits P15 proche de l'Oued Meboudja, montrant ainsi l'impact des eaux des rejets.

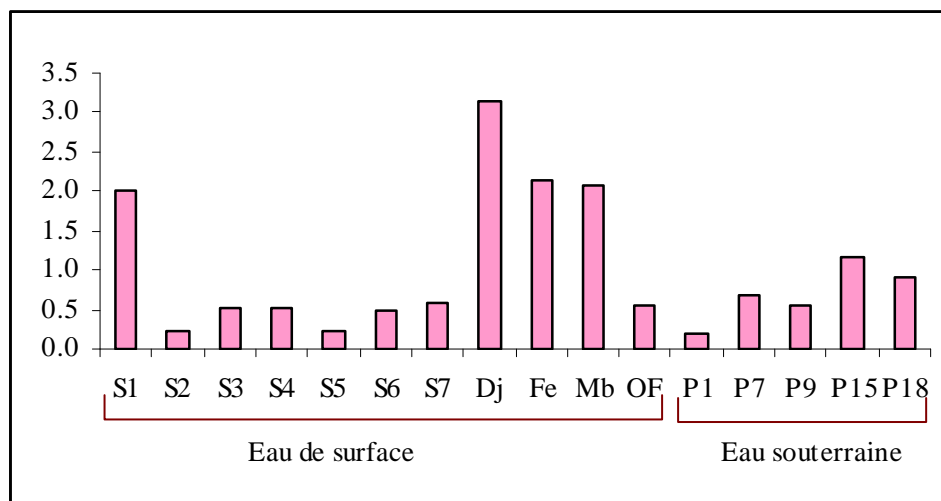


Fig. 59. Evolution de concentration de phosphate.

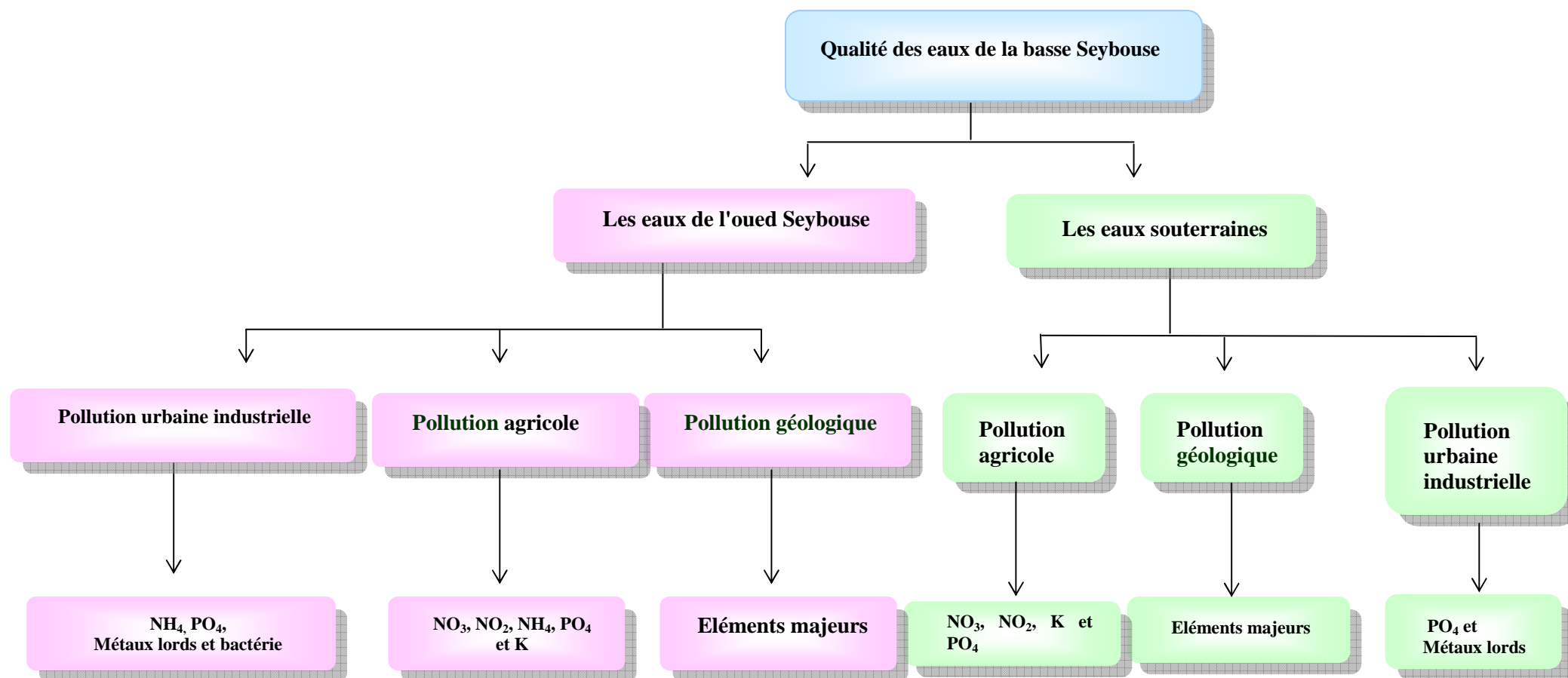
Conclusion

Les eaux de surface sont caractérisées par la pollution de diverses origines.

Les recensements réalisés au niveau de la zone d'étude montrent que la basse vallée de la Seybouse reçoit des rejets industriels et urbains. Par ailleurs l'agriculture est intensément pratiquée, des parcelles sont utilisées deux fois par ans, ce qui nécessite un double dosage en engrais. L'absence de station d'épuration permettant l'élimination des polluants ne fait qu'accentuer la dégradation de la qualité des eaux. Les analyses chimiques réalisées par nos soins et interprétées montrent une présence en abondance des éléments majeurs, des ETM et des nutriments.

Les méthodes utilisées dans l'interprétation sont multiples et convergent toutes vers la même constatation, ainsi l'analyse en composantes principales, nous a permis de mettre en évidence une pollution naturelle caractérisée par les liens existant entre les éléments majeurs. La pollution anthropique est mise en évidence par les paramètres physiques et le reste des éléments (ETM et nutriments), on observe une variation des derniers en fonction des premiers.

Le phénomène de pollution n'est pas statique, il peut se déplacer d'un milieu à un autre. Ce qui nous a amené à nous intéresser aux variations de la qualité des eaux au niveau de la nappe superficielle, ce choix est dicté par la présence d'une relation mixte entre les Oueds et la nappe. Les graphiques réalisés montrent bien ce transfert de pollution entre les deux milieux. Cette pollution est importante au niveau des puits en relation avec les Oueds, mettant en évidence la présence d'échanges directs entre les deux parties. Le schéma suivant récapitule les formes de pollution se déroulant au niveau de la basse Seybouse.



Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Le sous bassin de la Seybouse est soumis à une pollution dont les origines sont très diverses ce qui complique la tâche des chercheurs. En effet cette dernière peut être soit naturelle soit anthropique.

La pollution générée par l'homme est être simultanément urbaine, industrielle et agricole.

Le présent travail a été réalisé sur la base du recensement des néo facteurs de pollution. Cette façon de faire, nous permet de travailler sur les sources de pollution existant à l'heure actuelle, ce qui nous permettra de déterminer leur impact.

Les précédents travaux ayant portés sur la région étudiée ont montrés que la pollution évoluait dans le temps dans l'espace.

Pour mettre en évidence les variations et les origines de la pollution, nous avons réalisé des analyses chimiques portant sur les éléments majeurs, les ETM, des nutriments et de la bactériologie. Ce qui nous permet de déterminer les origines de la pollution (naturelle ou anthropique).

Au delà de ce travail spécifique, le présent mémoire comporte plusieurs parties complémentaires, constituant ainsi des ingrédients pour la mise en évidence des différents formes de pollution, et leurs origines.

* Nous rappelons que la zone étudiée se situe dans le nord est Algérien entre Bouchegouf et Annaba, elle se caractérise par une topographie à pente forte de Bouchegouf (400 mètres d'altitude) à Dréan, à partir de cette localité la pente devient faible pour devenir presque nulle au niveau de la plaine de Annaba (zéro mètre d'altitude). Cette hétérogène reste un facteur important dans le déplacement des polluants.

-le couvert végétal est parfois dense parfois absent, il est souvent constitué par des plantes propres à la zone tel que le Guendoul, Rihane...parfois par des cultures. La connaissance de ces cultures est très importante pour l'étude de la pollution.

*Le chapitre consacré à la géologie de la région, a montré que cette dernière fait partie de l'ensemble géologique du Tell algérien nord oriental. Elle est définie par des formations géologiques allant du Néoprotérozoïque au Quaternaire et est représentée par l'affleurement de terrains métamorphiques et des roches éruptives constituant la bordure Nord Ouest et des terrains sédimentaires occupant le reste de la zone d'étude.

CONCLUSION GENERALE

* L'analyse des données climatiques de trois stations (les Salines, Pont Bouchet et Bouchegouf), montre que la région d'étude possède un climat type Méditerranéen, caractérisé par deux saisons l' une saison humide s'étend du mois d' Octobre jusqu'au mois Mai et d'une saison sèche qui va du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre.

L'interprétation du bilan hydrologique montre qu'à partir du mois de Novembre, les précipitations sont importantes entraînant ainsi une prédominance sur l'évapotranspiration permettant la recharge en eau. A partir du mois de Mai apparaît le déficit agricole d'où la nécessité d'une irrigation en été.

* L'étude hydrologique basée sur l'observation des débits des deux affluents de la Seybouse, les Oueds Mellah et Ressoul, montre des débits relativement faibles au niveau du Ressoul mais demeurent importants au niveau du Mellah. Cette évolution se fait de manière irrégulière et se fait en fonction des saisonnières. Ces apports génèrent un accroissement de la lame d'eau d'amont en aval.

* Sur le plan hydrogéologique, nous remarquons que la basse Seybouse renferme trois nappes dont :

- la nappe superficielle contenue dans les sableuses argileux,
- la nappe des graviers,
- la nappe des salines constituant la bordure Est du système.

L'examen des cartes piézométriques réalisées au mois de Mars 2007 et au mois de Juillet 2007, montre que la morphologie de la surface piézométrique suit la surface topographique et son allure reste la même pendant les deux campagnes.

Le sens de l'écoulement est SW – NE, les relevés piézométriques effectués montrent que la nappe draine l'oued dans la partie amont alors que dans la partie aval elle est drainée par l'Oued, ceci indique l'existence d'une relation mixte entre l'Oued et La nappe.

Les perméabilités verticales du sol varie entre 10^{-6} à 5.10^{-5} m/s rendent la nappe superficielle vulnérable à la pollution, favorisée par la présence des sables.

* l'aperçu hydrochimique et bactériologique des eaux superficielles (Oued Seybouse et ces affluents) et des eaux souterraines (nappe superficielle), a permis de suivre l'évolution des concentrations dans l'espace et dans le temps et d'appréhender l'origine naturelle, industrielle, agricole ou urbaine du chimisme des eaux de surface et des eaux souterraines de la région

CONCLUSION GENERALE

d'étude.

L'analyse statistique (ACP), montre que les eaux superficielles sont chargées. Les éléments majeurs Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , évoluent ensemble, ce qui implique qu'ils ont la même origine et proviendraient du contact eau roche, mettant en évidence une pollution naturelle.

Les nutriments et particulièrement les nitrites dont les concentrations atteignent 18 mg/L, au S7 (Oued Seybouse), mettent en évidence une pollution anthropique, par ailleurs notons que les concentrations les plus élevées en ammonium, en phosphate et en potassium sont enregistrées au niveau des affluents Djefli, Feli et Meboudja et peuvent être dus à un retour des eaux d'irrigation.

On observe également une charge bactériologique considérable, aux points S2, Dj et Mb avec 2900, 3500 et 3000 respectivement pour les coliformes et de 2600 et 2400 pour les coliformes fécaux que les autres points, cela est dû aux apports des eaux usées rejetées.

Les eaux de la nappe superficielle présentent des caractéristiques similaires à celles des eaux de surface, par conséquent elles sont donc affectées par les différents types de pollution : industrielle, urbaine et agricole.

Ceci confirme le constat fait à partir de la piézométrie, cette dernière ayant démontrée une relation mixte entre l'Oued et la nappe.

La pollution des eaux de l'Oued Seybouse peut s'accroître et se déplacer verticalement (en profondeur) ou horizontalement, exposant ainsi l'homme et l'environnement aux méfaits de cette dégradation.

La première urgence est de réduire de manière significative les facteurs de pollution, ainsi nous préconisons :

- Un prétraitement des eaux des rejets particulièrement industriel,
- La construction de stations d'épuration et de traitement au niveau de grandes agglomérations, pour les petites il est souhaitable de traiter les eaux par lagunages.
- la protection de l'environnement est l'affaire de tous ainsi il est souhaitable de sensibiliser et convaincre les associations pour arriver à ce but.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- Abdi A., Brinis N. et Saadi E., 1991,**"Géophysique, Hydrogéologie, Hydrochimie de la vallée de la Seybouse –Guelma, Bouchegouf et Mounma-", mémoire d'ingénieur, IST, Université d'Annaba, 135 p.
- Agence de bassin hydrographique Constantinois -Seybouse- Mellegue, 2002,** " Cahiers de l'Agence bassin de la Seybouse", actualisation, N7 Av.2002, 32 p.
- Agence de Bassin Hydrographique Constantinois –Seybousse-Mellegue, 2009,** " Pollution de l'oued Seybouse- Diagnostic et solutions-", journée de la pollution du bassin de la Seybouse, Guelma, le 2 Février 2009.
- Amrani I., Snani A., 1999,** " Qualité des eaux en milieu urbain et industriel. Cas de la basse plaine de la Seybouse –Annaba-", mémoire d'ingénieur, IST, Université d'Annaba, 68 p.
- Blayac J., 1912,** "Esquisse géologique du bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines", 480 p.
- Bouare K., Kabera E., 2004,** " Contribution à l'étude d'Aménagement hydro-agricole du périmètre de Drean (Wilaya d'El Tarf)", mémoire d'ingénieur, IST, Université d'Annaba, 141 p.
- Bouasla F., Charef H et Mecheiria W., 2002,**"Influence de la pollution de l'oued Seybouse sur les systèmes aquifères de Bouchegouf – Annaba ", mémoire d'ingénieur, IST, Université d'Annaba, 109 p.
- Boughazi S., Chiheb A., 2005,** "Etude hydrogéologique et hydrologique de la plaine de Boumalek (Région d'El Kala ", mémoire d'ingénieur, IST, Université d'Annaba, 70 p.
- Boukhnouna S., 2008,** "impact de l'oued Bounamoussa sur la qualité des eaux de la nappe alluviale superficielle d'El Asfour (wilaya d'El Tarf)", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 145 p.
- Bounab S., 2006,** "Etat actuel des ressources en eau dans les wilayas d'Annaba - El Tarf Essai de synthèse bilan- qualité- perspective", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 181p.
- Castany G., 1982,** "Principes et méthodes de l'hydrogéologie", Ed. Dunod, Paris, France. 238p.
- Chaffai M., Bechka H., 2002,** "Mobilisation hydrodynamique de la nappe alluviale de Bouchegouf ", mémoire d'ingénieur, IST, Université d'Annaba, 57 p.
- Chaoui W., 2007,** "Impact de la pollution organique et chimique des eaux de l'oued Seybouse et de l'oued Mellah sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (Guelma)", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 97p

- 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, 199 p.
- 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.
- Djabri L ., J. Mania, A. Hani & D. Messadi ., 1997,** "Aptitude pour l'irrigation des eaux de la vallée de la Seybouse (régions de Guelma, Bouchegouf et Annaba; Est algérien)". Revue Hydrogeologia (Espagne). 1997. 14: 77-91.
- Djabri L., Hani A., Laour R., Mania J., Mudry J., Louhi A., 2003,** "Potential pollution of groundwater in the vally of the Seybouse River, north-eastern Algeria" Environmental geology 44: 738-744.
- Djabri L, Hani A., Mania J., Mudry J., Pulido-Bosch., 2003,** " l'Algérie, un pays en voie de développement, a-t-elle déjà développe un biseau sale ?", tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos. IGME. Madrid 2003. ISBN. 84-7840-470-8
- Deschamps T., Benzaazoua M., Bussière B., Belem T., Mbonimpa M., 2006,** "Mécanismes de rétention des métaux lourds en phase solide : cas de la stabilisation des sols contaminés et des déchets industriels", VertigO – La revue en sciences de l'environnement, Vol7no2, septembre 2006
- Derradji F., Kherici N., Romeo M., Caruba R., 2004,** "Aptitude des eaux de la vallée de la Seybouse à l'irrigation (Nord-Est algérien)" Sécheresse ; 15 (4) : 353-60.
- Gaud B., 1976,** "Etude hydrogéologique du système aquifère Annaba - Bouteldja, système des reconnaissance et recherche des conditions de modélisation (rapport d'étude I.N.R.H d'Annaba)", 151 p.
- Ghrieb L., 2007,** "Impact des formations triasiques sur les eaux d'une plaine en zone semi-aride : Cas de la plaine Bekkaria – Tebessa (Extrême Est Algérien)", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 104 p.
- Guettaf M., 2007,** " Aspects chimiques des apports de l'oued Seybouse au littoral d'Annaba. Apport en azote et phosphore et en matières organiques", mémoire de magister, ISM, Université d'Annaba, 28 p.

- Hani A., 2003,** "Analyse méthodologique de la structure et des processus anthropiques : application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen", thèse de doctorat d'état, Es. Sciences, Université d'Annaba, 213 p.
- Hamzaoui W., 2007,** " Caractérisation de la pollution des eaux en milieu industriel et urbain. Cas de la plaine d'El Hadjar", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 84p.
- Hedbani A., 2003,** " Cartographie de quelques polluante dans les oueds de l'est Algérien (oued Seybouse, Saf Saf, Medjardah, Kébir Est et Kébir Ouest)", mémoire d'ingénieur, IST, Université d'Annaba, 49 p.
- Hilly, J., 1962,** " Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est constantinois)" Bull. n°19 carte géologique Algérie, Alger, 339p.
- Joleaud L., 1936,** "Etude géologique de la région de Bône et la Calle".
- Jouanneau J. M., 1985,** "Extension des apports solides et liquides d'origine estuarienne dans les eaux de surface du plateau aquitain interne", Reu. Trau. Inst. Pêches marit, 47 (1 et 2) : 5-24, 1983 (1985).
- Kafi F., Lamiri K., 1997,** " Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux des oueds du nord-est Algérien (essai de synthèse)", mémoire d'ingénieur, IST, Université d'Annaba, 39 p.
- Khelfaoui H., 2008,** " Impacts des rejets industriels sur les eaux souterraines. Cas de la région de Berrahal (Algérie)", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 141 p.
- Khérici N., 1985,** "Aquifère sableux de bord de mer, hydrodynamique et hydrochimie. Exemple de la nappe de Bouteldja (N-E Algérie)", thèse de 3^{ème} cycle, U.S.T.L, Montpellier, 202p.
- Labar S., 2003,** "Contribution à l'identification des aires inondables et qualité physico-chimiques des eaux stagnantes temporaires dans la vallée mafragh –Extrême Nord Est Algérien-", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 105p.
- Makoutode M., Assani A.K., Ouendo E-M., Agueh V. D., Diallo P., 1999,** "qualité et mode de gestion de l'eau de puits en milieu rural au Bénin : cas de la sous-préfecture de Grand-Popo.", Médecine d'Afrique Noire : 1999, 46 (11).
- Marre A., 1987,** " Le Tell oriental Algérien (de Collo a la frontière Tunisienne", étude géomorphologique, Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Aix - en- Provence, France, 463 p.
- Mouassa S., 2006,** "Impact de périmètre d'irrigation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale de Guelma et sur les sols", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 158 p.

Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2005, " Utilisation des engrais par culture en Algérie", Rome 2005.

Remita A.R., 2008, " Remobilisation des métaux dans les eaux de l'oued Meboudja et ses affluents", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 89 p.

Rodier J., 1996, "Analyse de l'eau", DUNOD 8^e édition, Dunod, paris, France, 1383p.

Sakaa B., 2006, "Etude de l'anisotropie électrique des formation plio-quaternaires de la plaine de Annaba", mémoire d'ingénieur, IST, Université d'Annaba, 74 p.

Zahi F., 2008, " La qualité des eaux et des sols de la région du lac Fetzara (Nord-Est d'Algérie)", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 118p.

Zenati N., 1999," Relation Nappes-Lac Confirmation par l'hydrochimie cas de la plaine Ouest d'El Hadjar lac Fetzara N-E Algérien." Mémoire de Magister, option Chimie et Environnement. Univ. Annaba, 151 p.

Zerrouki H., 2007, "Diagnostic pour une éventuelle réhabilitation des eaux de la Seybouse – La basse plaine- Annaba", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 91p.

Villa 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 665p, 199 fig., 40pl.

Les cartes utilisées

- Carte topographique ' DUVIVIER' : 1/50.000 (F^{LLE} N° 55).
- Carte topographique ' MONDOVI' : 1/50.000 (F^{LLE} N° 34).
- Carte topographique ' BONE' : 1/50.000 (F^{LLE} N° 17).

Sites Internet consultés

www.sciencedirecte.com

www.hydrothese.com