

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR – ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année 2009

Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

THÈME

**VARIATIONS QUANTITATIVES ET QUALITATIVES DES
RESSOURCES EN EAU DES NAPPES SUPERFICIELLES DE
LA REGION DE ANNABA**

Option: hydrogéologie

Présenté par

BOULAKOUD Zoheir

Ingénieur d'Etat en Sciences et Technique de l'Eau, Université Badji Mokhtar-Annaba

Directeur de mémoire: DJABRI.L

Professeur (U.B.M. Annaba)

DEVANT LE JURY

Président:

HENI. A

Professeur (U.B.M. Annaba)

Examineurs:

CHAAB.S

Maître de Conférences (U.B.M. Annaba)

DJORFI. S

Maître de Conférences (U.B.M. Annaba)

VARIATIONS QUANTITATIVES ET QUALITATIVES DES RESSOURCES EN EAU DES NAPPES SUPERFICIELLES DE LA REGION DE ANNABA

Résumé

L'eau est un élément constitutif fondamental de la vie, est en a-nnt de toute activité économique. C'est une ressource de plus en plus polluée. Selon l'O.M.S, trois à quatre millions de personnes meurent chaque année dans les pays pauvres de maladies liées à la mauvaise qualité de l'eau.

La croissance industrielle, démographique, et l'urbanisation de la région de Annaba\$ et la présence d'un dense réseau de route³. Ont provoqué une augmejtation des déchets ildustriels, les canaux des eaux usées, a conduit à la détérioration \$e l'environnement et la pollution de l'eau, en particulier les eaux de surface (les eaux des cours d'eau de la région) par les éléments chimiques et en particulier les métaux lourds dont nous essayons dans cette étude de connaître leurs sources dans la région, leurs mouvements et leurs concentrations dans les oueds oued Zied, oued El Hout, oued Mellah et oted Meboudja).

Au cours de l'année 2007, nous avons fait quelques campagnes des mesures chimiques de l'eau des forages, puits, et des oueds en vue de déterminer la source et la concentration des éléments chimiques.

Les analyses chimiques qui ont été faites, nous a permis d'établir des courbes de variation des concentrations des éléments, et à différentes périodes de temps.

Les résultats d'analyse de ces courbes a prouvé la présence d'éléments (métaux lourds) au niveau des oueds à des concentrations différentes indiquant la pollution des eaux par ces éléments.

La pollution de l'eau des oueds par ces éléments résultant de la présence de canaux des eaux usées au niveau de ces oueds où se déversent directement, des déchets urbains ainsi que l'impact de trafic routier.

La présence de ces éléments à des différentes concentrations d'un endroit à un autre à travers les oueds, témoignant d'un mouvement de transition dans l'oued depuis le début jusqu'à la fin, vers la mer. Cette pollution présente une menace majeure l'entourage de la région, et en grande partie sur la santé et la vie des habitants.

Mots-clés : Nappe aquifère, Eaux souterraines, Eléments majeurs, Concentration, Les eaux de surface, La pollution, Oued, Zied, El Hout, Mellah, Meboudja, Les déchets industriels.

التغيرات الكمية والنوعية للموارد المائية في الجيوب الفوقية في منطقة عنابة

الملخص

المياه هي أحد العناصر الأساسية في الحياة ، فهي كل شيء في النشاط الاقتصادي ، بتلوث الموارد المائية بصورة متزايدة. ووفقا لمنظمة الصحة العالمية، ثلاثة إلى أربعة ملايين شخص يموتون سنويا في البلدان الفقيرة من الأمراض المتصلة بسوء نوعية المياه.

النمو الصناعي ، والسكان والتحضر في منطقة عنابة ، ووجود شبكة كثيفة من الطرق. تسببت في حدوث زيادة في صناعة النفايات والمجاري والقنوات ، وأدت إلى تدهور البيئة وتلوث المياه وخاصة المياه السطحية (المياه في وديان المنطقة) العناصر الكيميائية والمعادن الثقيلة خاصة ، نحاول في هذه الدراسة معرفة مصادرها في المنطقة ، وتحركاته ، وتركيزها في الأودية (وادي زطية ، وادي الحوت ، وادي المالح و وادي مبنجة).

خلال عام 2007 ، قدمنا بعض القياسات الكيميائية وحملات المياه من الآبار و الوديان لتحديد مصدر وتركيز العناصر الكيميائية.

نتائج تحليل هذه المنحنيات أظهرت وجود عناصر (المعادن الثقيلة) في الوديان في تركيزات مختلفة ، مما يدل على تلوث المياه من خلال هذه العناصر.

تلوث المياه في الوديان عن طريق هذه العناصر الناتجة عن وجود قناة مياه الصرف الصحي في هذه الأنهار التي تتبع مباشرة من النفايات الحضرية وتأثير حركة المرور على الطرق. وجود هذه العناصر في تركيزات مختلفة من مكان إلى آخر عبر الأودية ، والتي تعكس حركة الانتقال في الوديان من البداية وحتى النهاية ، نحو البحر والتلوث يشكل خطرا أكثر على المحيط في المنطقة ، وإلى حد كبير على صحة وحياة الناس.

الكلمات المفتاحية : جيب مائي ، المياه الجوفية ، العناصر الرئيسية ، والتركيز ، المياه السطحية ، التلوث ، واد زطية ، الحوت ، المالح ، مبنجة، النفايات الصناعية.

Remerciement

Au mon Dieu Le Clément et Le Miséricordieux, le grand merci Lui revient de nous avoir à élaborer ce mémoire de dissertation scientifique.

La réalisation de ce travail n'aurait pu mené à terme sans le support constant de mon directeur de mémoire M^r. DJABRI Larbi. Je désir lui adresser un merci tout particulier, ses précieux commentaires, et ses conseils pertinents m'ont grandement aidé tout au long des différentes étapes inhérentes au processus de recherche et à l'élaboration de ce mémoire.

Je voudrais également remercier les membres de jury, pour avoir bien voulu lire, commenter, et débattre mon mémoire.

Je remercie toute personne, qui de près ou de loin ayant généreusement contribué à l'élaboration de ce mémoire, surtout M^r. ZUINI .D et M^r. BOULAKOUD.M^{ed}.S

Tous les directeurs d'institutions et administrations des wilayas de Annaba, Taref, et de Guelma.

Je voudrais remercie encore mes enseignants du département de Géologie de l'université d'Annaba, et mes collègues de la promotion de Poste Graduation hydrogéologie et minière.

Si par mégarde, j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié pour tous.

BOULAKOUD Zoheir

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

L'esprit de mon père

Ma mère

Mes sœurs et mes frères

Tous les gens que j'aime et qui m'aiment

BOULAKOUD Zoheir

Liste des figures

Figure 1. Situation géographique de la zone d'étude	4
Figure 2. Carte du réseau hydrographique de la zone d'étude.....	7
Figure 3 : Situation géographique et géologique des plaines de la région de Annaba (D'après Strojexport, 1975 ; modifié).....	10
Figure 4 : Situation géographique du massif de l'Edough. (D'après Hilly, 1962 modifiée).....	11
Figure 5 : Colonne lithologique du massif de l'Edough (d'après Aissa D. E, 1985)	14
Figure 6. Carte géologique schématique du massif de l'Edough et des ses environs. Hilly, 1962.....	17
Figure 7. Précipitations annuelles médianes « normales» (1965-1995), (D'après ANRH-GTZ ,2003) In Azzedine MEBARKI et Jean-Pierre LABORDE.....	21
Figure 8. Variation des précipitations moyennes mensuelles.....	23
Figure 9. Variation annuelle des précipitations.....	25
Figure 10 : Variations mensuelles des températures.....	26
Figure 11. Diagramme ombrothermique.....	28
Figure12. La représentation de l'infiltration dans la région.....	34
Figure 13. Représentation graphique du bilan hydrique.....	38
Figure 14. Carte des principaux Oueds dans la région d'Annaba (ANRH).....	41
Figure 15. Variation Interannuelle de l'écoulement à la station de Ain El Berda «1985/1998 ».....	48
Figure 16. Variation Interannuelle de l'écoulement à la station de Mirbek« 1984/1993 ».....	48
Figure 17. Variation mensuelle de la lame d'eau écoulee et p des précipitations dans le sous bassin de l'Oued Ressoul « 1985/1996 ».....	50
Figure 18. Variation mensuelle de la lame d'eau écoulee et des précipitations dans le bassin versant de l'Oued Seybouse « 1984/1993 ».....	51
Figure 19. Répartition saisonnière de la lame d'eau moyenne écoulee sur les bassins versants étudiés.....	53
Figure 20 : Les nappes présentes au niveau de la plaine de Annaba (in Habes, 2006).....	54
Figure 21. Coupe schématique du système aquifère d'Annaba (in Hani 2003).....	56
Figure 22. Carte piézométrique de l'aquifère antérieur le Lac fedzara. Juin 1993.....	57
Figure 23 : Carte piézométrique de la nappe d'accompagnement du lac Fedzara (In Zenati 1998).....	58
Figure 24. Carte piézométrique de la nappe d'accompagnement du lac Fedzara (Décembre 2006).....	59

Figure 25. Carte piézométrique de la nappe d'accompagnement du lac Fedzara (Mai 2007).....	60
Figure 26 : Carte piézométrique de la nappe d'accompagnement du Lac fetzara. Juin 2008.....	60
Figure 27 : Carte piézométrique de la nappe d'accompagnement du Lac fetzara. Période Septembre 2008.....	61
Figure 28 : Piézométrie du mois d'Avril 1992 (I. Djabri).....	62
Figure 29 : Piézométrie des mois de Août et de décembre 1999 (in Debieche 2002).....	63
Figure 30 : Piézométrie de mois de décembre 1999 (In Aoun Sebaiti Badra 2002).....	64
Figure 31. Carte piézométriques hautes eaux 2008.....	66
Figure 32. Carte d'inventaire des points d'eau.....	66
Figure 33. Carte piézométriques basses eaux 2008.....	66
Figure 34. Relation hydrodynamique entre l'oued et la nappe superficielle en fonction de la distance par rapport à le niveau piézométrique (in Kadri 2009).....	67
Figure 35. Chronique des piézométries de la nappe profonde (in Hani 2003).....	68
Figure 36. Carte de la perméabilité verticale des sols de la région du lac Fetzara (Zenati, 1999; modifiée).....	70
Figure 37. Carte des transmissivités krigées (in Hani 2003).....	71
Figure 38. Schéma de fonctionnement du système aquifère de la région de Annaba.....	72
Figure 39. Cercle ACP des eaux souterraines (Eléments majeurs).....	77
Figure 40. Faciès chimiques des eaux souterraines (Mars 2007).....	79
Figure 41. Cercle ACP des eaux de surface (Eléments majeurs).....	81
Figure 42. Faciès chimiques des eaux de surface (Mars 2007).....	82
Figure 43. Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de oued Zied (Janvier 2007).....	83
Figure 44. Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de oued Zied (Mars 2007).....	84
Figure 45. Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de oued Zied (Mai 2007).....	85
Figure 46. Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de l'oued El Hout (Janvier 2007).....	87
Figure 47. Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de oued El Hout (Mars 2007).....	88
Figure 48. Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de oued El Hout (Mai 2007).....	89
Figure 49: Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de oued Mellah	

(Janvier 2007).....	91
Figure 50. Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de oued Mellah (Mars 2007).....	92
Figure 51. Evolution des concentrations le long de oued Meboudja durant les trois campagnes (Janvier, Mars et Mai 2007).....	94
Figure 52. Cercle ACP des eaux souterraines (eau de surface).....	97
Figure 53. Plan I-II des individus (eau de surface).....	98
Figure 54. Carte récapitulative des concentrations des éléments chimique (Eau de surface).....	98
Figure 55. Cercle ACP des eaux souterraines.....	100
Figure 56. Plan I-II des individus (eau souterraine).....	101
Figure 57. Diagramme de richards.....	103
Figure 58. Evolution des concentrations des éléments Ca^{2+} , Mg^{2+} & HCO_3^-	104
Figure 59. Evolution de concentration des Cl et de Na.....	105
Figure 60. Evolution de concentration de sulfate.....	105
Figure 61. Evolution de concentration de potassium.....	106
Figure 62. Evolution de concentration de NO_3 , NO_2 et NH_4	106
Figure 63. Evolution de concentration de phosphate.....	107

Liste des tableaux

Tableau 1. Les coordonnées des stations de mesures (D'après ANRH Constantine).....	20
Tableau 2. Précipitations moyennes mensuelles.....	22
Tableau 3. Précipitation annuelles dans les stations des Salines, Pont Bouchet et Bouchegouf (mm).....	24
Tableau 4. Températures moyennes mensuelles.....	26
Tableau 5. Moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station des Salines en (1975/2007).....	27
Tableau 6. Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à la station des Salines (1975/2007).....	27
Tableau 7. Résultats de l' ETR par la méthode de Turc.....	30
Tableau 8. Vérification de la condition $1/8\lambda < p (m) < 1/2\lambda$	31
Tableau 9. ETR selon la méthode de Coutagne.....	31
Tableau 10. Corrélation des climats.....	32
Tableau 11. Résultats du ruissellement.....	32
Tableau 12. Estimation de l'infiltration (mm) par SCHOLLER au mois d'avril.....	34
Tableau 13. Estimation de l'infiltration par la méthode de Thornthwaite.....	35
Tableau 14. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite.Station des Salines (1977-2007).....	36
Tableau 15. Bilan hydrique selon la méthode de C.W Thornthwaite Station de Pont Bouchet (1977/2007).....	36
Tableau 16. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite Station de Bouchegouf (1985-2007).....	37
Tableau 17. Localisation des différentes stations de jaugeage.....	40
Tableau 18. Caractéristiques des diagrammes des fréquences au dépassement ($m^3 \cdot s^{-1}$).....	42
Tableau 19. Débits interannuels moyens en $m^3 \cdot s^{-1}$	43
Tableau 20. Paramètres d'ajustement à la loi de Gauss.....	43
Tableau 21. Séries hydrométriques disponibles.....	44
Tableau 22. Débits moyens annuels des bassins versants étudiés« 1985-1993 ».....	44
Tableau 23. Débits moyens annuels spécifiques des bassins versants étudiés Algériens « 1985-1993 ».....	45
Tableau 24. Bilans moyens annuels dans les sous bassins versants étudiés.....	46
Tableau 25. Coefficients d'irrégularité « 1985-1993 ».....	47
Tableau 26. Valeurs caractéristiques des séries des débits moyens annuels.....	49

Tableau 27. Débits moyens annuels fréquents en années sèches.....	49
Tableau 28. Débits moyens annuels fréquents en années humides.....	50
Tableau 29. Les pourcentages des lames d'eau moyennes mensuelles écoulées dans les bassins versants du Nord-Est algérien « 1985-1993 ».....	52
Tableau 30. Transmissivité obtenue dans la région du lac Fetzara.....	70
Tableau 31. Inventaire des entrées et des sorties du le système aquifère étudié.....	72
Tableau 32. Bilan hydrodynamique.....	73
Tableau 33. Variations des concentrations des éléments majeurs des eaux souterraines.....	76
Tableau 34. Variations du Potassium et des Sulfates entre les mois de Janvier et Mars 2007.....	78
Tableau 35. Matrice de corrélation des eaux souterraines.....	79
Tableau 36. Variations des concentrations des éléments majeurs des eaux de surface.....	80
Tableau 37. Matrice de corrélation des eaux de surface.....	80
Tableau 38. Variations des concentrations des éléments majeurs des eaux.....	96
Tableau 39. Variations des concentrations des éléments chimiques des eaux.....	99
Tableau 40. Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation (Méthode du SAR).....	102

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Situation géographique et géomorphologie	3
I. Situation Géographique.....	3
II. géomorphologie.....	3
1. Les montagnes.....	3
2. La plaine de Annaba.....	3
3. Le cordon dunaire littoral.....	4
4. Réseau hydrographique	4
III. Conclusion.....	9
Chapitre II : Aperçu géologique	9
Introduction	9
I. Cadre géologique régional.....	10
1. Le complexe cristallophyllien.....	11
1.1. L'unité de base.....	12
1.2. L'unité intermédiaire.....	12
1.2.1. Les micaschistes.....	12
1.2.2. Le marbre.....	12
1.3. L'unité supérieure (série des alternances).....	12
2. Les roches ignées.....	13
2.1. Le groupe microgranitique.....	13
2.2. Le groupe rhyolitique.....	13
2.3. Le groupe dioritique.....	13
2.4. Le groupe andésitiques.....	13
3. Les terrains sédimentaires.....	13
3.1. Les flyschs ou grès numidiens.....	15
3.2. Les flyschs sénoniens.....	15
3.3. Le Mio-Pliocène.....	15
3.4 Quaternaire.....	15
4. Tectonique et structure du massif de l'Edough.....	18
a. Le massif de l'Edough.....	18
b. La plaine de Annaba.....	18
4.1. Déformations synmétamorphiques.....	18
4.2. Déformations tardives.....	18
4.2.1. Plis.....	18
4.2.2. Failles.....	19
5. Minéralisations du massif de l'Edough.....	19
II. Conclusion.....	19
Chapitre III : Les caractéristiques climatiques.....	20
I. Introduction.....	20
II. Les caractéristiques climatiques.....	20
1. Les stations de mesure.....	20
2. Type de climat.....	20
3. Les paramètres climatiques.....	21
3.1. Les précipitations.....	21

A / Les précipitations mensuelles.....	21
B / Les précipitations annuelles.....	22
3.2. La température.....	24
3.2.1. Diagramme Ombrothermique.....	27
3.3. L'humidité.....	27
3.4. Le vent.....	27
4. Le bilan hydrique.....	27
4.1. L'évapotranspiration.....	29
a) L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	29
b) L'évapotranspiration réelle (ETR).....	30
b.1) Formule de Thornthwaite.....	30
b.3) Formule de Coutagne.....	31
c) Comparaison.....	31
4.2. Le ruissellement.....	32
4.3. Estimation de l'infiltration.....	33
A. La méthode des chlorures.....	33
B. La méthode de Thornthwaite.....	34
4.4. Calcul du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite.....	35
a) Interprétation du Bilan hydrique.....	37
III. Conclusion.....	39
Chapitre IV : Les caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques.....	40
I. L'hydrologie.....	40
1. Introduction.....	40
2. Etude des hydrogrammes.....	41
3. Lissage des hydrogrammes.....	41
3.1. Analyse des débits classés et polygones des fréquences.....	42
3.2. Régime des débits mensuels.....	43
3.3. Ajustement des débits annuels à la loi normale.....	43
- Etude de l'écoulement Moyen Annuel.....	44
- Débit annuel moyen brut.....	44
- Débit moyen annuel spécifique.....	45
- Bilan moyen annuel de l'écoulement.....	45
3.4. Variation Inter Mensuelle de l'Écoulement.....	47
- Rapport des modules extrêmes (coefficient d'irrégularité).....	47
- Variation interannuelle de l'écoulement.....	47
4. Etude statistiques des débits moyens annuels.....	49
4.1. Statistiques élémentaires.....	49
- Estimation des débits fréquents.....	49
4.2. Ajustement des séries des débits annuels par les lois de Gauss et de Galton.....	49
a) Calcul des débits moyens annuels fréquents.....	49
b) Variation mensuelle de la lame d'eau écoulée.....	50
c) Variation interannuelle des débits moyens mensuels.....	51
4.3. Répartition mensuelle et saisonnière de la lame d'eau écoulée.....	52
5. Conclusion.....	53
II. L'hydrogéologie.....	54
1. Introduction.....	54

2. Définition des aquifères.....	54
3. Description des différents aquifères.....	55
3.1. Les nappes superficielles.....	55
3.1.1. La nappe des gneiss altérés.....	55
3.1.2. La nappe superficielle de la plaine.....	55
3.2. Les nappes profondes.....	55
3.2.1. La nappe des cipolins (formations métamorphiques).....	55
3.2.2. La nappe des graviers.....	55
4. Caractéristiques des aquifères.....	56
*caractéristiques piézométriques de la nappe entourant le lac.....	56
4.1. Etat piézométrique de 1993 (Rouabhia et Nouar).....	57
4.2. Etat piézométrique de 1998 (Zenati).....	57
4.3. Etat piézométrique de 2006 et 2007 (Zahi).....	58
*Carte piézométrique du mois de Décembre 2006.....	58
4.5. Carte piézométrique du mois de Mai 2007.....	59
4.6. Etat piézométrique de 2008 (Boulakoud).....	60
❖ Carte piézométrique du mois de Juin 2008.....	60
* Carte piézométrique du mois de Septembre 2008.....	61
5. Etude des nappes de la plaine de Annaba.....	62
5.1. La nappe phréatique.....	62
5.1.1. Piézométrie Boulakoud 2008.....	64
5.1.2. Relation nappe superficielle- l'oued.....	67
5.2. La nappe profonde.....	68
6. Caractéristiques hydrodynamiques.....	69
6.1. Nappes superficielles.....	69
6.1.1. Nappe entourant le lac.....	69
6.2. La nappe de la plaine de Annaba.....	70
6.2.1. Nappe superficielle.....	70
6.2.2. Nappe profonde.....	71
7. Facteurs régissant le bilan hydrodynamique.....	72
7.1. Fluctuation des nappes.....	72
8. Conclusion.....	73
Chapitre V : Hydrochimie.....	75
I. Introduction.....	75
II. Qualité des eaux.....	75
1. Les eaux souterraines la région du lac Fedzara.....	75
1.1. Eléments majeurs.....	76
1.1.1. Statistiques élémentaires.....	76
1.1.2. Analyse en composantes principales.....	76
1.1.2.1. Observation du cercle ACP.....	77
1.1.2.2. Matrice de corrélation.....	78
2. Les eaux de surface.....	79
2.1. Eléments majeurs.....	80
2.1.1. Statistiques élémentaires.....	80
2.1.2. Matrice de corrélation.....	80
2.1.3. Observation du cercle ACP.....	81
3. Evolution des concentrations- débits.....	82
3.1. Eléments majeurs.....	82

3.1.1. Oued Zied.....	82
3.1.2. Oued El Hout.....	86
3.1.3. Oued Mellah.....	90
4. Evolution des concentrations le long de oued Meboudja.....	93
5. Conclusion.....	95
III. Qualité des eaux de la plaine de Annaba.....	95
1. Résultats et interprétations.....	95
1.1. Variation des paramètres physico-chimique.....	95
1.2. Les eaux de surface.....	96
1.2.1 Statistiques élémentaires.....	96
1.2.2. Analyse en composantes principales.....	97
1.3. Les eaux de la nappe superficielle.....	97
1.3.1. Statistiques élémentaires.....	99
1.3.2. Le cercle ACP 2.....	100
1.4. Risques de sodicité et de salinité.....	101
IV. Impact des eaux de surface sur la nappe superficielle.....	103
1. Evolution des éléments chimique majeurs.....	104
1.1. Evolutions des concentrations des éléments Ca^{2+} , Mg^{2+} & HCO_3^-	104
1.2. Evolutions des concentrations du Sodium et de Chlorures.....	104
1.3. Evolutions des concentrations des Sulfates.....	105
1.4. Evolution des concentrations en potassium.....	105
1.5. Evolution des concentrations des Nutriments.....	106
1.6. Evolution des concentrations des Phosphates.....	106
2. Conclusion.....	107
V. Conclusion.....	108
Conclusion générale.....	109
Bibliographie.....	112

INTRODUCTION GENERALE

Introduction

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, a 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.

Le travail réalisé constitue un état des lieux de la partie aval de la Seybouse. La zone étudiée a fait l'objet de plusieurs études. Cette région se caractérise par une activité industrielle et agricole en perpétuel changement ce qui génère une pollution dynamique difficilement quantifiable et explique le regain d'intérêt accordé a cette région.

Les travaux antérieurs ont montré que les eaux de la région étaient excessivement polluées de ce fait le but recherché par l'impétrante est la variation temporelle des caractéristiques physico chimiques des eaux de la région.

Le manuscrit présenté comporte les sept chapitres dont une introduction et une conclusion générale.

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.

* 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 et l'hydrogéologie, il a été entamé par une identification des aquifères de la zone d'étude. Ensuite nous nous sommes intéressés aux informations issues des cartes piézométriques. On a remarqué 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 a amenés à utiliser plusieurs méthodes de traitements. On remarque que ces dernières convergent toutes et montrent une dégradation de la qualité des eaux.

Pour terminer nous recommandons 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.

CHAPITRE I

SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIE

La zone étudiée fait partie des zones les plus pluvieuses de l'Algérie, elle est sillonnée par plusieurs oueds, elle est à cheval sur plusieurs bassins versants mitoyens, ce qui rend difficile la quantification des apports de chaque bassin versant. Par ce travail nous allons essayer de répondre à cette question.

I. Situation géographique

La région étudiée se situe à l'aval du sous bassin versant de la Seybouse, est traversée par les oueds Kébir Est, Bounamoussa, Seybouse et son affluent principal l'Ouest le Ressoul. Ces oueds proviennent des régions situées en dehors des limites de la zone d'étude. Pour quantifier les apports se faisant par chaque cours d'eau nous sommes intéressés aux dépouillements des résultats des jaugeages réalisés.

Notons que d'autres oueds, de moindre importance, traversent également la zone étudiée, il s'agit :

- L'oued Meboudja qui draine le lac Fetzara.
- L'oued Djefeli et oued Oglat el Feli, affluents de l'oued Seybouse.

II. Géomorphologie

L'étude géomorphologique donne une idée sur les possibilités aquifères des formations et leurs sources d'alimentation. Au niveau de la région d'Annaba, nous distinguons trois formes morphologiques distinctes, il s'agit de la plaine d'Annaba, le cordon dunaire et les reliefs montagneux qui correspondent à la retombée des djebels Edough au Nord et les massifs de Belleleita au Sud Ouest et Bouhammra au Sud.

1. Les montagnes

Au contact brutal de la plaine d'Annaba et la mer s'élève l'entité cristallophyllienne du massif de l'Edough témoin des événements géologiques et tectoniques complexes. La masse principale de ce massif qui a l'allure d'un dôme anticlinal est limitée au sud ouest par la dépression du lac Fetzara, à l'est par la plaine d'Annaba et au nord par la mer.

La ligne de crête longue et relativement rectiligne suit une direction sud-ouest, nord-est en débutant de la bordure du lac Fetzara au sud-ouest, s'élève rapidement à plus de 600 m à koudiet El-Rohna, atteint 1008 m à Kef Sbaa (point culminant) puis s'abaisse régulièrement pour s'achever par la presqu'île du cap de garde.

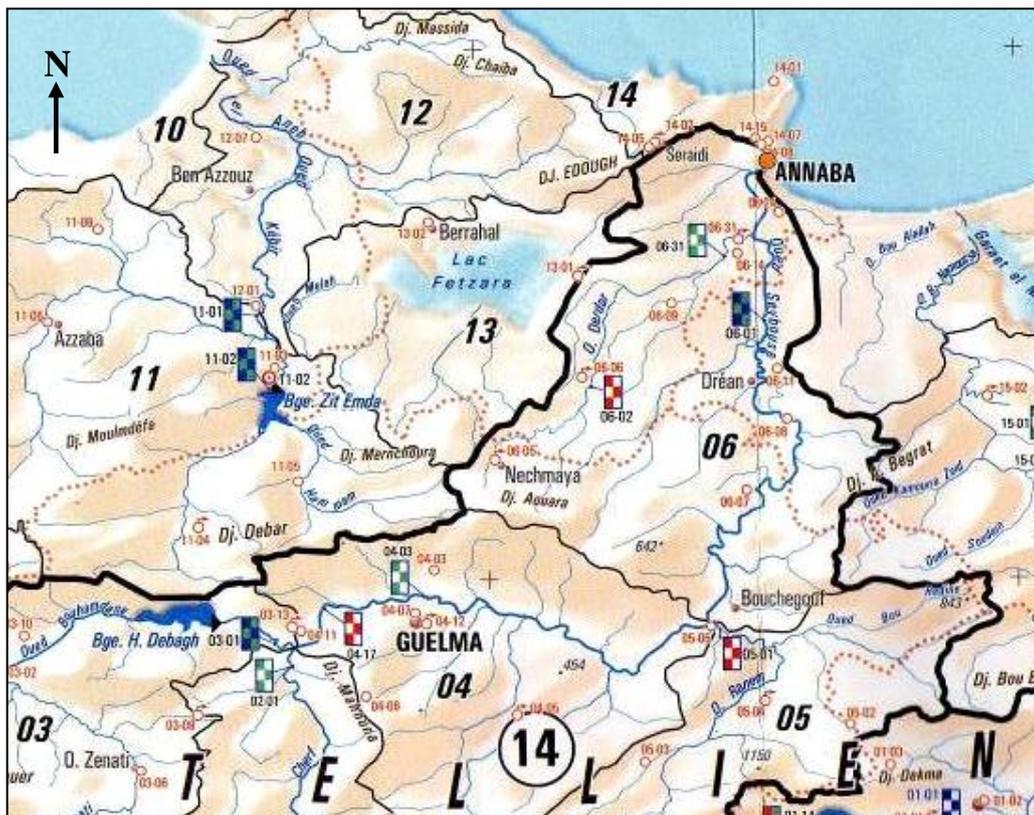


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

Les principaux versants du massif de l'Edough sont assez dissymétriques : le versant Nord-ouest profondément entaillé par de nombreux oueds descend progressivement après une série de crêtes étagées en direction du nord jusqu'à la mer où se forme le promontoire rocheux de la Voile Noire et du Pain de Sucre.

Le versant Sud-ouest dont les lignes orographiques sont encore moins brutales s'abaissent lentement jusqu'à l'oued Aneb.

Par contre le versant sud-est est beaucoup plus raide ; sur une distance approximative de 3.5 km entre Séraïdi et la vallée de l'oued Oureïda on a une dénivelée de 800 m.

D'autre part au sud-est, deux chaînons parallèles séparés par la plaine des Kherazas viennent se greffer au Djebel Edough.

Le massif de Boukantas dont le point culminant est à 586 m se prolonge par le Kef N'Sour et les trois mamelons de la ferme Duzer jusqu'à la butte témoin du cimetière israélite.

Le Djebel Bellileita (288 m) que termine le massif de Bouhamra jusqu'à la butte de la basilique Saint Augustin.

A l'ouest de la zone d'étude, le massif de l'Edough est isolé du djebel Belelieta par une vallée à fond plat qu'empruntent la voie ferrée, et la route (R.N.44) il s'agit là d'une fosse Ouest-est d'effondrement entre les Djebels Edough et Belelieta (287 m) ouvrant ainsi une dépression vers la mer Méditerranée.

2. La plaine de Annaba

La zone d'étude fait une partie de la petite plaine de Annaba qui s'étend entre les coteaux de Annaba, le pied du Djebel l'Edough, les terminaisons du Boukantas et du Bouhamra fait suite à la plaine de kherazas. Autrefois en partie couverte de marécages, elle est aujourd'hui presque entièrement assainie.

Les seuls marécages permanents qui subsistent se trouvent au pied du massif de Kef N'Sour à l'endroit du passage de l'ancien lit de l'oued Boudjamaa et à l'entrée de la ville de Annaba entre la butte de la basilique Saint Augustin et le cimetière Israélite.

3. Le cordon dunaire littoral

C'est une série de dunes sableuses d'origine éolienne et marine qui longent la mer du nord ouest au sud-est depuis la cité Seybouse à l'ouest et El-Kala à l'est. Ces dunes dont l'altitude et la largeur augmentent de l'ouest à l'est isolent la grande plaine de Annaba de la Méditerranée en formant une barrière naturelle qui gêne l'écoulement superficiel des eaux de certains réseaux hydrographiques comme celui du Khelidj du Bou Kamira et de la Mafragh.

A l'intérieur du périmètre d'étude ces dunes n'occupent qu'une bande de 500 m à 700 m de largeur qui s'élève au dessus de la mer de 3 m au niveau de la cité Seybouse à 18 m en face de l'aéroport.

4. Réseau hydrographique

La partie montagneuse, constituée par une ligne de crête longue et relativement rectiligne selon une direction Sud-Ouest, Nord Est, caractérisée par des versants raides constitués généralement de roches dures est sillonnée par un important réseau hydrographique dense et ramifié (chaabets, " ch^t. Bellareau, ch^t. Aouech ") à écoulement torrentiel temporaire.

Ces chaabets convergent vers l'aval pour former des oueds dans les eaux atteignant difficilement la mer à l'Est et au Nord Ouest en raison de la faible pente de la plaine et de la barrière dunaire littorale, causant parfois des inondations importantes.

La zone étudiée appartient au sous bassin versant de l'oued Boudjemàa. Ce sous bassin forme la terminaison Est du massif de l'Edough et est limité par la ligne des crêtes de Bouzizi, Séraïdi, Col des Chacals au Nord et au Nord Ouest, de Bellileita au Sud et au Sud-ouest et de Bouhamra à l'Est. Il forme actuellement un réseau hydrographique indépendant après la déviation de l'embouchure de l'oued Seybouse en 1970 dont il faisait partie.

L'oued Boudjemàa est le collecteur principal de ce sous bassin. Il reçoit à la hauteur de l'agglomération de Bouhamra les eaux du canal de Kef N'Sour (collecteur de l'oued Bouhdid, Sidi Harb et Forcha) avant de rejoindre la mer entre la cité Seybouse et le complexe industriel « ASMIDAL ». Avant sa déviation cet oued passait au pied du massif de Kef N'Sour puis sous la butte de la basilique Saint Augustin pour se jeter en mer.

Le réseau hydrographique se compose au Sud Ouest par les sous bassins des oueds Forcha, Sidi Harb et Bouhdid qui constituent en aval un cours d'eau unique qui se branche sur l'oued Boudjemàa par le biais du canal de déviation de Kef N'Sour.

Le collecteur principal de ces oueds connu sous le nom de oued Dheb coule à présent dans le sens Nord, vers la mer à l'Est, après la déviation qui consistait à le raccorder à l'Oued Boudjemàa à travers les collines de Kef N'Sour et la R.N. N° 44.

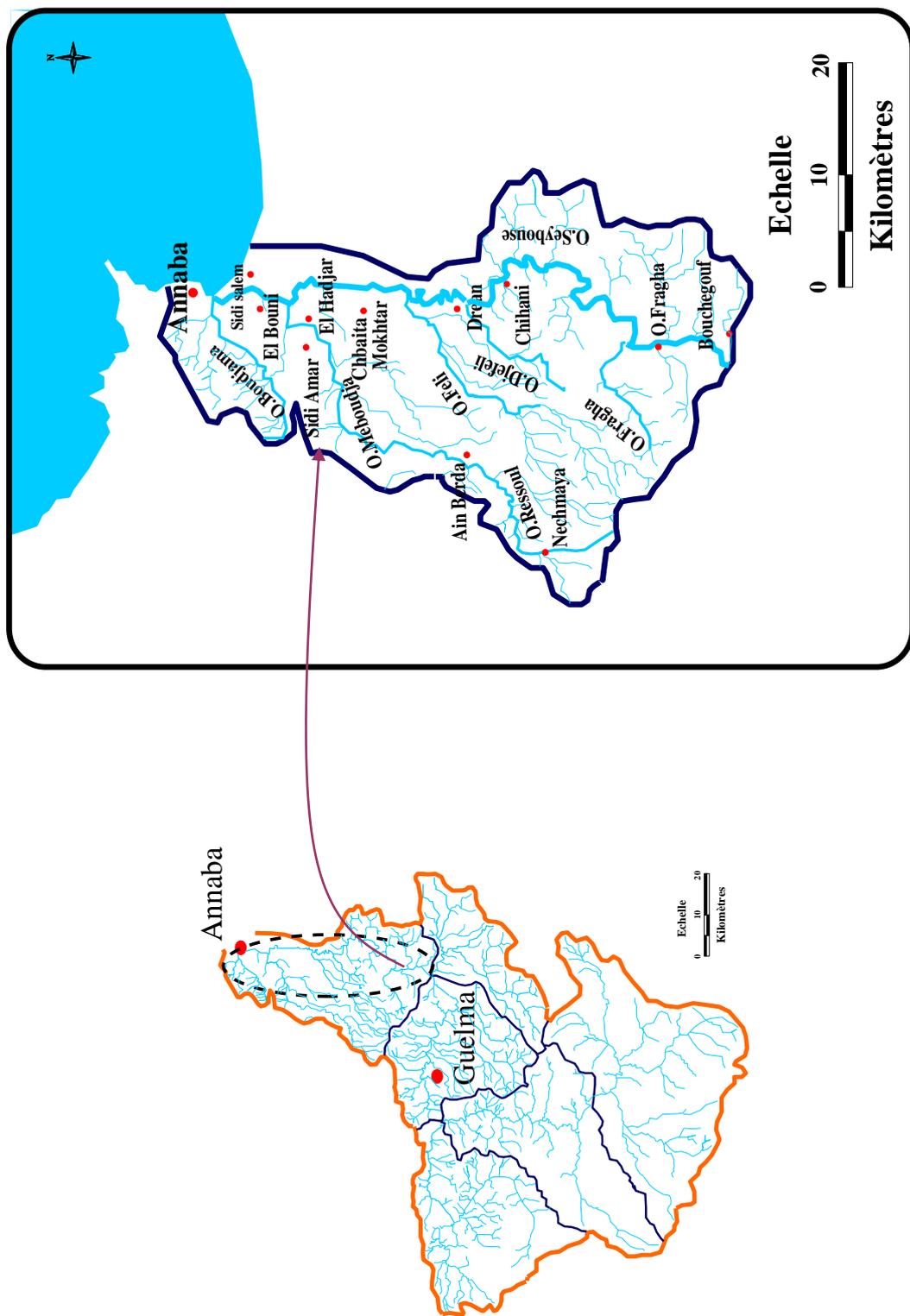


Figure 2 : Réseau hydrographique de la zone d'étude

III. Conclusion

L'étude géomorphologie nous a permis de distinguer trois formes morphologiques : les reliefs montagneux qui correspondent à la retombée des djebels Edough au Nord et les massifs de Belleleita au Sud Ouest et Bouhamra au Sud, le cordon dunaire d'origine éolienne et marine qui longe la mer du nord ouest au sud-est depuis la cité Seybouse à l'ouest et El-Kala à l'est et la petite plaine de Annaba qui s'étend entre les coteaux de Annaba, le pied du Djebel l'Edough et les terminaisons du Boukantas et du Bouhamra

Le réseau hydrographique est caractérisé par quatre oueds principaux constituent les sous bassins de la région d'étude :

- Le sous bassin versant de l'oued Kébir Est.
- Le sous bassin versant de l'oued Bounamoussa.
- Le sous bassin versant de l'oued Seybouse et son affluent principal l'Ouest le Ressoul.

CHAPITRE II

APERÇU GEOLOGIQUE

Introduction

Le cadre géologique d'un bassin versant conditionne les écoulements des eaux souterraines et des eaux superficielles. Nous voulons montrer ici la complexité géologique des diverses formations lithologiques qui contribuent à expliquer la nature des réservoirs, des zones imperméables et des zones en voie de dissolution.

Le tracé hydrologique est fortement influencé par la géologie, cette dernière joue un double rôle, car son influence se fait sentir d'une part sur le régime de cours d'eau, et d'autre part sur l'érosion et le transport solide.

La région d'Annaba a fait l'objet de plusieurs études géologiques, dont celles de (H. Joleaud, 1936, J. Hilly, 1962, J. M. Vila, 1980, J.C. Lahondere, 1987, Gleizes, 1988, Hammor, 1992). Ces études ont montré deux types de terrains, l'un sédimentaire et l'autre métamorphique.

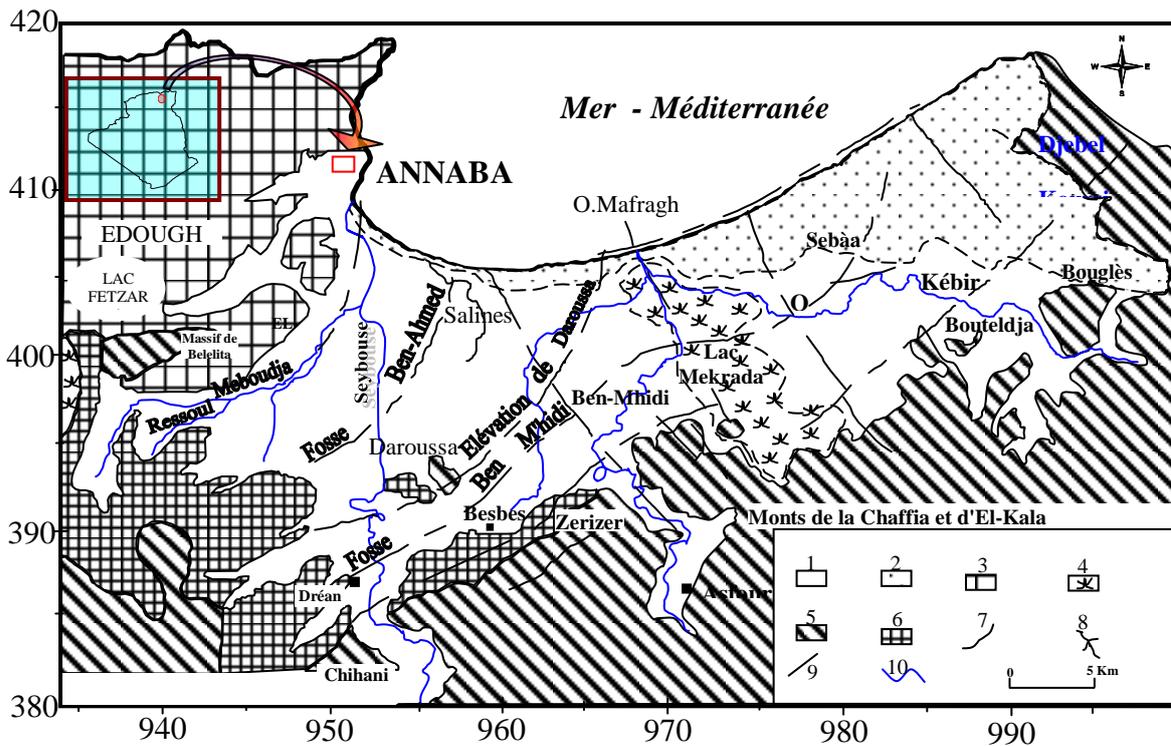
La couverture géologique du territoire des quatre communes Annaba, El-Bouni, Sidi Amar et El Hadjar a été identifiée à partir des cartes géologiques à l'échelle 1/50000 de Annaba, Séraïdi, Ain Berda et Dréan.

Le terrain en question chevauche sur diverses formations géologiques d'origine sédimentaire, métamorphique et éruptive attribuées aux Paléozoïque, Cénozoïque et Quaternaire qui correspondent à quatre grands ensembles tectoniques et structuraux :

Le massif Cristallophyllien de la région de Annaba, l'Edough constitue la terminaison Est de la ligne des crêtes des massifs Kabyles. Il forme aujourd'hui un dôme anticlinal sous l'aspect d'une amygdale elliptique dont l'axe orienté SW – NE se prolonge au-dessus du lac Fetzara par les coteaux de Berrahal.

Au relief principal, s'ajoutent à l'Est le djebel Bougantas, le Kef N'Sour et le Bouhamra, les coteaux de Annaba et enfin le promontoire du Cap de Garde qui est tranché brusquement par l'affaissement méditerranéen.

Cet ensemble montagneux de structures complexes (faillé et plissé) est affecté par toutes les phases tectoniques depuis le Paléozoïque. Il apparaît comme tout à fait indépendant du reste de la région de Annaba dont l'orogénie se lie à la terminaison orientale de la chaîne Numidique.



- 1- Alluvions récentes et actuelles. 2- Dunes 3- Alluvions anciennes
- 4- Marécage ou Lac 5- Grés et Argile Numidiens 6- formation Métamorphique
- 7- Faille 8- Axe des fosses 9- Tracé de coupe

Figure 3 : Situation géographique et géologique des plaines de la région de Annaba (d'après Strojexport, 1975 ; modifié).

I. Cadre géologique régional

Le massif de l'Edough, situé sur la côte algérienne, dans la région d'Annaba est un massif cristallophyllien, le plus oriental de la côte algérienne, il se présente comme une antiforme de gneiss et micaschistes de 50 Km de long sur 20 Km de large et d'orientation axiale N 60 à intercalation de marbre-amphibolite et de schiste satinés (J.M.VILA, 1980).

Le massif de l'Edough est caractérisé par une lithologie variée, on y distingue un complexe cristallophyllien qui est la partie essentielle du massif, des formations magmatiques et sédimentaires qui sont localisées principalement dans la partie Est du massif.

Il a fait l'objet de plusieurs études géologiques (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) et il est considéré comme faisant partie des zones internes de la chaîne alpine de l'Afrique du Nord, associée à la collision de la plaque africaine et européenne durant la période Oligo-Miocène (Auzende et al. 1975; Bouillin, 1979; 1986; Cohen, 1980; Maurey et al., 2000; Laouar et al. 2005).

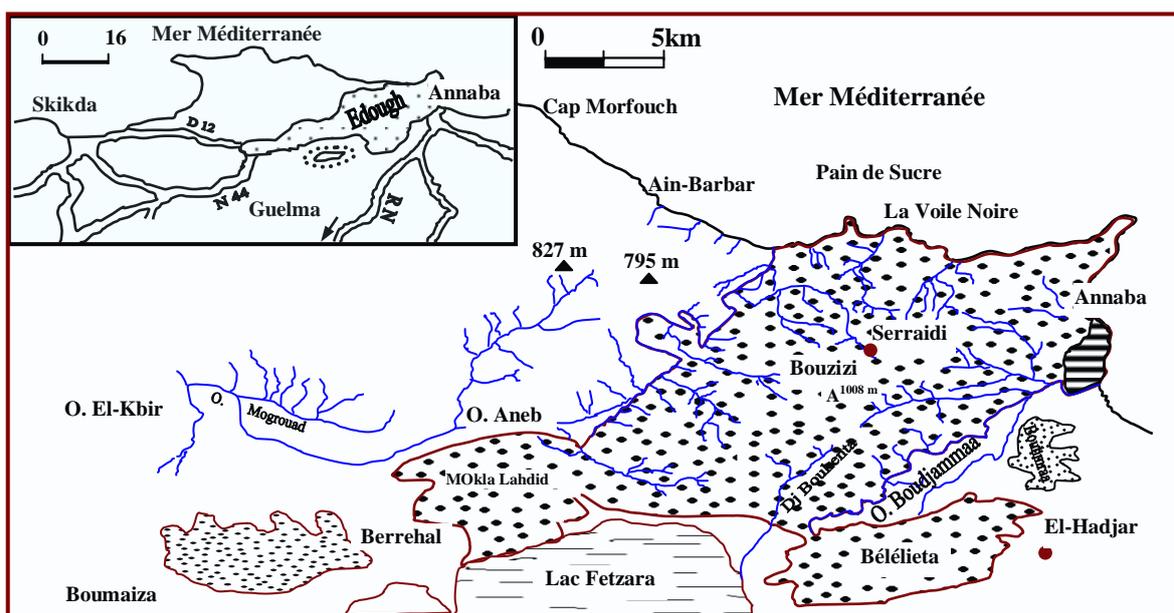


Figure 4 : Situation géographique du massif de l'Edough. (D'après Hilly, 1962 modifiée)

Le complexe de l'Edough est composé d'une variété de roches métamorphiques d'âge Précambrien à Paléozoïque; l'ensemble de ces roches forme une antiforme d'axe NE-SW (Figure 4).

1. Le complexe cristallophyllien

D'après les nombreux travaux géologiques dont J.M. Vila, 1970 et G. Gleizes, 1988, le massif pourrait être subdivisé en trois unités (figure 5).

- L'unité de base.
- L'unité intermédiaire.
- L'unité supérieure.

1.1. L'unité de base

Représentée principalement par des gneiss et des micaschistes correspondant respectivement à la série gneissique de base, on y distingue des gneiss clairs des gneiss sombres et des leptynites. L'ensemble constitue le cœur de l'anticlinal et cette unité gneissique est riche en matériel quartzo-feldspathique, en mica, sillimanite et parfois en tourmaline.

Les gneiss clairs sont pauvres en biotite et sont caractérisés par de gros yeux de feldspaths de 3 à 5 cm.

1.2. L'unité intermédiaire

Elle repose sur la série gneissique. Cette série est constituée par une alternance de micaschiste et de bancs de marbre à cristaux plus aux moins bien cristallisés. Le contact entre les marbres et les micaschistes est souligné par des Skarns de réaction.

1.2.1. Les micaschistes

Leur épaisseur varie de quelques mètres à 100 m, sauf au Cap de Garde où ils apparaissent en position verticale avec une structure litée, selon leur composition minéralogique il existe plusieurs types de micaschistes : micaschistes à grenat, micaschistes à grenat et andalousite, micaschistes à deux mica, micaschistes à phénoblastes de muscovite, micaschistes à grenat et staurotide, micaschistes à andalousite et à tourmaline avec plus ou moins de grenat, micaschistes à disthène.

Tous les micaschistes renferment des minéraux du métamorphisme dont certains sont visibles à l'œil nu (grenat, andalousite, staurotide et disthène). Ces minéraux sont assez bien formés et sont souvent idiomorphe.

1.2.2. Le marbre

Affleure en lentilles ou en petits bancs, parfois recoupé des micaschistes. La couleur est souvent grise très claire, légèrement blanche.

1.3. L'unité supérieure (série des alternances)

Cette unité est essentiellement constituée par l'alternance régulière de micaschiste souvent fortement alumineux et de quartzite feldspathique très plissotée. Dans les micaschistes alumineux à muscovite (ou) à biotite s'intercalent des "lydiennes" noirs en lits d'épaisseur centimétrique à décimétrique. La présence d'acritarches (Ilavsky et

Snopkova, 1987) précise que cette série est d'âge Paléozoïque. Vers la base s'intercalent des dalles de gneiss œilles dont la puissance varie de 10 à 100 m.

2. Les roches ignées

Les roches ignées du massif de l'Edough sont localisées, d'une part à la bordure Nord occidentale du massif et dans la région de Ain Barbar, d'autre part dans la partie septentrionale du massif du Cap de Fer. Ces roches font partie d'une même série calco-alcaline et peuvent être classé en grands groupes:

2.1. Le groupe microgranitique

C'est le groupe le plus important dans le massif de l'Edough, comprend des roches microgrenues plus rarement à tendance microlitique. Il se présente selon le cas : en dykes, en petits pointements en bosses, et des laccolites.

2.2. Le groupe rhyolitique

Les laves qui appartiennent au groupe rhyolitique n'affleurent pratiquement que dans la région située au Nord-Ouest du massif, il se présente soit en filon soit en massif.

Les rhyolites renferment des enclaves de gneiss, de micaschistes, grès numidien, flysch sénonien et microgranite au sein des rhyolites.

2.3. Le groupe dioritique

Les roches du groupe dioritique sont localisées dans la partie septentrionale du massif de Cap de Fer, leur texture est généralement grenue, elles sont formées de plagioclase, de hornblende et augite.

2.4. Le groupe andésitiques

Ce groupe est beaucoup moins homogène que les précédents, ils comprennent des roches allant des basaltes aux rhyolites mais qui ont, pour la plus part, un faciès andésitique.

Ce groupe ne se situe pas exactement dans le massif de l'Edough mais plutôt du côté du Cap de Fer et de Chetaibi.

3. Les terrains sédimentaires

Les terrains sédimentaires occupent la quasi-totalité de la plaine de Annaba et une grande partie de celui du massif de l'Edough.

On distingue les flyschs et les formations post-nappes :

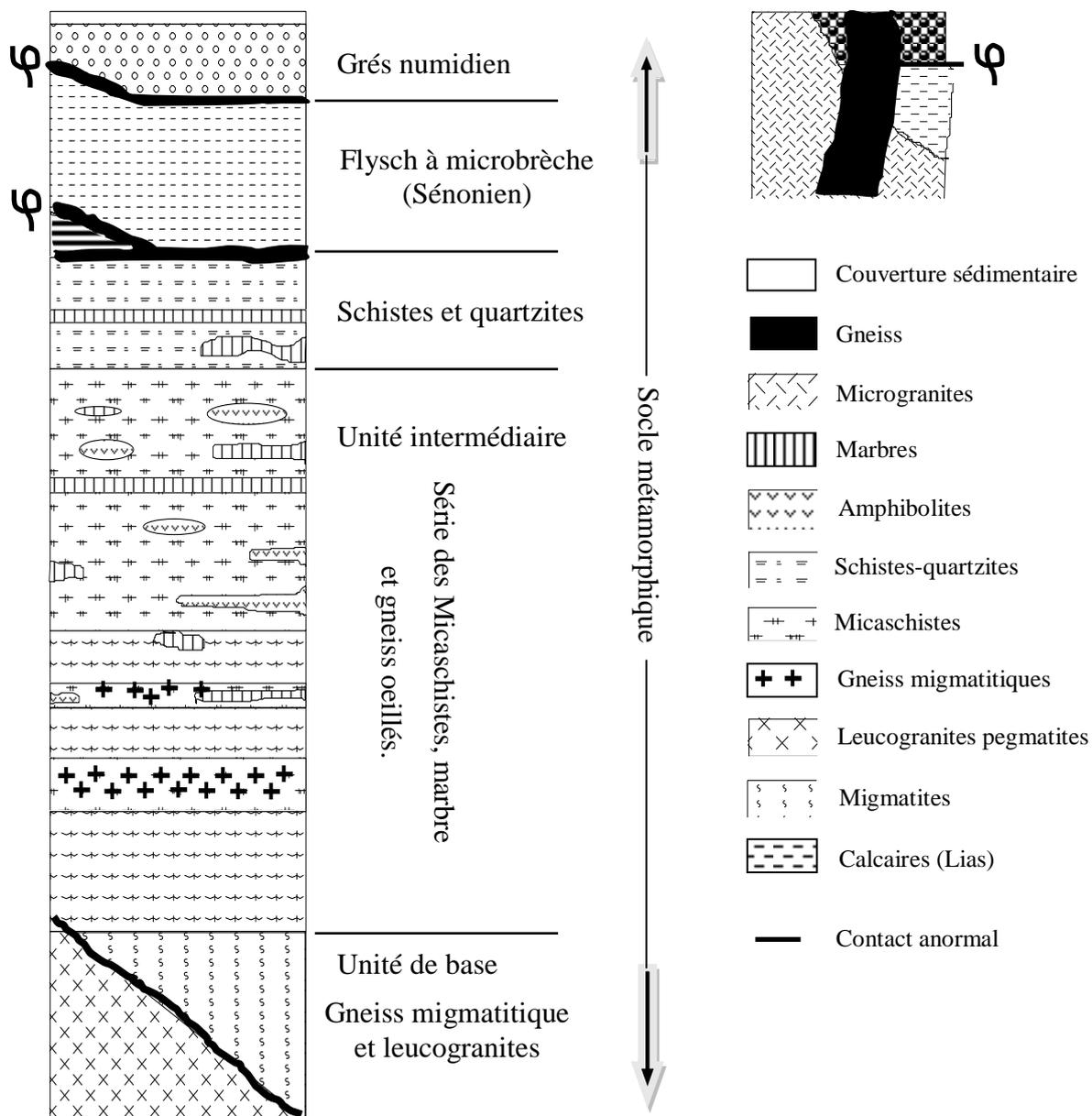


Figure 5 : Colonne lithologique du massif de l'Edough
(D'après Aissa D. E, 1985)

3.1. Les flyschs ou grès numidiens

Ils se présentent sous forme d'alternance de grès grossiers, hétérométrique à dragées de quartz et de minces couches pelitiques, les argiles forment la base de cette unité.

Les flyschs numidiens reposent sur les flyschs sénoniens et sont séparés en deux par une zone bréchique intensément silicifiés et chloritisés.

3.2. Les flyschs sénoniens

Ils affleurent sous le numidien en fenêtre près d'El Mellaha et Es Saf-Saf au Nord Ouest du massif.

Les flyschs sénoniens présentant un aspect de schistes argileux de teinte noire, bleutée ou jaunâtre. Ils sont constitués d'un matériel quartzeux, chloriteux très fin, carbonaté ou bioclastique.

3.3. Le Mio-Pliocène

Constitue le remplissage graveleux et sablo-argileux du bassin de la plaine de Annaba. Ces formations sont d'origine continentale, elles incluent des horizons graveleux et des niveaux de travertins qui constituent le réservoir de la nappe des graviers.

Ces formations sont liées aux dépôts des fosses d'effondrement. En effet, la prospection par sismique réflexion a mis en évidence l'existence de deux fosses (SONATRACH, 1969 ; Strojexport, 1975) :

- La fosse de Ben - Ahmed, orientée S-N.
- La fosse de Ben – M'hidi, orientée SW-NE.

Ces deux fosses sont séparées par le haut fond de Daroussa (ou élévation de Daroussa). Cet effondrement s'est produit au cours du Mio-Pliocène. Ces dépôts qui le remplissent forment une série continentale argilo - sableuse avec des lits de conglomérats constituant le réservoir de la nappe captive des plaines de Annaba – Bouteldja.

3.4 Quaternaire

Il est constitué de formations continentales, alluvionnaires, colluviales et marines. Les études géologiques de L. Jaleud, (1936) sur le Quaternaire dans la région de Annaba font apparaître les traits suivants :

a. Quaternaire ancien (haute terrasse), constitué par des formations alluviales (argiles, limon, sables, gravier et galets), et formant un réservoir d'eau superficielle, son altitude varie entre 75 et 150 m.

b. Quaternaire moyen, correspond à la basse terrasse de 20 à 50 m, constituée par des argiles et des sables. Elle supporte des terres cultivées. Cette terrasse se développe sur toute la région.

c. Quaternaire récent, caractérisé par des dépôts alluvionnaires, limoneux très fins, à prédominance d'argile qui couvrent indifféremment l'ensemble de la plaine (S. E. Cherrad, 1979 in N. Kherici, 1993) il correspond à la basse et la moyenne terrasse.

d. Quaternaire actuel, les alluvions sont représentées par des dépôts du lits actuels des Oueds, formé 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 région d'étude seules les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire peuvent constituer des réservoirs d'eau importants. Par contre, les formations du Primaire et celle du Tertiaire (Numidien), qui apparaissent à l'entourage du site, sont rarement exploités.

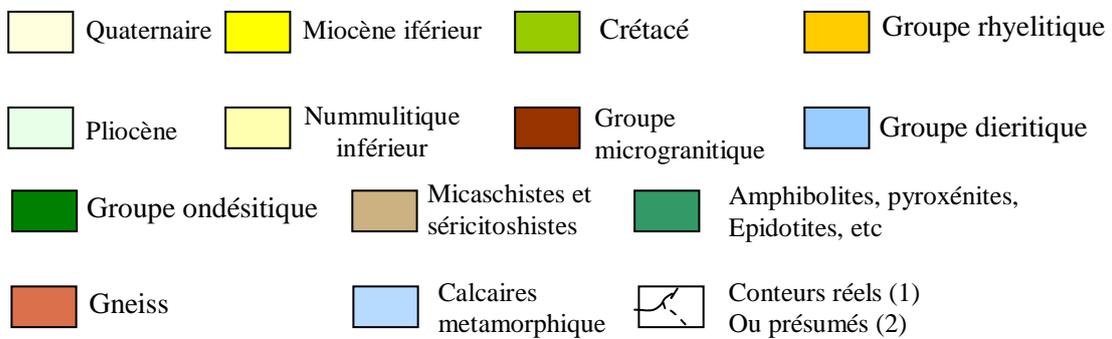
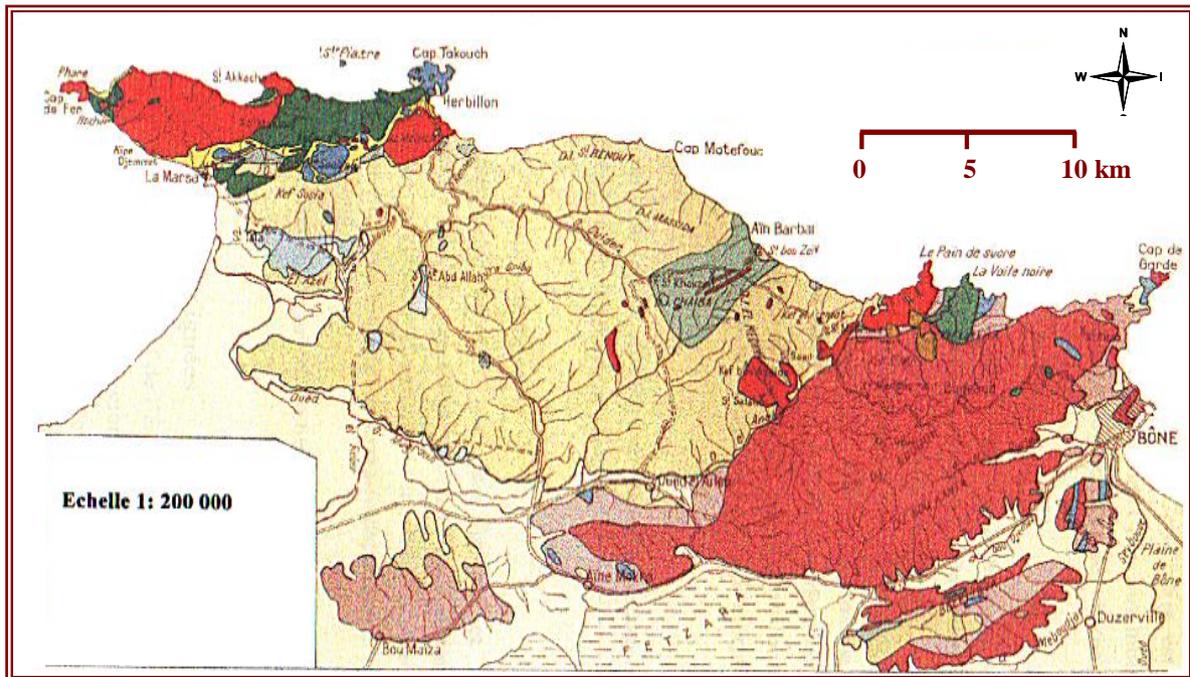


Figure 6 : Carte géologique schématique du massif de l'Edough et des ses environs.

(Hilly, 1962)

4. Tectonique et structure du massif de l'Edough

Selon J. M. Vila, 1977 ; la tectonique de l'Algérie orientale est particulièrement complexe, généralement, on peut subdiviser la région d'étude en deux grandes unités structurales :

a. Le massif de l'Edough

Il occupe la grande partie du terrain d'étude, formé d'un socle cristallophyllien et d'une couverture sédimentaire.

b. La plaine de Annaba

Constitue la partie orientale de la zone d'étude. Elle a connue deux événements tectoniques distincts :

* Durant le Miocène, un enfoncement progressif du grès Numidiens, une des conséquences de la phase alpine et continue jusqu'au Miocène supérieur.

* Durant le Plio-Quaternaire, s'est produit un remplissage des matériaux détritiques, ce remplissage correspond au dépôt de deux fosses d'effondrement d'âge Mio-Pliocène.

4.1. Déformations synmétamorphiques

Le socle de l'Edough a subi une histoire tectonométamorphique complexe où deux séquences d'événements peuvent être individualisées :

a- plissements synschisteux contemporains d'un métamorphisme de type barrovien (disthène-staurotide-grenat).

b- plissements synschisteux et cisaillements ductiles contemporains d'un métamorphisme de basse pression (andalousite-sillimanite) dans le contexte distensif d'une faille de détachement (Brunel et al, 1989) d'âge burdigalien (Monié et al, 1992; Aissa et al. 1994; 1995).

4.2. Déformations tardives

Les déformations tardives se résument essentiellement en la formation de plis et de failles (Aissa, 1995):

4.2.1. plis

Plis droits à N140°E et brachyantoclinal (N50-60°E) façonnant la forme actuelle du massif.

4.2.2. Failles

Un premier type de failles (F1) constitue une famille dont l'orientation dominante varie de N120° à N150°E et correspondrait à des failles décrochantes dextres. Les failles N150° à N160°E contrôlent les minéralisations polymétalliques hydrothermales et paraissent par ailleurs avoir guidé la mise en place des rhyolites.

Un deuxième type de failles (F2), d'orientation NE-SW cette famille correspondrait à un système de failles décrochements senestres.

Un troisième type de failles (F3) moins important qui a une direction moyenne E-W et un quatrième type rare de direction moyenne N-S qui semble en liaison avec le premier type (F1).

5. Minéralisations du massif de l'Edough

La présence de gîtes et indices métallifères dans le massif de l'Edough est en relation plus ou moins directe avec l'activité magmatique et les systèmes de failles principalement contrôlés par la tectonique distensive langhiennne. Quatre types principaux de minéralisation sont reconnus :

1- gîtes à Fe-(Pb-Zn-Cu) liés aux marbres et skarns exemple : ceux de Berrahal et Boumaiza.

2- filons à minéralisation polymétallique encaissés dans les flyschs crétacés exemple: Ain Barbar, El-Mellaha.

3- gîtes à W-As-Au liés aux skarns et gneiss exemple: Belelieta, Bouzizi.

4- filons à Sb-Au situés à travers le complexe métamorphique exemple: Koudiat El-Ahrach, Saf-Saf, Ain Barbar.

II. Conclusion

Les études géologiques sur la région d'Annaba ont montré deux types de terrain, l'un métamorphique représenté par le massif de l'Edough, qui occupe la grande partie du terrain d'étude, formé d'un socle cristallophyllien et d'une couverture sédimentaire, et l'autre sédimentaire occupant la quasi-totalité de la plaine d'Annaba.

La description géologique a fait apparaître que dans la région d'étude seule les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire peuvent constituer des réservoirs d'eau importants. Par contre, les formations du Primaire et celle du Tertiaire (Numidien), qui apparaissent à l'entourage du site, sont rarement exploités.

CHAPITRE III

LES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

I. Introduction

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.

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.

II. Les caractéristiques climatiques

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 1980 à 2007 pour la station de Bouchegouf. Les coordonnées de ces stations de mesure sont répertoriées au niveau du tableau 1, suivant :

Tableau 1 : 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

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.

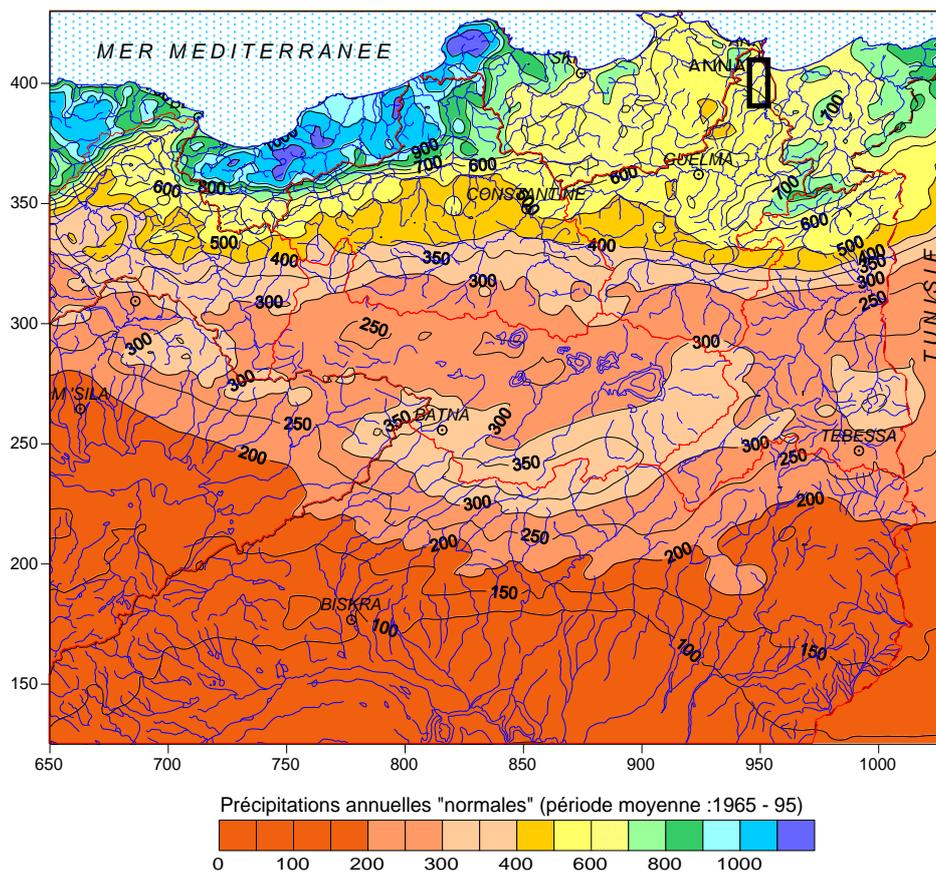


Figure 7 : Précipitations annuelles médianes « normales » (1965-1995)

(D'après ANRH-GTZ ,2003) In Azzedine MEBARKI et Jean-Pierre LABORDE

3. 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

3.1. Les précipitations

A / Les précipitations mensuelles

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

Tableau 2 : 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
Boucheouf	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 pour les 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 8, montrent que les précipitations varient d'un mois à l'autre. 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.

Ou on a enregistré un maximum de l'ordre de 116.32 mm, ce qui correspond 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 la station de Pont Bouchet et 90.86 mm pour la celle de Boucheouf. 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 précipitation moyenne calculée. Par opposition des mois de Juin, de Juillet, d'Août et de Septembre se caractérisent par des précipitations inférieures à la précipitation moyenne calculée.

B / Les précipitations annuelles

Les valeurs des précipitations annuelles moyennes 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 Boucheouf. Les moyennes des précipitations enregistrées sont respectivement de 987.7mm aux Salines, 940.3mm à pont Bouchet et 937mm à Boucheouf. 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 Boucheouf avec 339mm. Le tableau suivant, récapitule toutes ces informations.

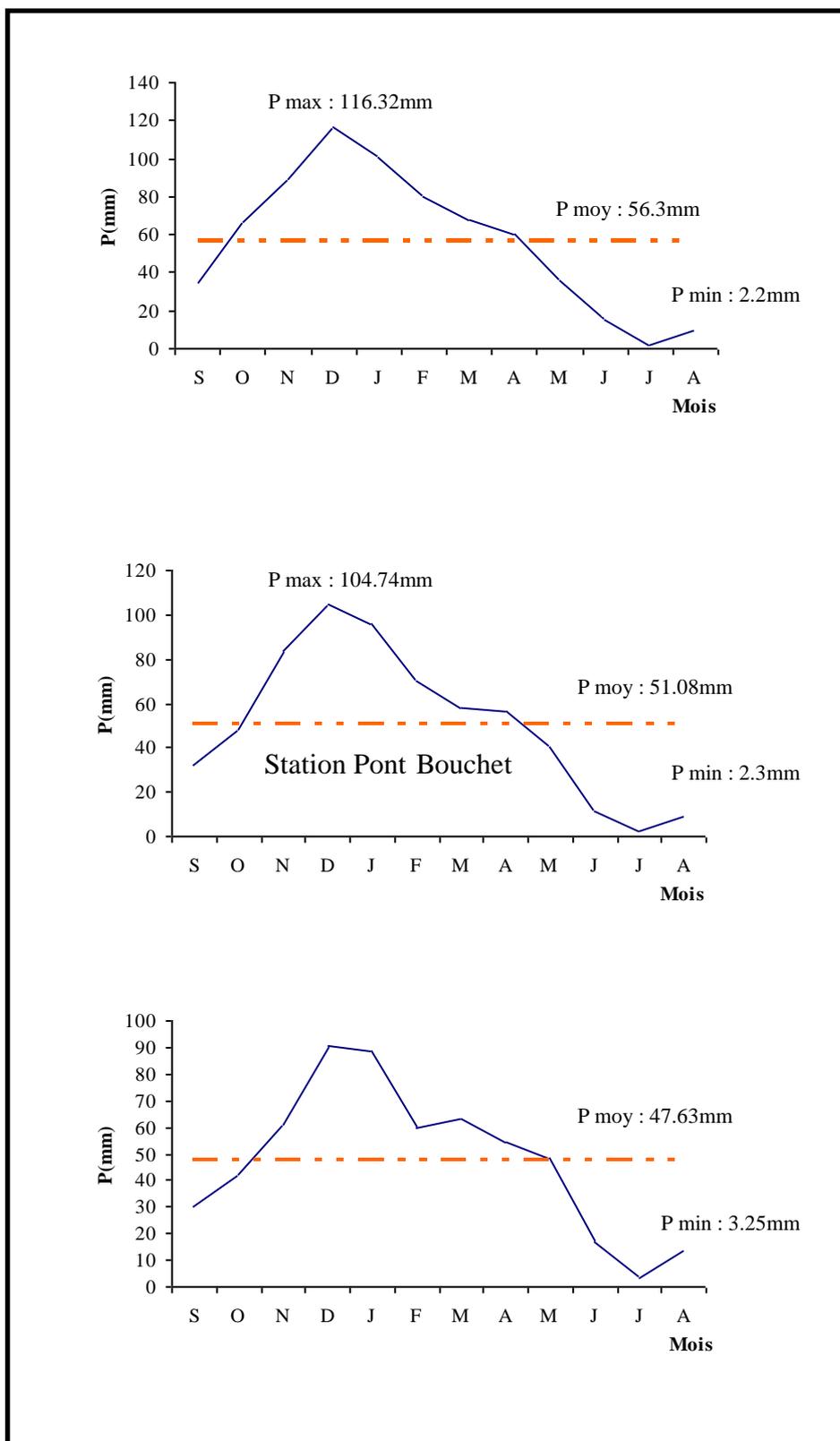


Figure 8. Variation des précipitations moyennes mensuelles

Tableau 3 : 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

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 9, illustre les variations des précipitations annuelles 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.

3.2. 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 4.

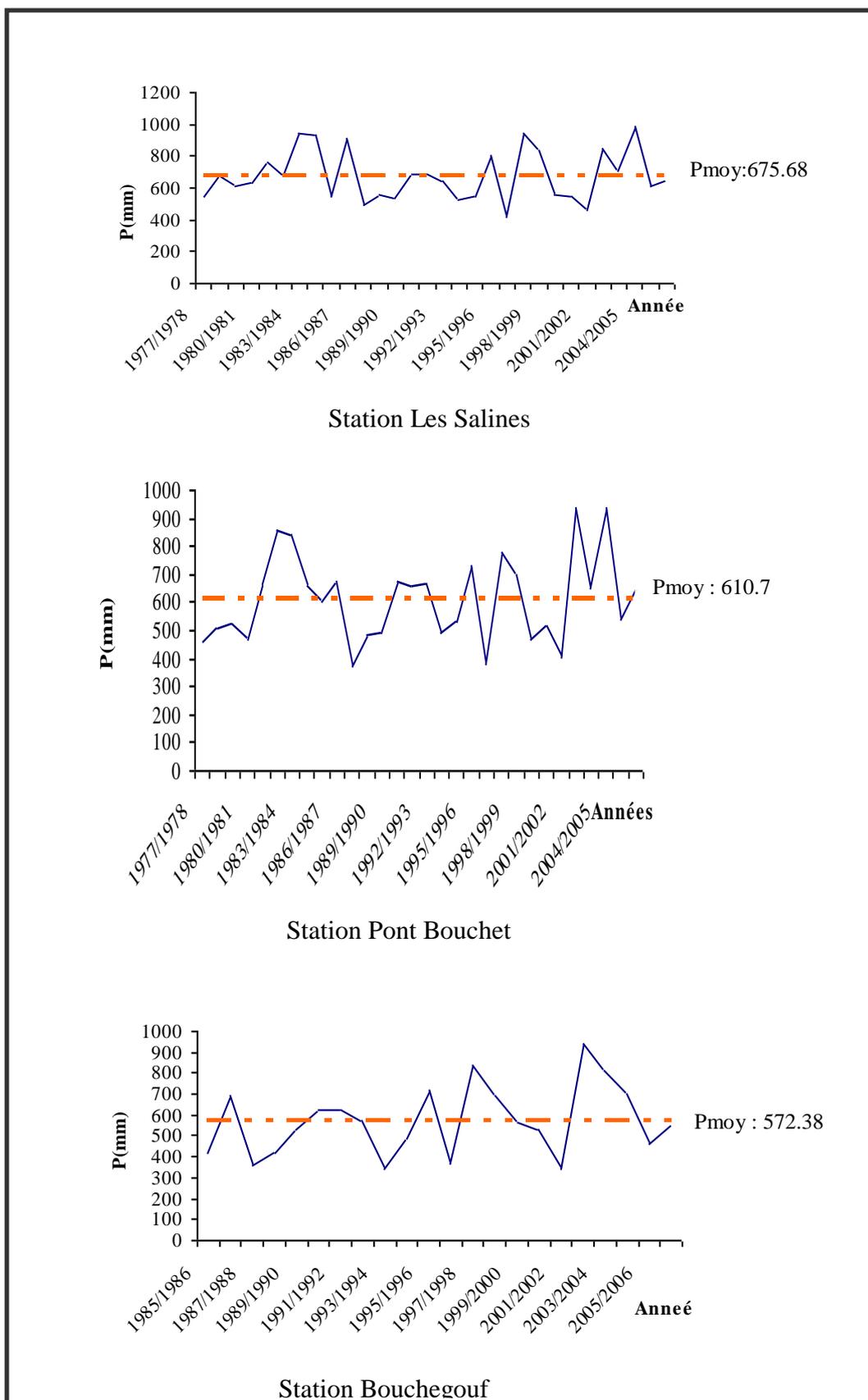


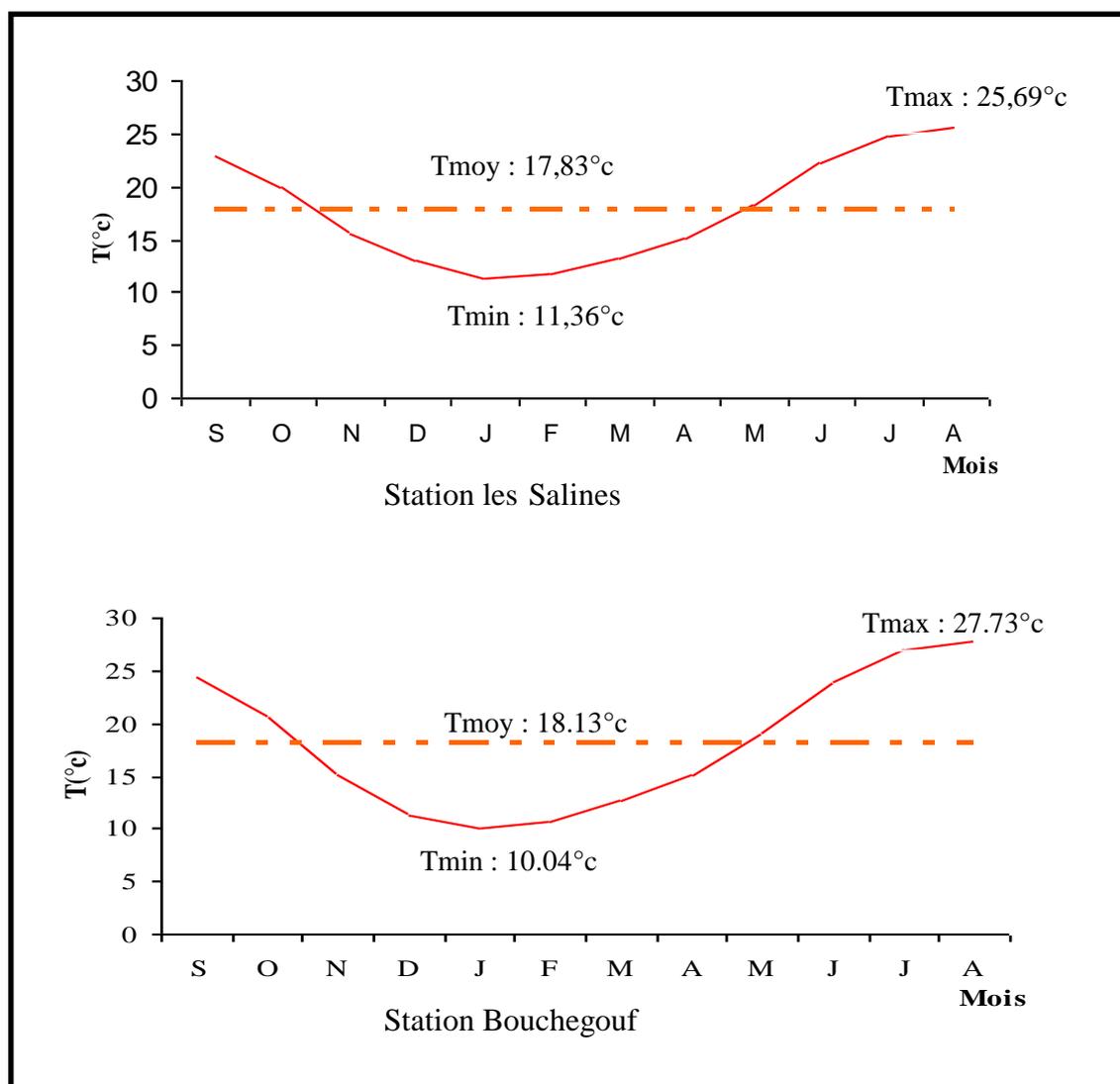
Figure 9 : Variation annuelle des précipitations.

Tableau 4 : 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
Bouchehof	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.

D'après la figure 10 on observe que le maximum des températures est enregistré au mois d'Août pour les deux stations (25.69°C à les Salines et 27.73°C à Bouchehof) et le minimum au mois de Janvier de l'ordre de 11.36°C et 10.04 pour les deux stations.

**Figure 10 :** Variations mensuelles des températures

3.2.1. Diagramme Ombrothermique

Le diagramme montre (figure 11), 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 d'avril et d'une saison sèche qui va du mois de Mai jusqu'au mois de septembre.

3.3. 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 moyenne annuelle étant de 74.74% (Tableau 5).

Tableau 5 : 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

3.4. 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 6).

Tableau 6 : 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

4. 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.

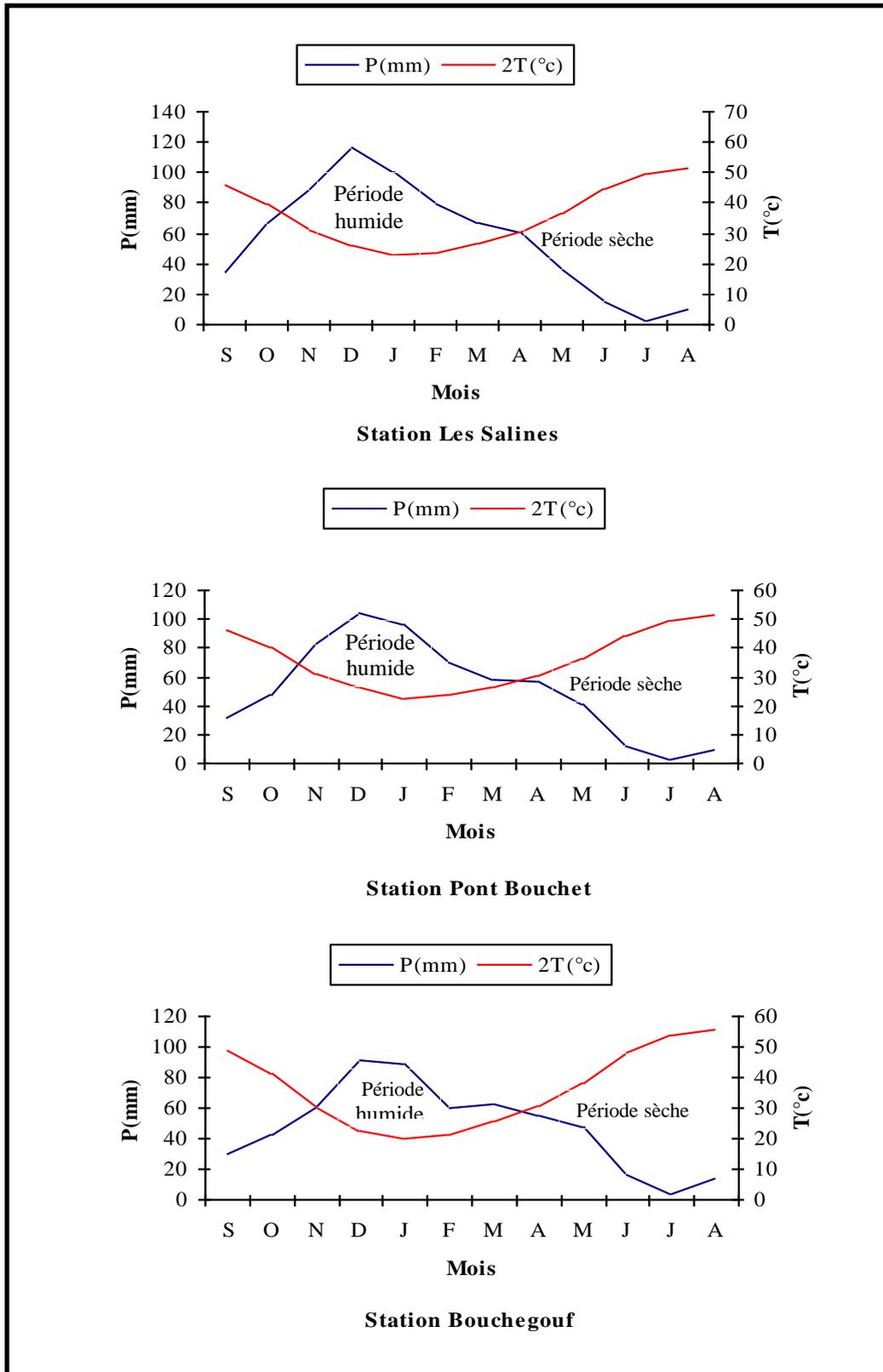


Figure 11 : Diagramme Ombrothermique

4.1. 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)

a) 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 :

$$i = \left[\frac{T}{5} \right]^{1.5} \quad ; \quad I = \sum_1^{12} i \quad ; \quad a = \left(\frac{1.6}{100} \right) I + 0.5$$

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

Avec:

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

T : Température moyenne mensuelle en °C

i : Indice thermique mensuel.

I : Indice thermique annuel.

K : Coefficient d'ajustement.

b) L'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 14, 15, 16).

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 7 : 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 8 : 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 ci-dessous :

Tableau 9 : ETR selon la méthode de Coutagne

Station \ Paramètre	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
Bouchegouf	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 10 : Corrélation des climats

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

4.2. 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 Boucheouf est employée la formule de Tixeront (2).

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

Tableau 11 : 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
Boucheouf	0.571	0.929	0.072

4.3. 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 principales lient les concentrations en chlorures de l'eau de pluie, des eaux souterraines les quantités de pluie. Les principales sont les suivantes :

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

Si le coefficient de ruissellement est faible :

$$I_e / p \times 100 = Cl_p / Cl_n \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

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, et au niveau de Bouchegouf on a utilisé la première équation car le terrain n'est pas plat.

A partir de la concentration de chlorure et des précipitations nous calculons l'infiltration efficace au niveau de cinq puits dispersés dans la région. On a utilisé les précipitations mensuelles enregistrées au mois d'avril pour les trois stations qui rassemblent à chaque puits.

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Estimation de l'infiltration (mm) par SCHOLLER au mois d'avril.

Station / Puits	P1	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 Bouchegouf, Elle devient plus faible dans le reste de la région pour les Salines et Pont Bouchet (Figure 12).

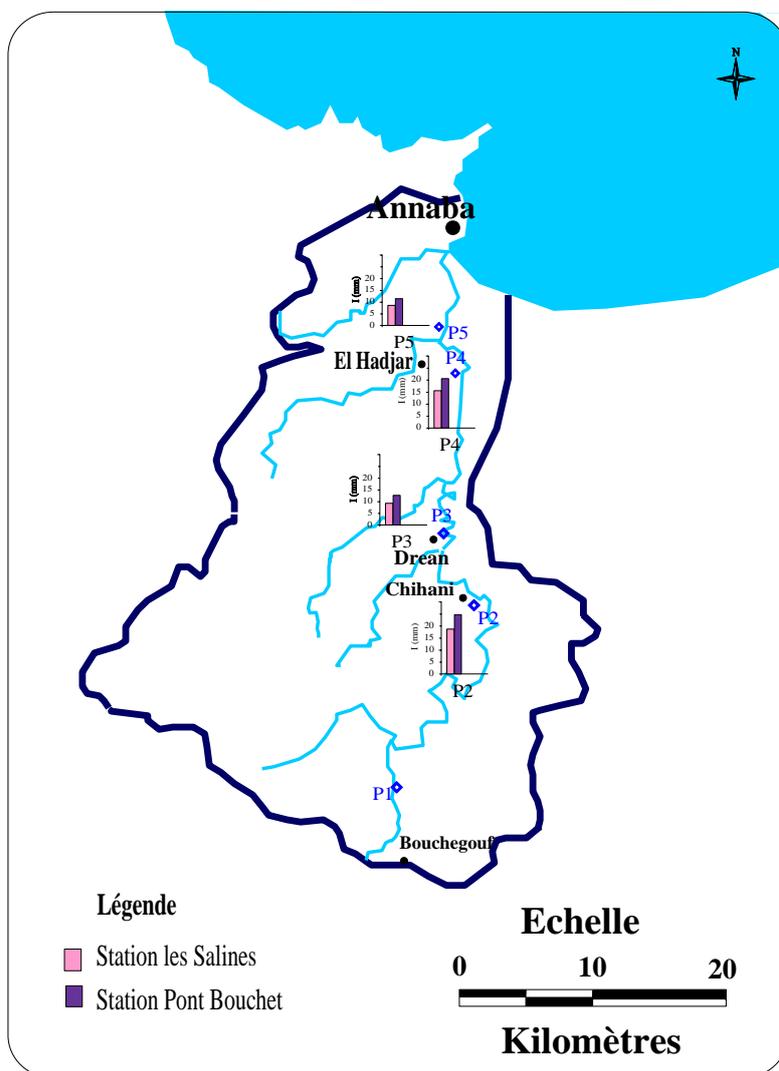


Figure 12 : La représentation de l'infiltration dans la région.

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 13 : 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
Bouchegouf	571.49	437.41	72	62.08

4.4. 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'ETP- ETR. Les résultats de calcul sont consignés dans les tableaux suivants :

Tableau 14 : 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 15 : 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 16 : 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 aide à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrauliques de surface.

Les tableaux 14, 15, 16 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. (Figure 13). 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.

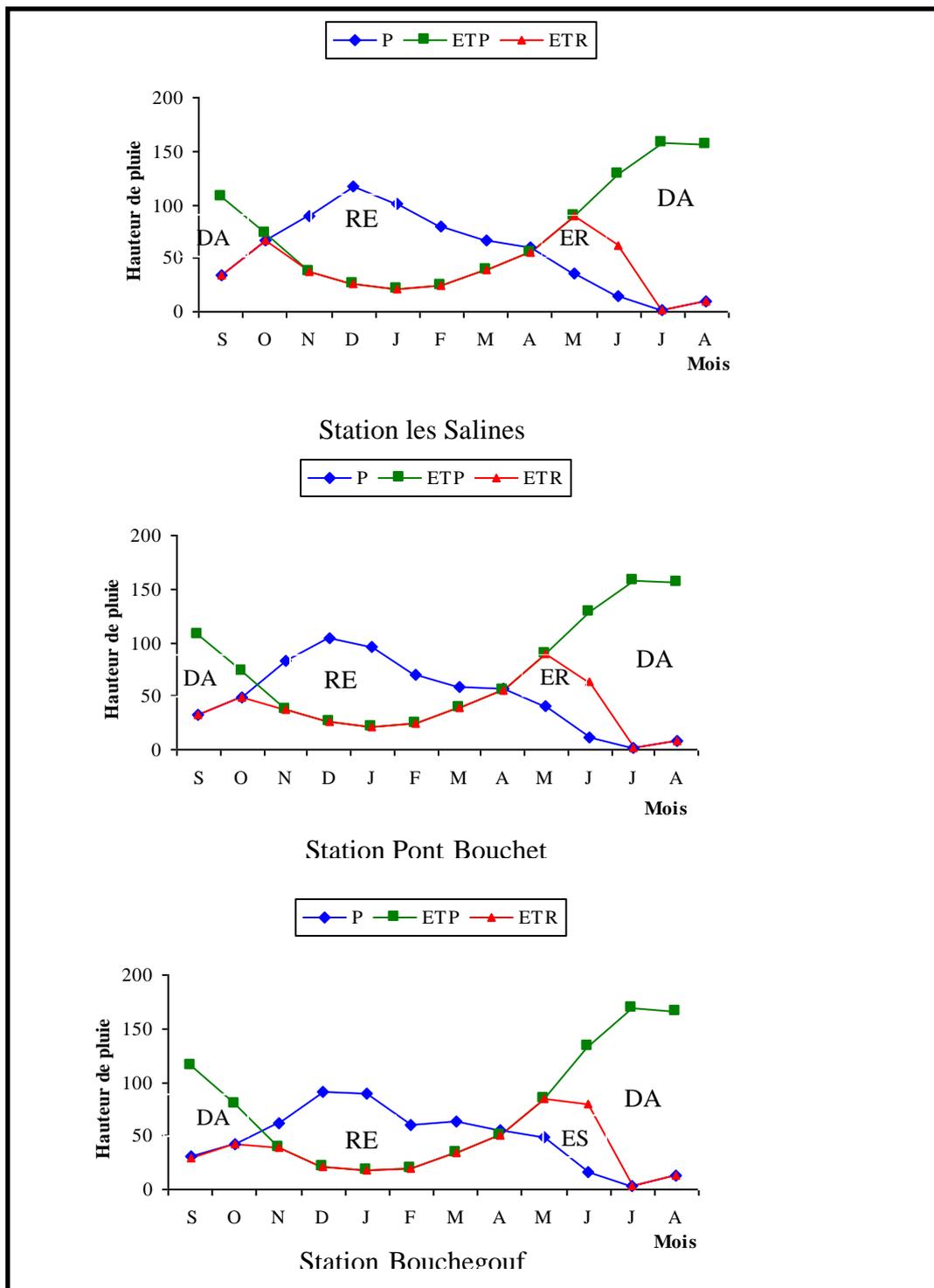


Figure 13 : Représentation graphique du bilan hydrique

$$L_e = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12}$$

III. Conclusion

La région d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de : 673.46 mm (Salines), 625.22 mm (pont Bouchet), 627.45 mm (Ain Berda), 687.77 mm (Berrahal). La température moyenne annuelle de l'ordre de 17.79 °C est enregistrée à la station des Salines. L'étude hydrologique basée sur l'observation des débits des deux affluents de la Seybouse, Mellah et Ressoul, montre des débits relativement faibles au niveau du Ressoul mais importants au niveau du Mellah. Cette évolution se fait de manière irrégulière et se fait en fonction des saisons. Par le biais de ces apports il y a un accroissement de la lame d'eau d'amont en aval.

CHAPITRE IV

LES CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES

I. L'hydrologie

La ressource en eau dépend étroitement des écoulements, si c'est derniers sont très forts, elle peut atteindre des régions très lointaines, sinon elle s'infiltré et alimente les nappes. Les oueds véhiculent les eaux de surface. Ces derniers jouent un rôle prépondérant, ils conditionnent les apports et les exores au niveau des bassins versants, la connaissance de leurs régimes d'écoulements est un facteur déterminant pour la réalisation d'aménagements hydrauliques (barrages, retenues collinaires..) dans la région. La zone étudiée fait partie des zones les plus pluvieuses de l'Algérie, elle est sillonnée par plusieurs Oueds, elle est à cheval sur plusieurs bassins versants mitoyens, ce qui rend difficile la quantification des apports de chaque bassin versant. Par ce travail nous allons essayer de répondre à cette question.

1. Introduction

La région étudiée est traversée par les oueds Kébir Est, Bounamoussa, Seybouse et son affluent principal l'Ouest le Ressoul. Ces oueds proviennent des régions situées en dehors des limites de la zone d'étude. Pour quantifier les apports se faisant par chaque cours d'eau nous nous sommes intéressé aux dépouillements des résultats des jaugeages réalisés. Les stations utilisées sont celles reportées au niveau du tableau suivant :

Tableau 17 : Localisation des différentes stations de jaugeage.

Oued	Station	X	Y	Année
Ressoul	Ain-Berda	938.175	386.950	84 - 95
Seybouse	Mirbek	952.775	392.260	84 -96

Notons que d'autres oueds, de moindre importance, traversent également la zone étudiée, il s'agit :

- L'oued Meboudja qui draine le lac Fetzara.
- L'oued Djefeli et oued Oglat el Feli, affluents de l'oued Seybouse.



Figure 14 : Carte des principaux Oueds dans la région d'Annaba (ANRH)

2. Etude des hydrogrammes

Les mesures effectuées, ont permis la réalisation d'hydrogrammes journaliers, ces derniers permettent de suivre l'évolution des différents écoulements sur les oueds. On remarque une grande variabilité des débits, cette dernière est analogue à celle des précipitations. Ils révèlent que la période d'étiage s'étale du mois de Mai jusqu' au mois d'Octobre, cependant les premières crues se manifestent au mois de Novembre et se poursuivent jusqu'au mois de Mai avec l'apparition de quelques pics de faibles intensités.

3. Lissage des hydrogrammes

Pour réaliser ce lissage, nous avons appliqué la méthode de l'enveloppe des minima mensuels suite aux observations des débits au niveau des stations de jaugeage pour déterminer le pourcentage de l'écoulement souterrain par rapport au module de l'écoulement total pour déterminer la relation nappe- oued, les résultats suivants ont été obtenus :

*** Hydrogramme de l'oued Ressoul à Ain-Berda :**

- Module de l'écoulement total : $2.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- Module de l'écoulement souterrain : $0.103 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- Pourcentage de l'écoulement souterrain : ♦ 4 %.

*** Hydrogramme de l'oued Seybouse à Mirbek :**

- Module de l'écoulement total : $15.25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- Module de l'écoulement souterrain : $4.017 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- Pourcentage de l'écoulement souterrain : ♦ 26.34 %.

Les pourcentages de l'écoulement souterrain par rapport au module total indiquent que la plus forte valeur est enregistrée au niveau de l'Oued Seybouse par contre la plus faible est enregistrée au niveau de l'oued Ressoul. Ces résultats montrent que les étiages des bassins de l'oued Ressoul ne sont pas soutenus par l'écoulement de base des nappes, car le sol est peu perméable.

3.1. Analyse des débits classés et polygones des fréquences

Pour étudier les débits journaliers, nous avons reporté sur les diagrammes des figures 19 les fréquences au dépassement en abscisse et les débits journaliers en ordonnée. Les courbes des débits classés, ainsi obtenues, fournissent les résultats résumés dans le tableau 13 suivant :

Tableau 18 : Caractéristiques des diagrammes des fréquences au dépassement ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Station/ Oued	DCM	DC1	DC3	DC6	DCE	Module	Période
Ain-Berda/ Ressoul	36.0	11.0	1.0	0.4	0.005	2.6	84-94
Mirbek/ Seybouse	150.0	74.5	22.0	15.1	0.09	15.25	84-92

Avec :

DCM : débit caractéristique maximum dépassé pendant 10 jours. an^{-1} ;

DC1 : débit caractéristique moyen dépassé pendant 1 mois. an^{-1} ;

DC3 : débit caractéristique moyen dépassé pendant 3 mois. an^{-1} ;

DC6 : débit caractéristique moyen dépassé pendant 6 mois. an^{-1} ;

Module : Moyenne arithmétique des débits annuels de toute la période considérée.

Ces résultats indiquent que la plus grande quantité d'eau écoulee vers la plaine est acheminée par l'oued Kébir Est avec un module de $17.35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, la Seybouse avec $15.25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et l'oued Ressoul avec $2.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

On remarque que les plus petites fréquences correspondent aux débits compris entre 5 et 10 m³/s à Mirbek, et entre 0 et 5 m³/s à Ain-Berda. Les plus grandes fréquences correspondent, par contre, aux débits compris entre 100 et 150 m³/s à Mirbek.

3.2. Régime des débits mensuels

Les débits les plus élevés s'observent à Mirbek en janvier, février et mars, les plus faibles débits sont enregistrés aux stations de Ain-Berda et Ain Assel aux mois juillet, août et septembre pour la première et particulièrement aux mois de juillet et août pour le seconde. Tableau suivant :

Tableau 19 : Débits interannuels moyens en m³.s⁻¹.

	Période	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Qmoy.
1	1984/95	0	0.27	1.47	5.14	6.67	7.88	9.55	3.31	1.36	0.6	0.09	0	3.09
2	1984/96	1.75	5.43	7.42	26.41	32.91	32.4	29.43	24.87	11.48	2.68	1.68	4.09	15.04

Avec :

1 : Ressoul à Ain-Berda

2 : Seybouse à Mirbek

Qmoy : débit moyen en m³.s⁻¹.

Pour l'ensemble des stations, l'excédent à la moyenne caractérisent la période allant du mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril. Par ailleurs le déficit s'étale du mois de Mai au mois de Novembre.

3.3. Ajustement des débits annuels à la loi normale

Pour réaliser ce travail nous avons utilisé la loi de Gauss. L'ajustement statistique a porté sur les débits moyens interannuels pour chaque station hydrométrique, ceci sur des épisodes plus au moins longues. Les résultats obtenus (Tableau 20).

Les débits enregistrés aux stations de Mirbek (oued Seybouse) et de Ain-Berda (oued Ressoul) s'ajustent moyennement à la loi de Henry en raison d'une série très réduite (15 à 17 ans) et d'une très forte hétérogénéité des débits.

Tableau 20 : Paramètres d'ajustement à la loi de Gauss.

Station/Période	Moyenne (m ³ .s ⁻¹)	Ecart-type	Coefficient de
Mirbek (1984/96)	15.04	14.14	0.94
Ain-Berda (1984/95)	3.14	4.93	1.57

- Etude de l'écoulement Moyen Annuel

L'étude de l'écoulement moyen annuel permet de connaître le volume d'eau écoulé pendant une année au niveau d'un bassin, permettant ainsi la comparaison des apports de différents bassins et de les classer suivant leurs capacités d'approvisionnement en eau superficielle. Pour réaliser notre travail nous utiliserons les débits moyens journaliers de quatre stations appartenant au bassin versant de l'Oued Seybouse. Les séries disponibles varient d'une station à une autre et ne couvrent pas toujours la même période. Le tableau suivant condense les données disponibles pour chaque station :

Tableau 21 : Séries hydrométriques disponibles

Stations	années d'observation	Période d'observation
Ain El Berda	14	85-98
Medjez Amar	26	68-93
Moulin Rochefort	23	71-93
Mirebek	27	68-94

Le tableau montre que le nombre d'années d'observation diffère d'une station à l'autre. On note pour Mirebek (27 ans), Medjez Amar II (26 ans), Moulin Rochefort (23 ans) et Ain El Berda (14 ans).

- Débit annuel moyen brut

Nous avons calculé sur une période commune (1985-1993) à toutes les stations, le débit moyen annuel, ce qui nous permet de faire des comparaisons entre les différents bassins. Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 22 : Débits moyens annuels des bassins versants étudiés « 1985-1993 »

Station	Module brut (m ³ ls)
Moulin Rochefort	0,49
Medjez Amar	1,83
Ain El Berda	0,4
Mirebek	9,49

Les résultats obtenus montrent que par l'Oued Seybouse transite le débit le plus important, il est de $9,49 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station de Mirebek, pour une aire de réception de 6071 km^2 .

Pour le bassin de la Seybouse, les débits augmentent de l'amont à l'aval.

- Débit moyen annuel spécifique

Il permet de comparer des bassins ou des sous bassins entre eux, il est exprimé en $1/\text{s}/\text{km}^2$, le module spécifique est le débit moyen annuel par unité de surface. Le tableau suivant donne les valeurs des modules annuels spécifiques au niveau des bassins étudiés.

Tableau 23 : Débits moyens annuels spécifiques des bassins versants étudiés Algériens
« 1985-1993 »

Station	Module spécifique ($1/\text{s}/\text{km}^2$)
Moulin Rochefort	0,29
Medjez Amar II	1,65
Ain El Berda	3,88
Mirebek	1,56

Les valeurs des modules spécifiques montrent que l'écoulement devient plus important en allant vers le Nord.

A l'extrême Nord-Ouest de la Seybouse, se situe le petit sous bassin de oued Ressoul qui écoule un débit spécifique de $3,88 \text{ l/s}/\text{km}^2$, dans un endroit caractérisé par un régime pluviométrique important et une lithologie qui varie entre des formations perméables et d'autres imperméables.

Et enfin, le débit spécifique enregistrée à la station de Mirebek est de $1,56 \text{ l/s}/\text{km}^2$, cette valeur relatif au bassin de la Seybouse constitue une moyenne des modules spécifiques de ses sous bassins. Elle est moins importante que celles des

- Bilan moyen annuel de l'écoulement

Le bilan moyen annuel est basé sur l'étude et la comparaison des volumes d'eau précipitées et des volumes écoulés au niveau du bassin versant considéré. Durant la période considérée de 1985 à 1993, ce qui nous permettra d'établir un rapport entre les précipitations et les débits.

Tableau 24 : Bilans moyens annuels dans les sous bassins versants étudiés

	Sous Bassin	Station de jaugeage	S (km ²)	P (mm)	E (mm)	D (mm)	C (%)	q (l/s/km ²)	Q (m ³ /s)
Sous Bassins	Ressoul	Ain El Berda	103	572,87	122,36	450,51	21,36	3,88	0,4
	Seybouse	Mirbek	6071	540,13	49,2	490,93	9,11	1,56	9,49

Avec :

S : surface du bassin versant

P : hauteur de la lame d'eau moyenne annuelle précipitée.

E : hauteur de la lame d'eau moyenne annuelle écoulée.

D : le déficit moyen annuel de l'écoulement « $D = P - E$ ».

C : coefficient moyen annuel de l'écoulement « $P \cdot 100$ »

q : débit moyen spécifique

Q : débit moyen brut.

Les coefficients de l'écoulement obtenus sont liés à la lithologie ; c'est-à-dire à la nature de la couche superficielle du terrain. Cette dernière peut favoriser l'infiltration quand la lame d'eau écoulée et le coefficient d'écoulement sont faibles. Dans le cas contraire, le substratum est imperméable, l'écoulement sera plus fort et par conséquent le ruissellement sera élevé.

Nous remarquons une augmentation des coefficients de ruissellement du Sud vers le Nord, indiquant ainsi la présence de deux régimes d'écoulement différents. Celui du Sud se caractérise par un écoulement relativement fort à cause du terrain imperméable qui couvre des superficies très importantes et une pente relativement forte qui du au relief de la région Sud du bassin.

Au Nord, le ruissellement est beaucoup plus faible et une partie plus importante des eaux précipitées s'infiltrent pour alimenter les réserves souterraines à cause de la pente faible qui donne naissance à la plaine de Annaba.

Le bassin de la Seybouse présente une valeur moyenne du coefficient d'écoulement de 9% au niveau de la station de Mirebek.

Au Nord, au niveau des sous bassins de l'Oued Ressoul, l'écoulement atteint son maximum, 21%. Dans ce sous bassin, affleurent le calcaire marneux, les calcaires, les argiles et les alluvions.

3.4. Variation Inter Mensuelle de l'Écoulement

- Rapport des modules extrêmes (coefficient d'irrégularité)

Le coefficient d'irrégularité est donné par le rapport du débit annuel maximal et minimal observés pendant une période donnée. Pour la période comprise entre 1985 et 1993, les valeurs de ce coefficient varient d'un bassin à un autre « voir tableau 25 ». Le sous bassin de oued Ressoul, les coefficients sont plus élevés de 17.8 et 18.9. La Seybouse à la station de Mirebek présente une valeur de 12,4, c'est une valeur moyenne qui met en évidence la variation de l'écoulement dans tous les sous bassins de la Seybouse.

Tableau 25 : Coefficients d'irrégularité « 1985-1993 »

Station	Qmax	Qmin	Qmoy	R
Moulin Rochefort	0,6709	0,2672	0,4883	2,5109
Medjez Amar II	25,3912	2,0469	9,4949	12,4047
Ain El Berda	1,2651	0,0667	0,4015	18,9670
Mirebek	25,3912	2,0469	9,4949	12,4047

-Variation interannuelle de l'écoulement

Pour mettre en évidence les variations interannuelles des débits aux stations étudiées, nous avons réalisés les graphiques suivants pour chaque station et pour différentes périodes.

Les épisodes déficitaires sont plus importants. On assiste à un changement au cours de la période allant de 1996 à 1998. On ne peut pas pousser plus loin notre investigation car nous ne disposons pas de données.

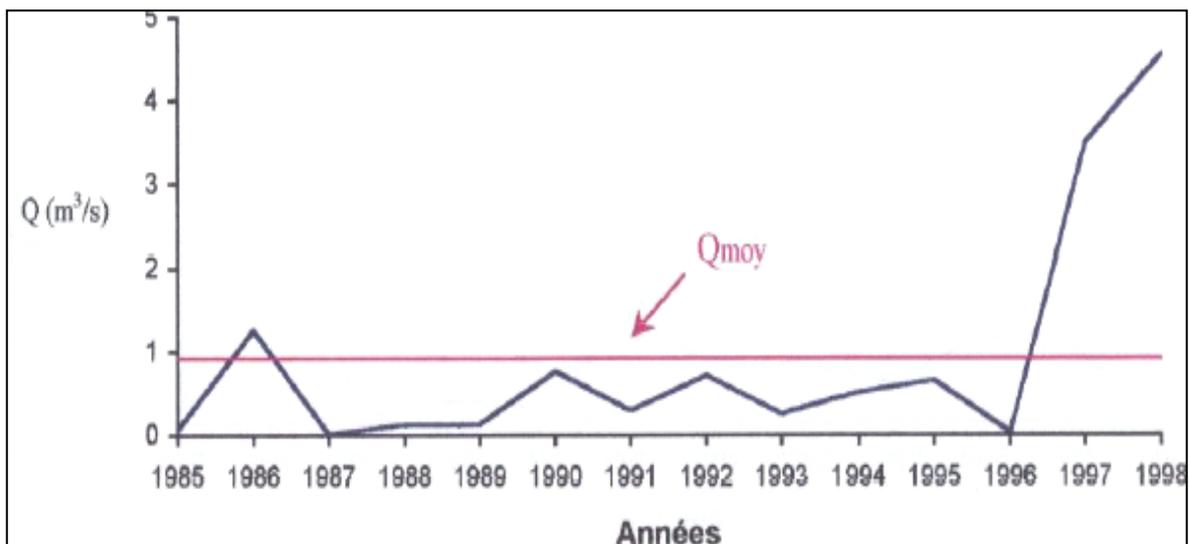


Figure 15 : Variation Interannuelle de l'écoulement à la station de Ain El Berda «1985/1998 ».

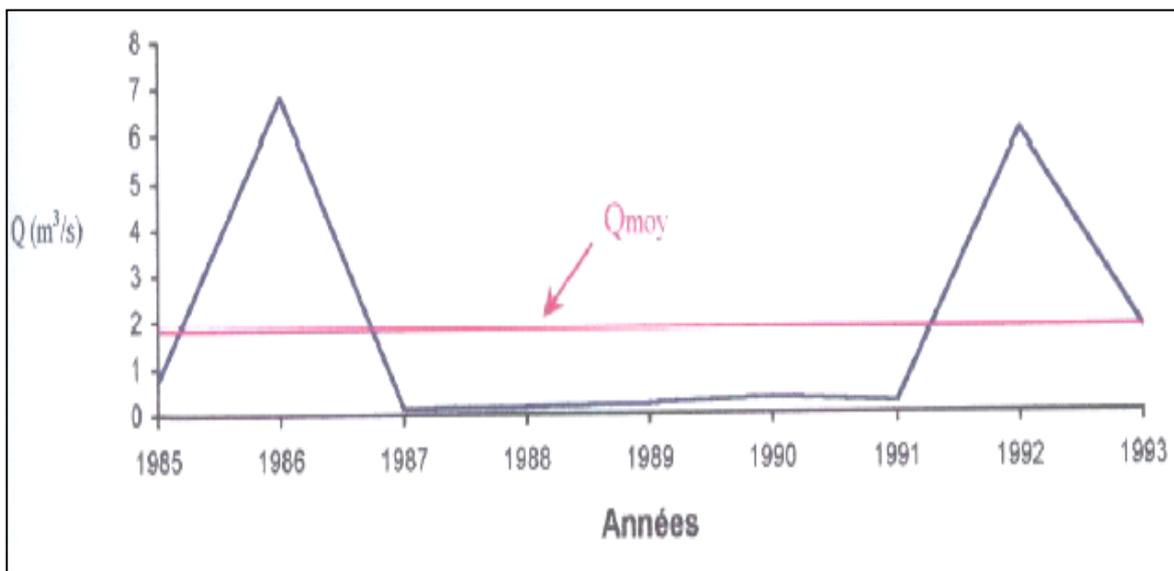


Figure 16 : Variation Interannuelle de l'écoulement à la station de Mirbek « 1984/1993 ».

Au niveau de l'Oued Seybouse les nappes sont présents surtout au niveau de la basse vallée, ce qui génère une infiltration se traduisant par une baisse de débit. La réalisation du barrage du Bouhamdène cause aussi une perte en eau pour le bassin versant.

4. Etude statistiques des débits moyens annuels

4.1. Statistiques élémentaires

Les résultats obtenus concernant les paramètres suivants : la moyenne, les écart-types et les coefficients de variations des séries des débits moyens annuels enregistrés aux stations hydrométriques étudiées au cours des périodes différentes.

Tableau 26 : Valeurs caractéristiques des séries des débits moyens annuels

station	Période	Q _{moy}	δ_q	C _v (%)
Moulin	1971-1993	0,919	1,3783	149,98
Medjez Amar	1985-1993	3,5111	4,1429	117,99
Ain El Berda	1985-1998	2,9959	2,2591	75,41
Mirebek	1984-1993	1,0164	0,8055	79,25

Les valeurs des coefficients de variation confirme la forte variation des débits annuels autour de la moyenne, décrite précédemment.

- Estimation des débits fréquents

L'estimation des débits relatifs à des durées de retour différentes nécessite l'application d'une loi de probabilité théorique. Cette loi ne peut être utilisée qu'après son ajustement à la série étudiée.

4.2. Ajustement des séries des débits annuels par les lois de Gauss et de Galton

a) Calcul des débits moyens annuels fréquents

L'estimation des débits en années sèches et humides relatifs à des durées de retour de 5, 10, 20, 50 et 100 ans sont donnés dans les tableaux 27 et 28 :

Tableau 27. Débits moyens annuels fréquents en années sèches.

stations	Durées de retour « années »				
	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Ain El Berda	0,06	0,03	0,01	0,01	0,00
Moulin Rochefort	0,28	0,18	,12	0,08	0,06
Medjez Amar II	0,18	0,09	0,05	0,03	0,02
Mirebek	5,36	4,44	3,81	3,20	2,85

La durée de retour des années complètement sèches varie d'un bassin à un autre. Elle est de 100 ans au niveau de l'oued Ressoul. Pour les autres sous bassins, les années caractérisées par un débit nul, ne se produisent pas pour des durées de retour qui ne dépassent pas 100 ans ; à cause du ruissellement important qui se résulte de la lithologie et la pente remarquablement forte.

Tableau 28. Débits moyens annuels fréquentiels en années humides.

stations	Durées de retour « années »				
	5	10	20	50	100
Ain El Berda	1,41	3,21	6,31	13,50	22,44
Moulin Rochefort	56	2,43	3,51	5,32	7,00
Medjez Amar II	2,35	4,62	8,08	15,17	23,05
Mirebek	10,98	13,25	15,46	18,40	20,67

Au Sud, le sous bassin du Charef amont contrôlé par la station de Moulin Rochefort écoule un débit 7 fois plus grand que le débit moyen une fois tout les 20 ans, t pour 100 ans, il est 14 fois plus faible.

b) Variation mensuelle de la lame d'eau écoulée

Pour mettre en évidence les variations de la lame d'eau écoulée en fonction de la lame d'eau précipitée, nous avons des graphiques mensuels caractérisant cette variation.

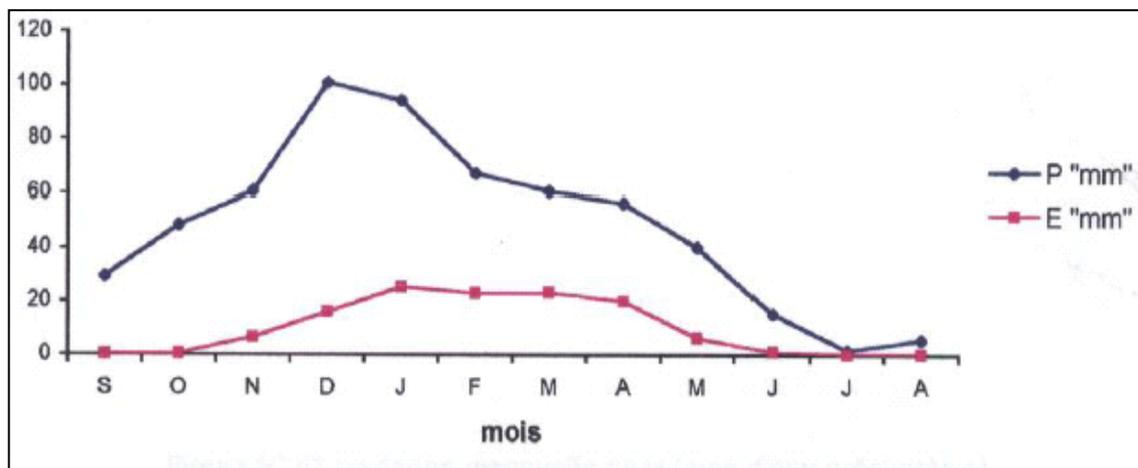


Figure 17 : Variation mensuelle de la lame d'eau écoulée et p des précipitations dans le sous bassin de l'Oued Ressoul « 1985/1996 »

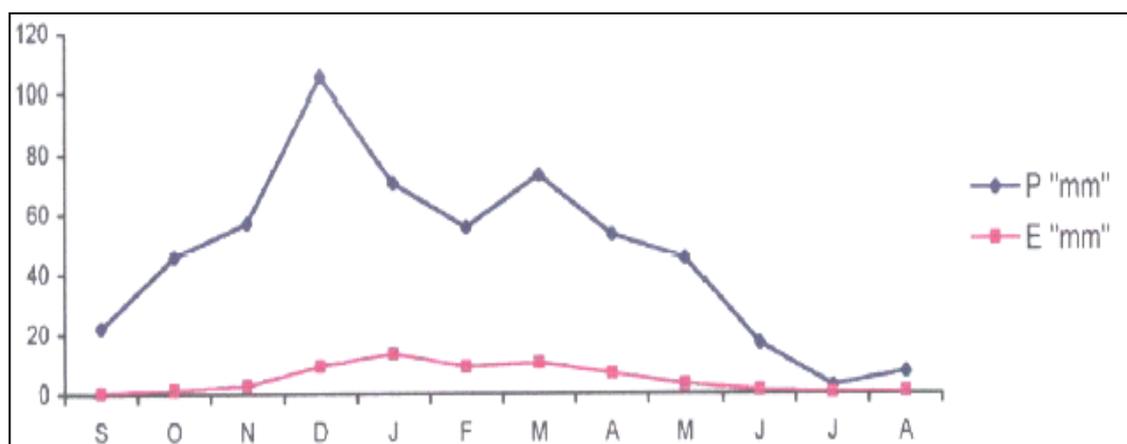


Figure 18 : Variation mensuelle de la lame d'eau écoulee et des précipitations dans le bassin versant de l'Oued Seybouse « 1984/1993 »

L'observation des graphes, montre une évolution identique entre les précipitations et la lame d'eau écoulee. Les pluies et les débits des Oueds amorcent une augmentation à partir du mois de septembre, cependant cette augmentation devient significative à partir du mois de Décembre. L'écoulement accuse un léger retard par rapport aux précipitations.

L'écart observable entre la lame d'eau écoulee minimale et maximale observées pendant l'année hydrologique reste fortement influencé par la nature du substratum. Cet écart est d'environ 60 mm dans le bassin de oued Kébir Est, formé par les grés légèrement perméables, confirmant ainsi l'absence de nappe d'eau importante le long de l'Oued.

c) Variation interannuelle des débits moyens mensuels

Ces variations peuvent être étudiées en calculant les rapports des débits extrêmes « $R = Q_{max} / Q_{min}$ » relatifs aux 12 mois de l'année pendant la période commune de 9 ans de 1985 à 1993, le rapport ainsi calculé permet connaître la variation interannuelle des débits moyens mensuels.

Le tableau N°29 montre que les rapports d'irrégularité sont plus importants à l'échelle mensuelle qu'à l'échelle annuelle et ils changent d'un mois un autre. Ces valeurs atteignent le maximum pendant l'été et au début de l'automne et diminuent avec l'arrivée de la saison humide. Pendant les hautes eaux, l'écoulement devient relativement régulier, il est irrégulier lors des basses eaux. Ce constat a été déjà fait lors de l'étude des précipitations. L'irrégularité de l'écoulement pendant la saison sèche peut être expliquée par le fait que le ruissellement superficiel est alimenté par les eaux des précipitations qui sont

4.3. Répartition mensuelle et saisonnière de la lame d'eau écoulée

La lame d'eau tombée sur l'ensemble des bassins versants étudiés est répartie sur les 12 mois de l'année. Cette répartition diffère d'un bassin à un autre. La différence est généralement liée à la nature du substratum. Le tableau suivant donne les lames d'eaux moyennes écoulées, elle est exprimée en pourcentage (%), par rapport à la lame d'eau moyenne annuelle. Ceci pour chaque station considérée sur une période de 9 ans.

Tableau 29 : Les pourcentages des lames d'eau moyennes mensuelles écoulées dans les bassins versants du Nord-Est algérien « 1985-1993 ».

Station / mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moulin Rochefort	4,73	6,67	5,68	12,85	12,61	14,40	9,01	10,34	9,09	4,36	2,16	8,10
	17,1			39,9			28,4			14,6		
Medjez Amar II	0,91	1,26	3,28	18,38	25,97	25,34	9,84	9,96	1,88	0,97	10,86	
	5,44			69,7			21,7			3,19		
Ain El Berda	0,10	0,35	7,03	16,55	16,04	19,72	17,51	17,68	4,02	0,77	0,15	0,08
	7,47			52,3			39,2			1		
Mirebek	0,78	2,74	6,30	13,04	19,31	17,70	15,62	13,71	6,23	1,99	0,92	1,65
	9,82			50,1			35,6			4,56		

Le tableau précédent montre qu'environ 50 % du total des eaux ruisselées pendant l'année hydrologique s'écoulent en hiver car l'écoulement superficiel est principalement alimenté par les eaux des précipitations abondantes durant cette saison. De 30 à 40 % de ces eaux ruissellent pendant le printemps et le reste c'est-à-dire environ 10 à 20 % est partagé entre l'été et l'automne. Pour mieux visualiser les variations saisonnières de l'écoulement, les schémas suivants ont été tracés.

Les présents schémas montrent que pour le bassin de oued Cherf amont, l'écoulement est relativement important en été, il est d'environ 15 % de lame d'eau annuelle. Ce ci est dû probablement à une alimentation du cours d'eau pendant la saison sèche par les eaux souterraines.

L'oued Bouhamdène est caractérisé par un écoulement pendant de l'ordre de 3.2% en l'été. Le bassin de l'oued Seybouse à Mirebek présente un pourcentage moyen de 4,6 %.

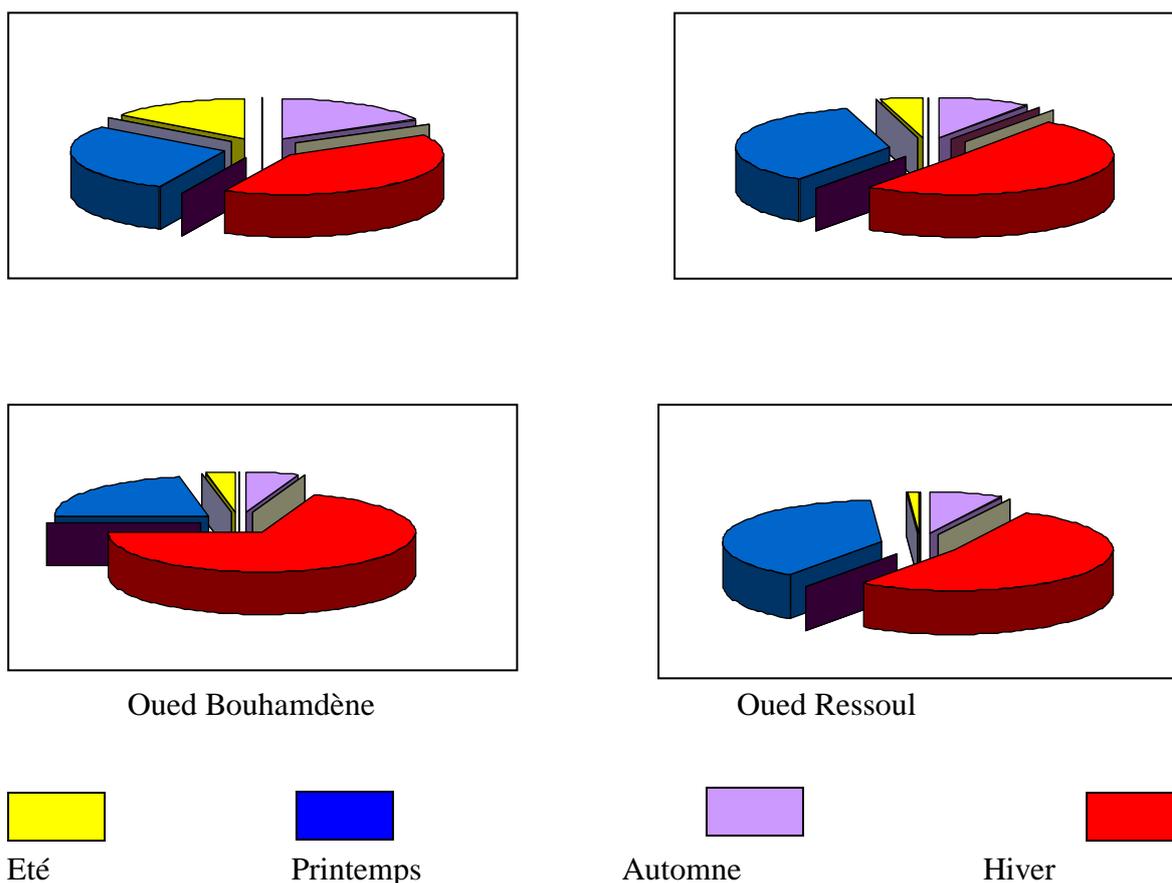


Figure 19 : Répartition saisonnière de la lame d'eau moyenne écoulée sur les bassins versants étudiés.

5. Conclusion

L'écoulement dans le Nord-Est algérien diffère d'un bassin à un autre suivant les caractéristiques physiques et selon leur situation géographique qui a une influence directe sur le climat. Le débit maximal, minimal, moyen, spécifique, la pluviométrie, la lame d'eau écoulée et le coefficient d'écoulement ainsi que les pourcentages saisonniers des lames d'eau écoulées relatifs à chaque bassin sont confirmées par l'analyse des données observées pour chaque station.

II. L'hydrogéologie

L'étude hydrogéologique de la zone étudiée est caractérisée par la présence de plusieurs niveaux aquifères, ce qui nécessite une étude hydrogéologique détaillée car débouchant sur l'estimation des paramètres hydrodynamiques selon le contexte du niveau aquifère.

1. Introduction

La connaissance de l'hydrogéologie de la région est très intéressante, car elle permet d'envisager les processus d'alimentation des aquifères, la détermination du sens d'écoulement et les relations existantes nappe-lac-oueds. En se basant sur les travaux déjà effectués. On distingue un ensemble de nappes se répartissant de manière hétérogène au niveau de la région de Annaba.

2. Définition des aquifères

Le centre de la plaine se caractérise par la superposition de deux nappes l'une libre et l'autre captive et est libre dans sa partie Sud (Dréan). Sur les bordures latérales de la plaine on note la présence d'autres nappes dont l'extension reste faible. Le schéma général du système fait ressortir les aquifères suivants (figure 20) :

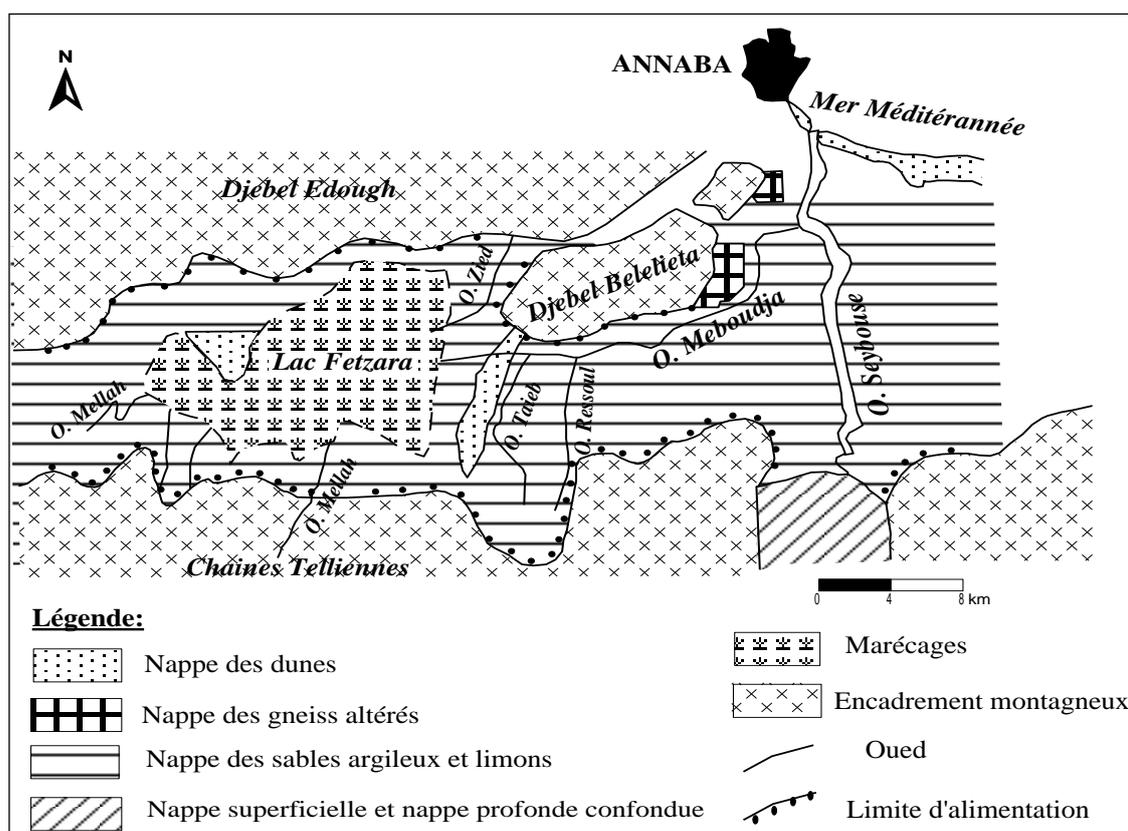


Figure 20 : Les nappes présentes au niveau de la plaine de Annaba (in Habes, 2006).

3. Description des différents aquifères

3.1. Les nappes superficielles

3.1.1. La nappe des gneiss altérés

Elle se localise au Nord-Est du lac Fetzara, sur le flanc Est des massifs métamorphiques de Bouhamra et de Belelieta (figure 20). La nappe est alimentée par les eaux de pluie, son épaisseur est de 15 m. elle est exploitée par des puits et des forages. La perméabilité varie entre 10^{-6} et 10^{-5} m/s.

3.1.2. La nappe superficielle de la plaine

Cette nappe est répandue sur la majorité de la plaine d'Annaba (figure 20). D'après la géomorphologie de la région, on peut diviser la nappe en deux régions communiquent entre elles à travers le cordon dunaire (Guantra), dont la texture différente (sables).

- La région Est présente une nappe superficielle continue localisée dans la plaine Ouest d'El Hadjar ainsi que dans la région d'Allélick.

- La région Ouest est une nappe superficielle discontinue qui entoure le lac Fetzara. La lithologie de la nappe entourant le lac est constituée par des alluvions récentes (sables, limons, argiles) avec une texture argilo-sableuse et argilo-limoneuse, son épaisseur varie entre 2 et 10 m, donc à potentialités hydrauliques très limitées. La capacité d'infiltration de l'eau dans le sol est moyenne d'ordre de 0.05 à 0.10 m/j. la nappe superficielle est fortement exploitée par les puits surtout et quelques forages. L'alimentation de cette nappe se fait par les précipitations et par les crues des oueds (in Belhamra A, 2001, Zenati N. 1999).

3.2. Les nappes profondes

Au nombre de deux et sont d'inégales extensions. Nous distinguons :

3.2.1. La nappe des cipolins (formations métamorphiques)

Elle est contenue dans les lentilles des calcaires métamorphiques fissurés des massifs de Bouhamra et Belleilita, profonde de 12 à 80 m. Les débits d'exploitation des forages sont de l'ordre de 15 l/s et les transmissivités varient entre $5 \cdot 10^{-5}$ et 10^{-3} m²/s (in Derradji et al, 2005).

3.2.2. La nappe des graviers

Cette nappe est tantôt libre tantôt captive (figure 21), elle est captive dans la région de Annaba, au-dessous de la nappe superficielle. Elle devient libre dans la région de Dréan. Elle est contenue dans les graviers dans sa partie captive, par contre elle constituée de sables et de galets du Plio-Quaternaires dans sa partie libre.

La transmissivité est de $3.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Le coefficient d'emmagasinement (S) calculé au niveau de cette nappe est parfois très faible de l'ordre de 10^{-4} . L'épaisseur de la nappe ne dépasse pas les 70 m.

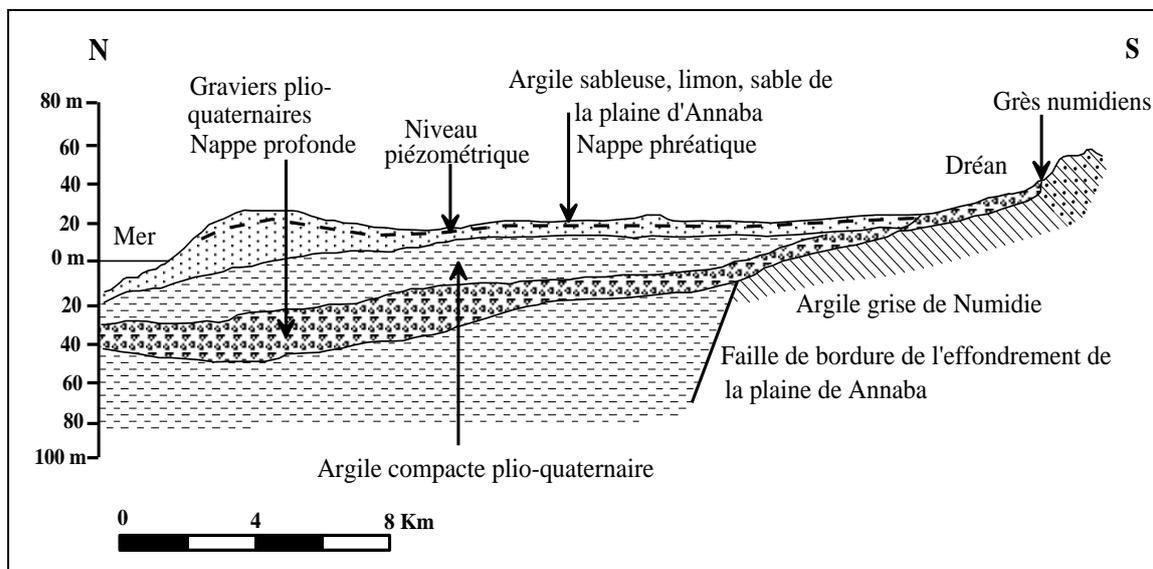


Figure 21 : Coupe schématique du système aquifère d'Annaba (in Hani 2003).

4. Caractéristiques des aquifères

L'étude de la relation lac nappe par le biais de la piézométrie a fait l'objet de plusieurs études, ces dernières ont été réalisées par des étudiants du département de géologie. La première remonte à 1993 et a été élaboré par deux étudiants (Rouabihia et Nouar) qui se sont attelé à la mise en évidence de liens entre la piézométrie et la salinité des eaux. Zenati N, dans son travail de magister réalisé entre 1997 et 1999, a utilisé dans son travail les indications fournies par la piézométrie et l'hydrochimie pour mettre en évidence la relation nappe lac. Cette étude s'est poursuivie, et d'autres auteurs tel que, Belhamra A, Debieche TH, Habes S et Zahi F, se sont tous intéressés au problème de salinité et ses origines, ces dernières peuvent être naturelles ou anthropiques.

La cartographie piézométrique reste incontournable pour la mise en évidence, des relations pouvant exister entre les différentes zones du système étudié.

***caractéristiques piézométriques de la nappe entourant le lac**

De ce fait l'entame de cette partie se fera par la reprise en considération des différents des états piézométriques élaboré a différentes périodes.

4.1. Etat piézométrique de 1993 (Rouabhia et Nouar)

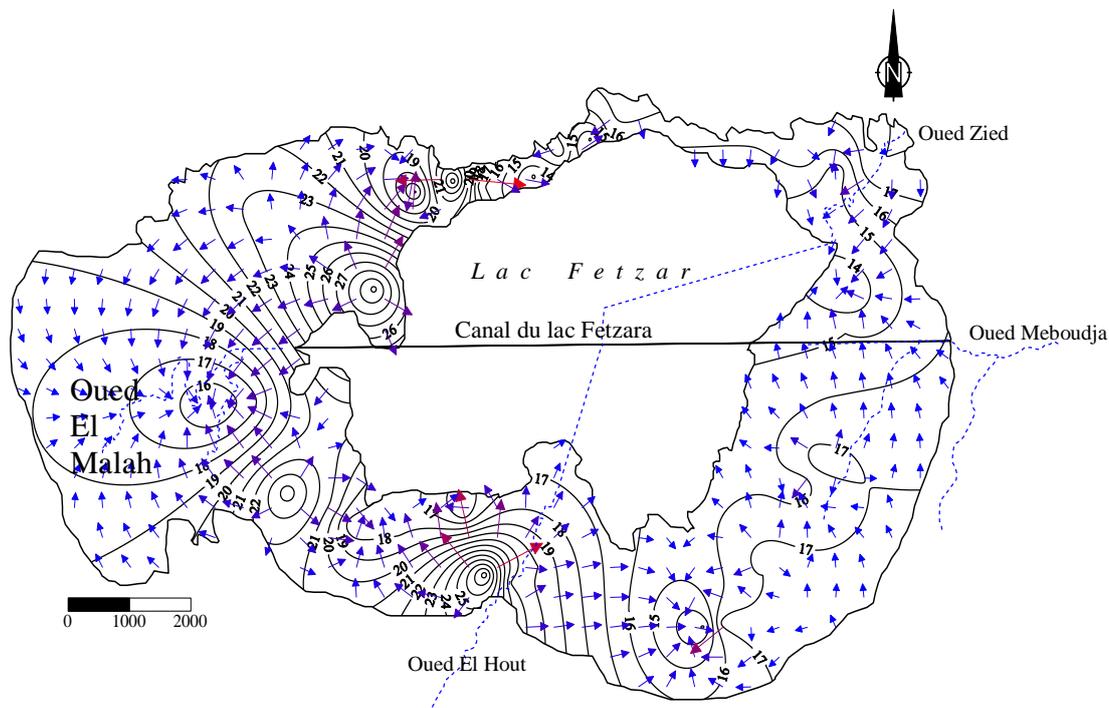


Figure 22 : Carte piézométrique de l'aquifère antérieur le Lac fedzara. Juin 1993

La carte piézométrique réalisée, montre deux sens majeurs des écoulements :

- le premier se faisant de la nappe vers le lac, cette situation se retrouve dans deux zones, la première caractérisant la partie Nord Ouest et la seconde la zone Sud. Au niveau de ces parties on note une alimentation franche du lac par les eaux souterraines.
- Le deuxième type d'écoulement met en évidence l'influence des pompages sur la piézométrie, on effecte on note la présence d'un cône de dépression piézométrique indiquant un pompage.

4.2. Etat piézométrique de 1998 (Zenati)

- La carte élaborée par N.ZENATI, fait apparaître deux sens d'écoulement (figure 23):
- le premier est orienté vers le lac et met en évidence une alimentation du lac par la nappe.
- le second est orienté vers l'oued Meboudja et met en évidence la relation lac-oued-nappe. Les eaux sortant du lac (très minéralisées) par le biais de l'oued Meboudja (canal de vidange du lac) vont alimenter la nappe, entraînant probablement une modification de la composition chimique des eaux.

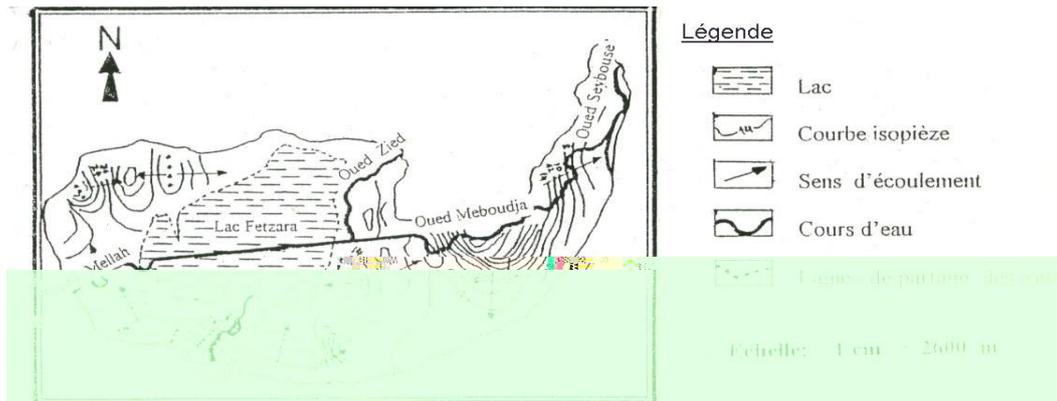


Figure 23 : Carte piézométrique de la nappe d'accompagnement du lac Fetzara
(In Zenati 1998).

4.3. Etat piézométrique de 2006 et 2007 (Zahi)

*Carte piézométrique du mois de Décembre 2006

L'allure générale des courbes isopièzes montre que l'écoulement suit parfaitement la topographie de la plaine, il se caractérise par des lignes de courant dirigées vers le lac Fetzara (figure 24) dans sa partie centrale, par contre au niveau de la zone Est l'écoulement est dirigé vers l'Oued Meboudja. Les courbes isopièzes sont serrées au niveau des bordures Nord et au Nord-ouest du lac, ce qui traduit un fort gradient hydraulique de l'ordre de $0.66 \cdot 10^{-2}$, à l'approche du lac l'espacement des courbes devient important, ce qui signifie une baisse du gradient, à ce niveau il est de $0.25 \cdot 10^{-2}$. Ce changement dans la vitesse d'écoulement traduit un changement de la perméabilité, cette dernière faible au début devient importante caractérisant ainsi un changement de faciès. Au niveau des zones Sud et Sud-est, on observe une répartition inverse par rapport à la précédente, les courbes espacées sur les bordures traduisant un faible gradient $0.042 \cdot 10^{-2}$, se resserrent avant de s'espacer à nouveau à proximité du lac, cette situation est générée par la variation de la perméabilité, confirmée par la présence des sols hydromorphes à texture très fine.

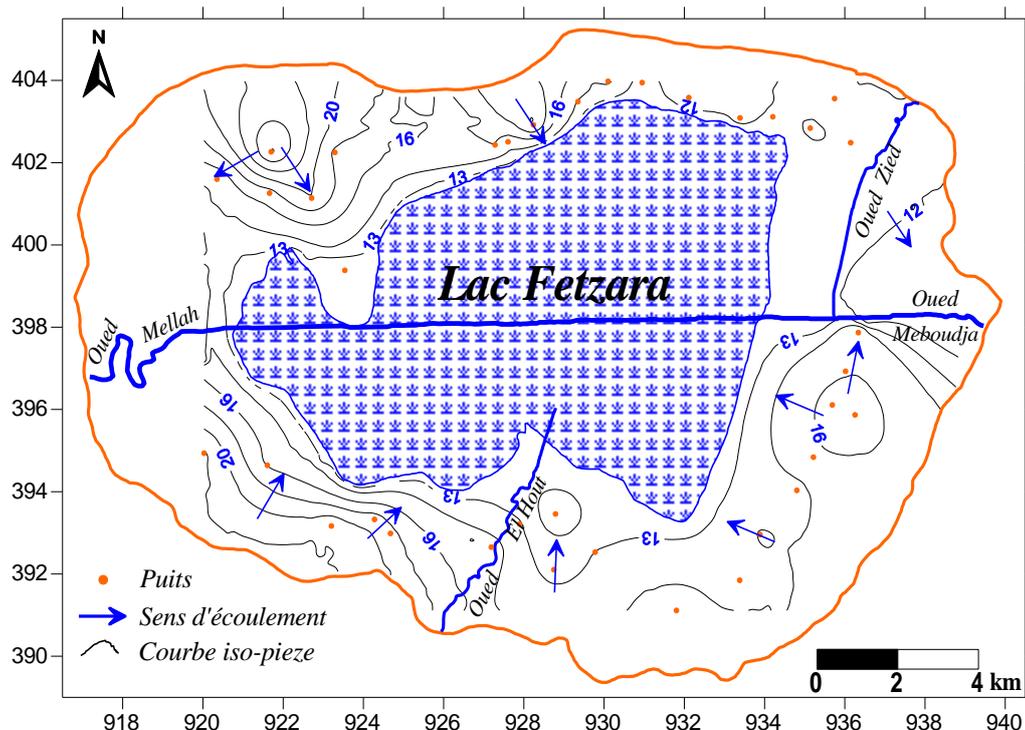


Figure 24 : Carte piézométrique de la nappe d'accompagnement du lac Fedzara (Décembre 2006).

4.5. Carte piézométrique du mois de Mai 2007

L'allure de la carte reste la même que la précédente, l'écoulement reste convergent vers le lac dans ses parties nord et sud (figure 25). Le gradient hydraulique est toujours élevé au piémont de l'Edough avec une valeur d'ordre de $0.83 \cdot 10^{-2}$, mais en allant vers le lac, l'espacement des courbes isopièses devient important et se traduit par un gradient de l'ordre de $0.25 \cdot 10^{-2}$. Il est de 10^{-3} au Sud, et de $0.47 \cdot 10^{-2}$ au Sud-est du lac Fedzara (El Eulma), cette variation du gradient est lié à la topographie et à la perméabilité des terrains traversés. La région Ouest reste une zone d'accumulation des eaux, caractérisée par une évolution irrégulière du gradient hydraulique.

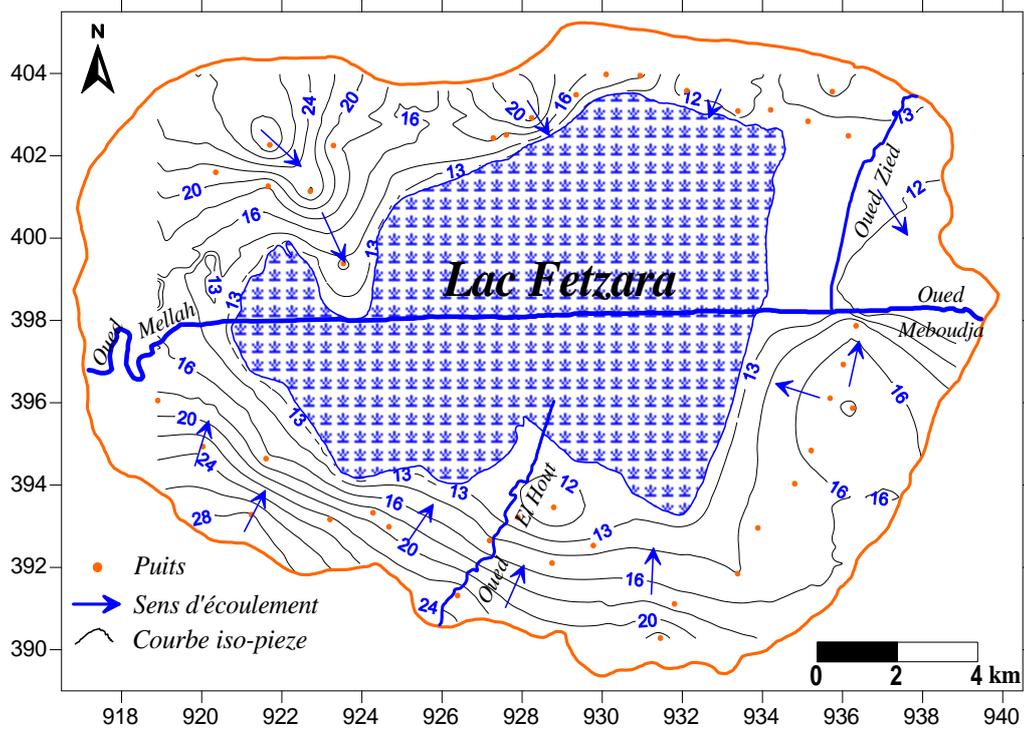


Figure 25. Carte piézométrique de la nappe d'accompagnement du lac Fedzara (Mai 2007).

4.6. Etat piézométrique de 2008 (Boulakoud)

❖ Carte piézométrique du mois de Juin 2008

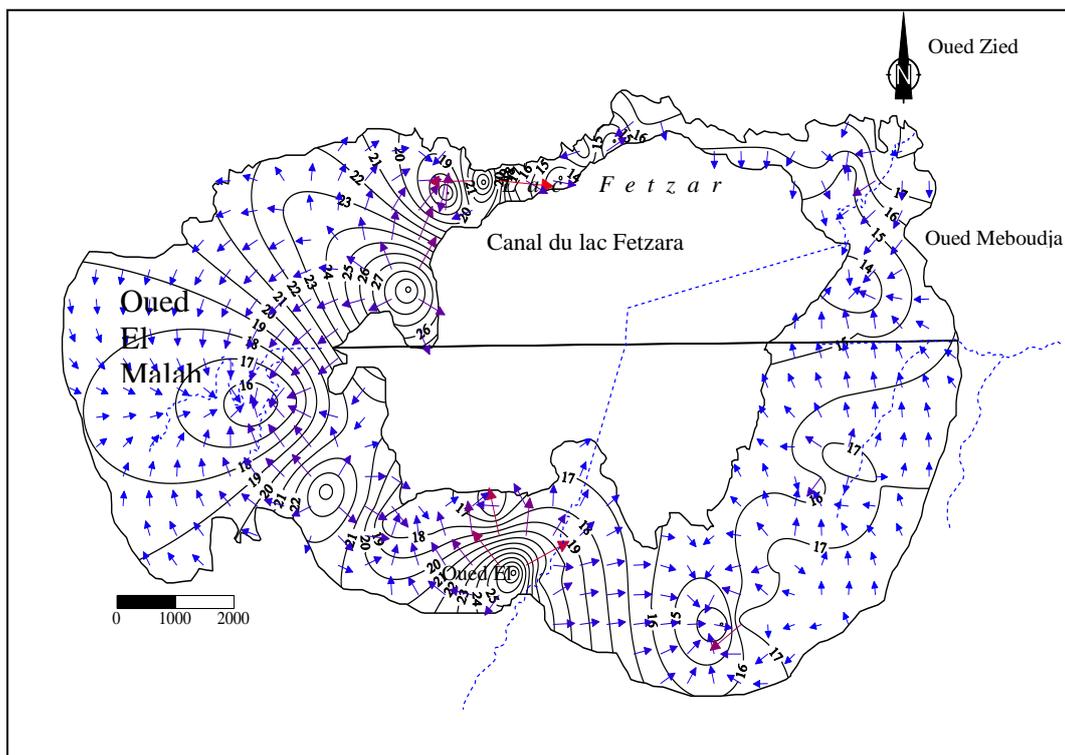


Figure 26 : Carte piézométrique de la nappe d'accompagnement du Lac fetzara. Juin 2008

La carte montre l'état de la nappe en période de faible pluviométrie. Les écoulements sont généralement convergeant vers le lac ou vers les zones en pompage. Notons qu'au cours de cette période l'irrigation est importante car la culture de la tomate industrielle est importante dans ces régions.

*** Carte piézométrique du mois de Septembre 2008**

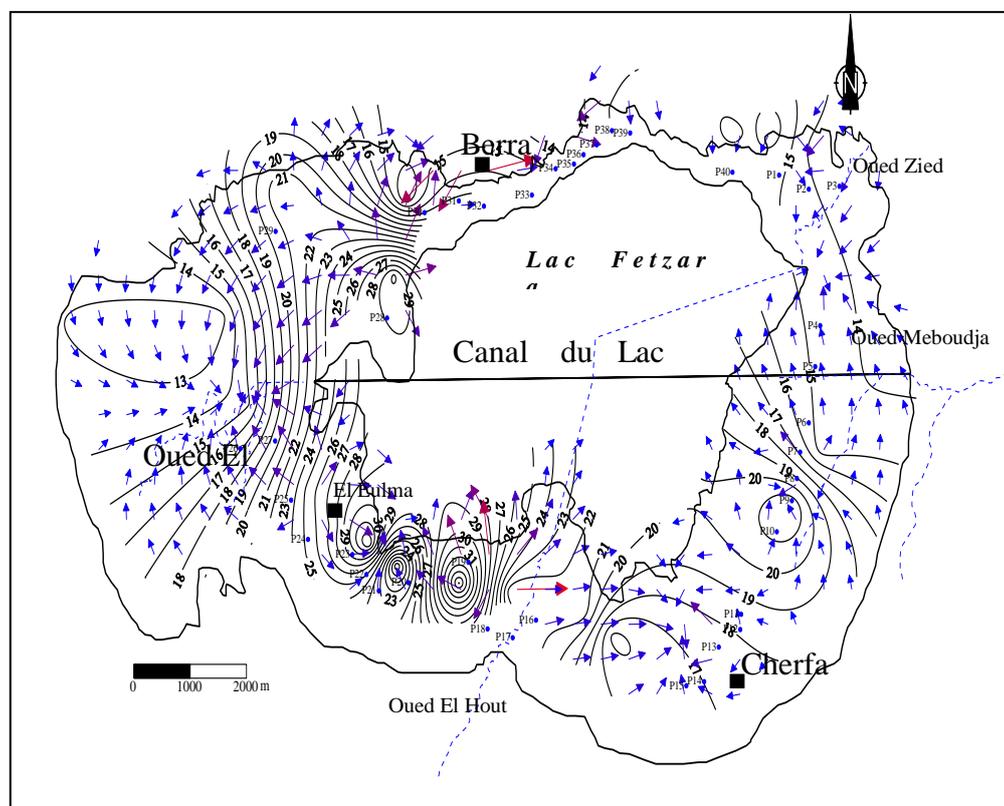


Figure 27 : Carte piézométrique de la nappe d'accompagnement du Lac Fetzara.
Période Septembre 2008

Au cours de cette période les premières pluies font leur apparition, ce qui explique l'allure des courbes isopièses, ces dernières sont serrées à l'approche du lac, indiquant ainsi un écoulement rapide, généré par l'apport important en eau. Cette situation est particulièrement visible dans le secteur de l'Oued El Mellah qui apporte de grandes quantités d'eau.

Remarque : après l'examen des cartes piézométriques nous constatons :

* La morphologie de la surface piézométrique suit la surface topographique et son allure reste la même pendant toutes les campagnes.

* D'une manière générale l'alimentation du lac se fait à partir de toutes les bordures :

- au niveau de la région Sud, c'est le Tell Guelmien,
 - pour de la région Nord c'est le massif de l'Edough et de Belélieta qui assure cette alimentation.

- Le lac constitue une zone de convergences des eaux, en effet les eaux issues des bordures Nord-ouest et Nord-est vont alimenter le lac. Idem pour les eaux en provenances des bordures Sud.

- La relation de la nappe avec les autres oueds (El Hout, Mellah et Zied) est non identifiée. Ceci est dû au fait que les oueds existants sont temporaires et présentent de très faibles débits.

5. Etude des nappes de la plaine de Annaba

5.1. La nappe phréatique

La chronique des mesures piézométriques à notre disposition remonte à 1992. Nous allons nous intéresser aux résultats obtenus par les différents auteurs, Piézométrie du mois d'Avril 1992 (I. Djabri)

Les cartes réalisées (figure 28) ont montrés un écoulement de direction Sud Nord, avec un écoulement rapide à l'entrée de la plaine.

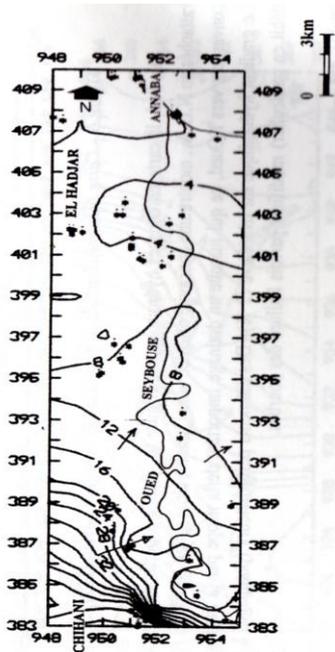


Figure 28 : Piézométrie du mois d'Avril 1992 (I. Djabri)

Cette situation est due au fait que la topographie devient de plus en plus plane. On remarque que l'existence d'une relation mixte entre l'oued Seybouse et la nappe. Tantôt l'Oued alimente la nappe tantôt c'est l'inverse.

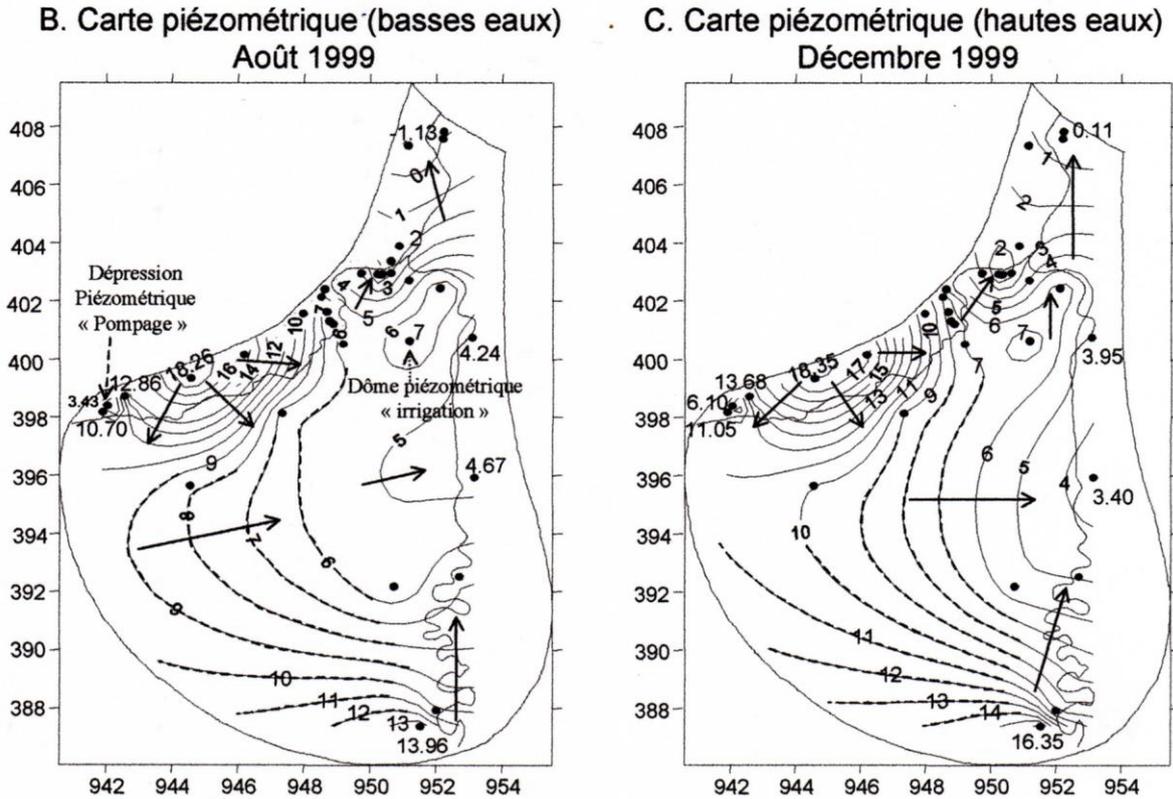


Figure 29 : Piézométrie des mois de Août et de décembre 1999 (in Debieche 2002)

L'observation des cartes réalisées montre deux directions des écoulements :

-Un premier dirigé d'Ouest en Est, donc l'écoulement, donc de la région du Lac Fedzara vers l'Oued Seybouse, cet échange se fait par le biais de l'Oued Meboudja qui constitue un canal de vidange du lac. Par ailleurs à la sortie de Dréan, il y a disparition de l'étranglement, la plaine s'ouvre sur elle-même augmentant ainsi les directions d'écoulement.

-Le deuxième écoulement de direction Sud Nord, mettant en évidence une alimentation par les montes de Bouchegouf.

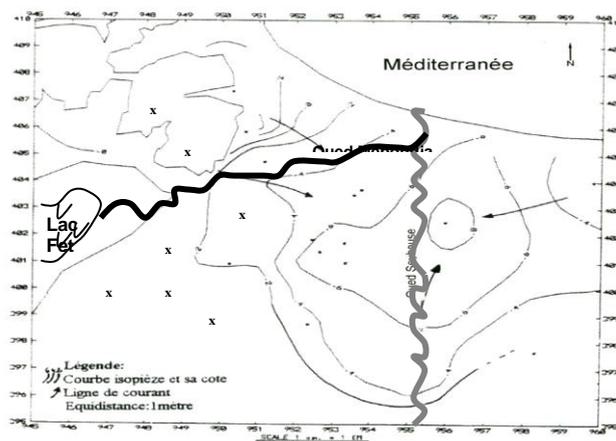


Figure 30 : Piézométrie de mois de décembre 1999

(In Aoun Sebaiti Badra 2002)

Les mesures piézométriques effectuées entre le 5 et le 10 janvier 2000 portant sur 135 puits domestiques nivelés ont permis de dresser la carte piézométrique par krigeage. L'observation de la carte (figure 30) montre que l'écoulement suit en général la forme topographique de la zone d'étude et se fait dans le sens Sud-Nord. Cependant, au niveau de la butte de Daghoussa, on note un changement du sens de l'écoulement; ce dernier se fait de la mer vers le continent. Cette tendance se localise sur la partie Nord de la carte et indique une éventuelle alimentation de la nappe par la mer. La présence de dépression met en évidence l'influence des pompages au niveau de la nappe.

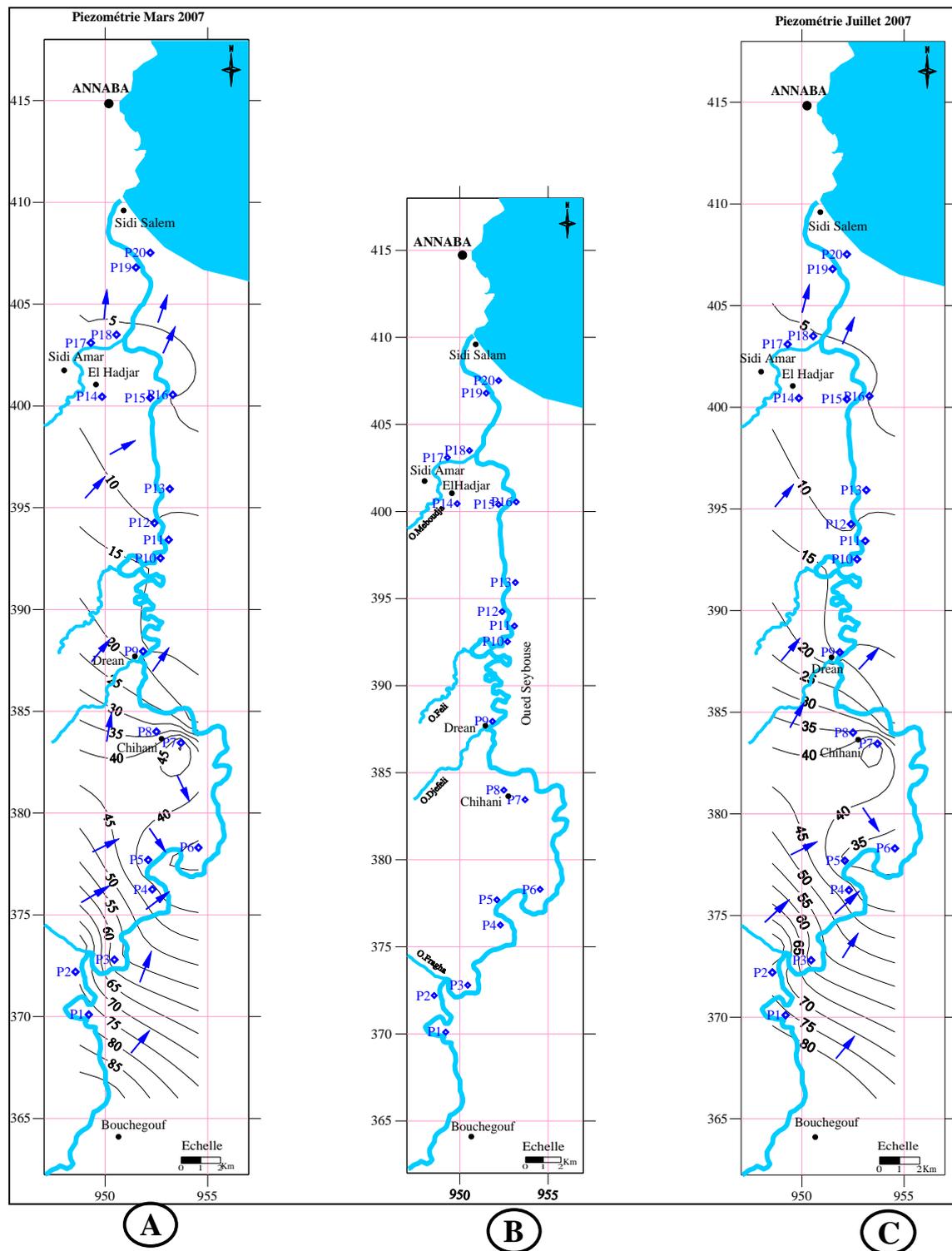
5.1.1. Piézométrie Boulakoud 2008

Deux campagnes de mesures piézométriques ont été réalisées, la première concernant la période de hautes eaux et se ramenant au mois de Mars 2008 et la seconde caractérisant la période de basses eaux et a été réalisée au mois de juillet 2008. L'observation des cartes réalisées montre que 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 isopièzes 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 : Figure 31 : Carte piézométriques hautes eaux 2008

B : Figure 32 : Carte d'inventaire des points d'eau

C : Figure 33 : Carte piézométriques basses eaux 2008

5.1.2. Relation nappe superficielle- l'oued

Pour démontrer l'existence d'une relation mixte entre la nappe et l'oued, nous avons réalisé un diagramme montrant les variations de la topographie de certains puits et le niveau d'eau dans l'oued. On remarque que tantôt le niveau le niveau du 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.

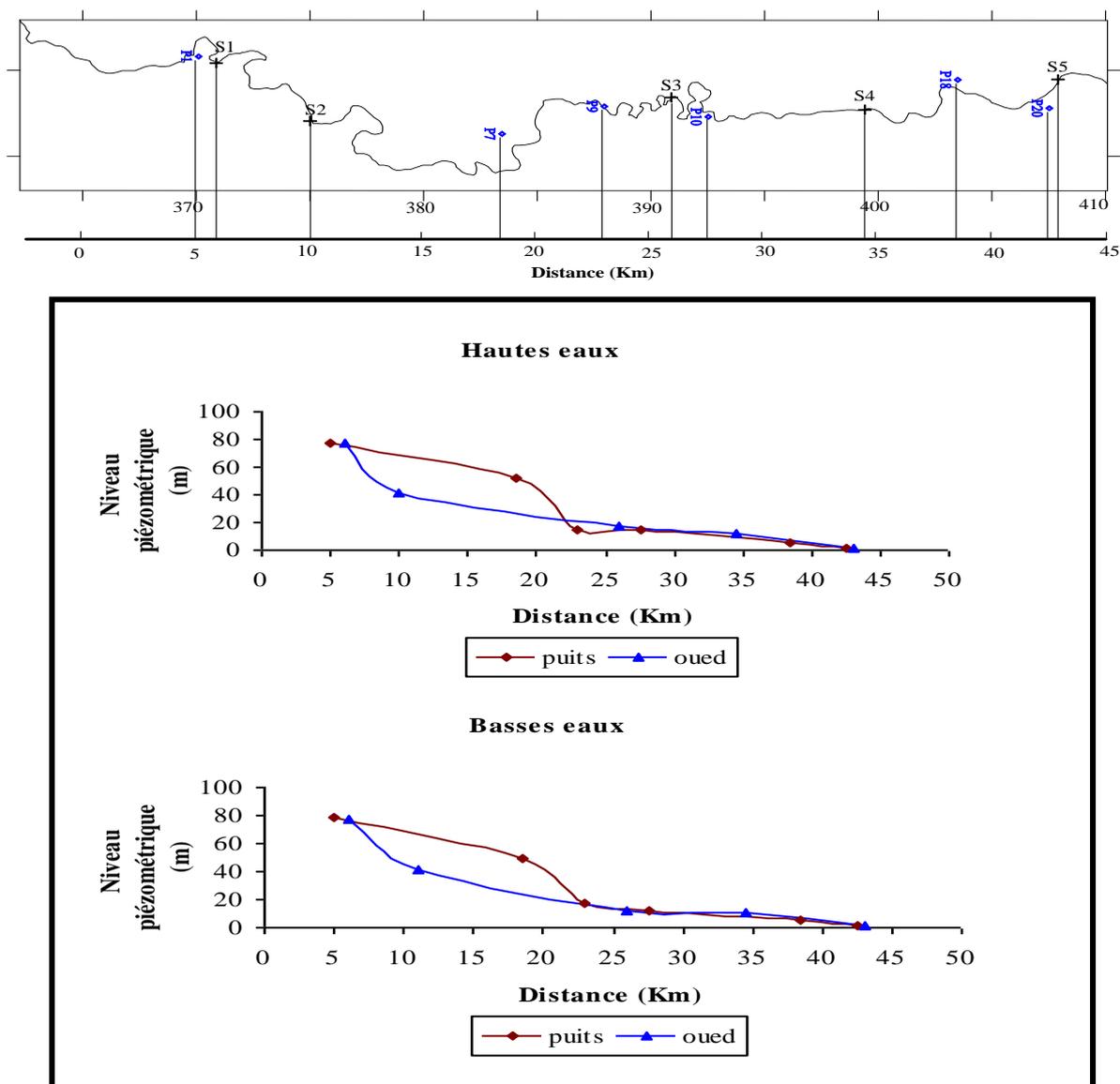


Figure 34 : Relation hydrodynamique entre l'oued et la nappe superficielle en fonction de la distance par rapport à le niveau piézométrique (in Kadri 2009).

5.2. La nappe profonde

Pour l'étude piézométrique de cette nappe, nous avons pris en considération le travail réalisé par Hani A (2003). L'aperçu relatant l'évolution des niveaux piézométriques (figure 35), montre une baisse des niveaux piézométriques confirmée par la présence de cotes inférieures au niveau de la mer, la courbe de cote zéro prend une plus grande extension, ce qui laisse supposer une invasion, cette baisse est beaucoup plus prononcée en période de basses eaux où les apports en eau par les précipitations sont faibles ou quasiment inexistantes.

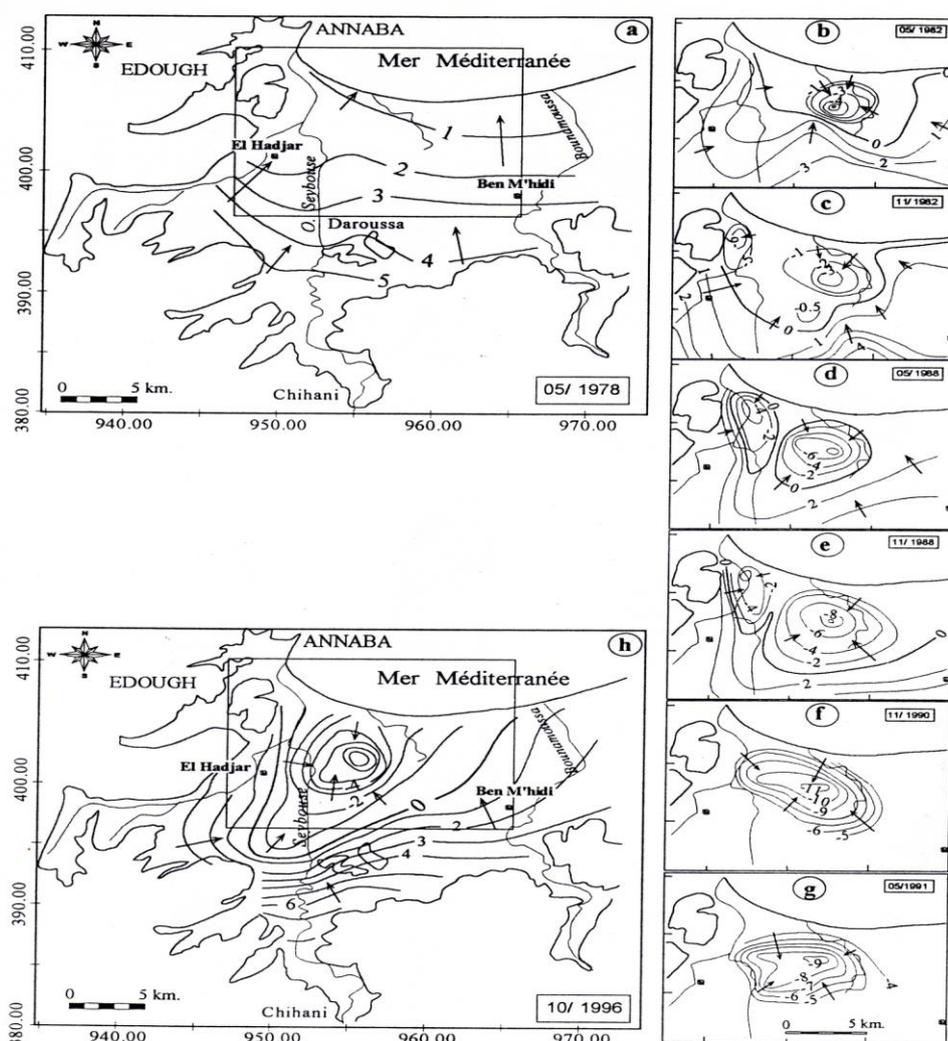


Figure 35 : Chronique des piézométries de la nappe profonde (in Hani 2003).

L'évolution piézométrique montre déjà une invasion marine que nous allons essayer de conforter par le biais de l'outil hydrodynamique et hydrochimique.

6. Caractéristiques hydrodynamiques

6.1. Nappes superficielles

Nous allons nous intéresser aux résultats fournis par les essais par pompages au niveau de la nappe entourant le lac et la nappe de la plaine de Annaba. Les puits captant ces niveaux aquifères sont peu profonds et servent surtout à l'irrigation. Les pompages longues durées sont inadaptés car l'épaisseur d'eau est faible. Pour déterminer la perméabilité et la transmissivité, les deux méthodes suivantes ont été retenues :

-la méthode de Show,

-Détermination de la perméabilité sur site particulièrement pour la nappe entourant le Lac..

6.1.1. Nappe entourant le lac

• **La perméabilité:** les mesures de la perméabilité verticale selon la méthode de Henin montrent que les valeurs de la perméabilité variant entre $0.11 \cdot 10^{-5}$ m/s et $5 \cdot 10^{-5}$ m/s (Zenati, 1999). L'examen de la carte de la perméabilité verticale fait apparaître trois types de sols (figure 36).

- Les sols peu perméables dont la valeur de la perméabilité verticale est de $0.11 \cdot 10^{-5}$ m/s, ils occupent la partie Nord-Est du lac Fetzara.

- Les sols moyennement perméables avec des valeurs de la perméabilité verticale qui oscillent entre $0.11 \cdot 10^{-5}$ et $5 \cdot 10^{-5}$ m/s, caractérisent la majorité de la plaine.

- Les sols perméables dont la valeur de la perméabilité verticale est supérieure à $5 \cdot 10^{-5}$ m/s, caractérisent les régions sableuses (Berrahal et El Guantra).

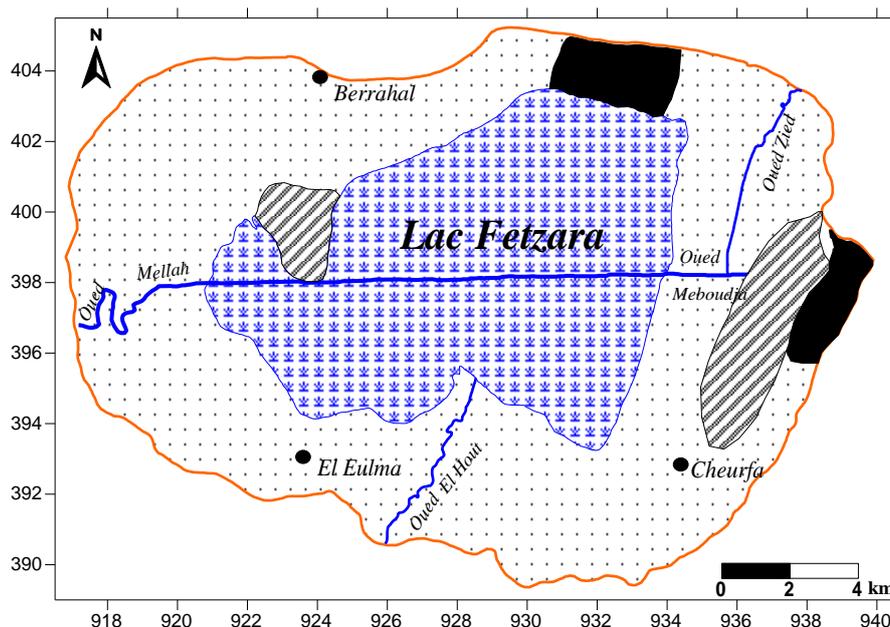


Figure 36 : Carte de la perméabilité verticale des sols de la région du lac Fetzara (Zenati, 1999; modifiée)

- **La transmissivité :** les résultats montrent que la transmissivité de la nappe superficielle qui entoure le lac Fetzara varie entre $0.13 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $1.4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Tableau 30. Transmissivité obtenue dans la région du lac Fetzara.

Points	X (km)	Y (km)	T * $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
1	935.600	395.400	1.4
2	929.600	392.700	0.13
3	930.200	403.650	0.17

6.2. La nappe de la plaine de Annaba

6.2.1. Nappe superficielle

Les essais effectués sur des puits domestiques n'ont duré quelques heures, de ce fait la détermination des caractéristiques hydrodynamiques n'a pas été aisée, cependant les quelques valeurs déterminées appellent le commentaire suivant :

Les transmissivités de l'ordre de $4.4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, se localisent à El Hadjar. Les perméabilités atteignent dans ce cas $1.25 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$

6.2.2. Nappe profonde

Les travaux effectués par Hani A, ont aboutit à la réalisation de la cartes des transmissivités (figure 37), l'observation de cette dernière montre les répartitions suivantes :

- un secteur de fortes valeurs correspondant à deux zones bien distinctes :

La première se situe le long de la vallée de la Seybouse et coïncide avec l'axe de la fosse de Ben-Ahmed.

-La seconde zone se localise dans la partie orientale du massif dunaire. Dans ce secteur, les sables éoliens qui surmontent les alluvions de la fosse d'effondrement de Ben-Mhidi, présentent des caractéristiques hydrodynamiques exceptionnelles.

- Les plus faibles transmissivités sont situées à l'Est de Ben-M'hidi et s'étendent sur toute la partie littorale du massif dunaire.

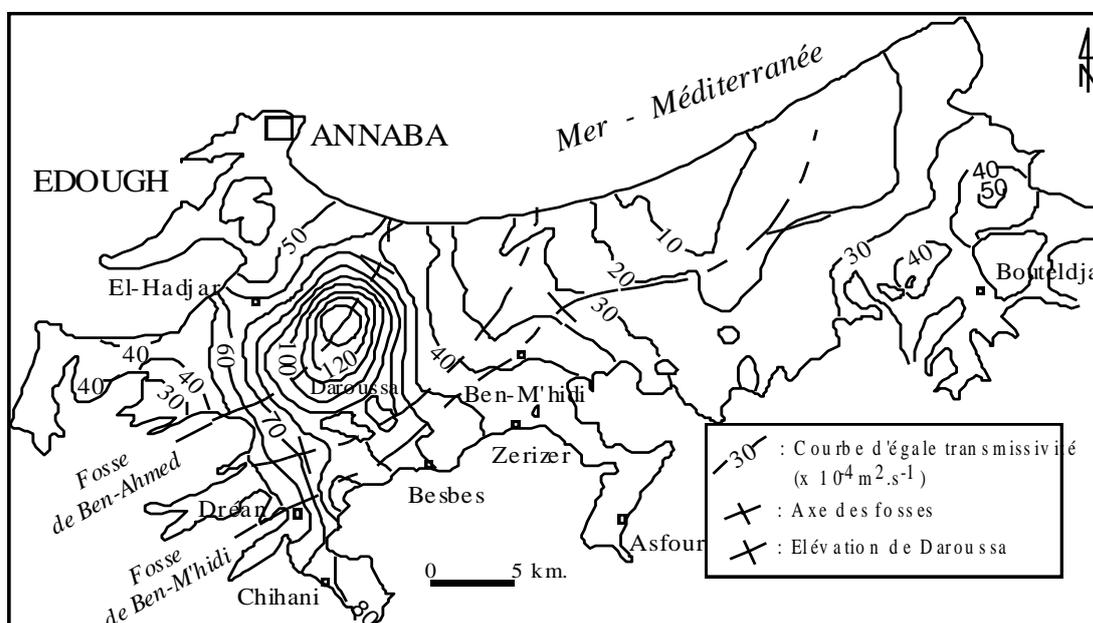


Figure 37 : Carte des transmissivités krigées (in Hani 2003)

La variation de la répartition des caractéristiques hydrodynamiques va se répercuter sur le contact mer nappe, ce dernier sera plus rapide et donc important dans les zones où les transmissivités sont importantes et long dans les secteurs à faibles transmissivités. Pour vérifier cette hypothèse nous avons effectué des analyses chimiques selon les deux

directions suivantes Nord-Sud, le long de l'Oued Seybouse et Ouest-Est de Annaba vers Ben M'hidi.

7. Facteurs régissant le bilan hydrodynamique

Le schéma suivant montre le fonctionnement du système aquifère de la zone d'étude. On note la présence de relations latérales (horizontales) et verticales entre les différents systèmes, ce qui implique des échanges entre les différentes parties.

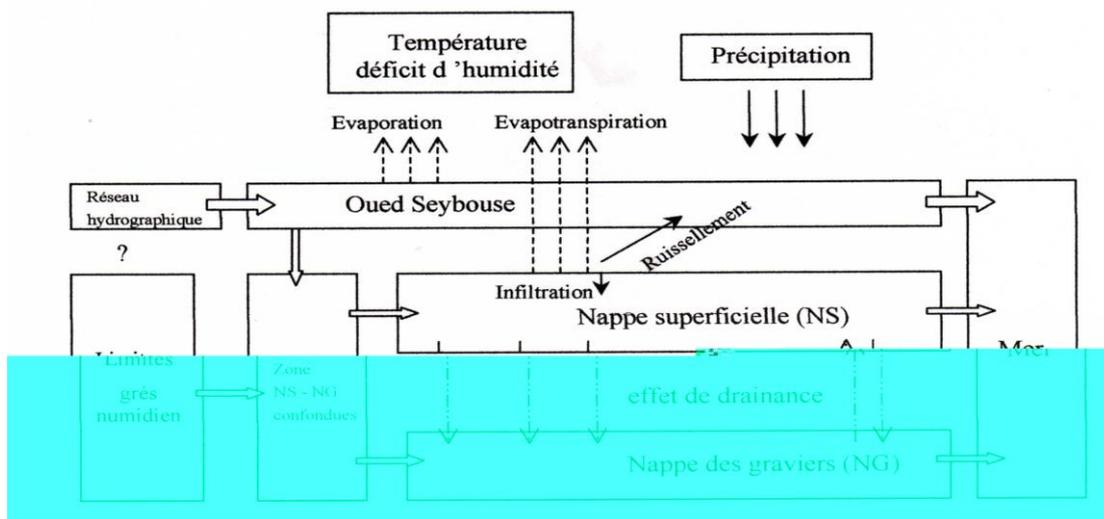


Figure 38: Schéma de fonctionnement du système aquifère de la région de Annaba.

Tableau 31 : Inventaire des entrées et des sorties du le système aquifère étudié

	Entrées		Sorties	
Oued	- Pluies		- Evaporation	
	- Ruissellement		- Déversement de l'oued dans la mer	
	- Apports du réseau	O. Seybouse O. Meboudja	- Infiltration de l'oued vers la nappe des graviers et la nappe superficielle	
	- Infiltration depuis la nappe superficielle			
Nappe superficielle (NS)	- Rejets urbains et industriels		- Pluies	
	- Irrigation par	Barrage de Chafia Nappe des graviers Oued	- Evapotranspiration	
	- Infiltration a partir de l'oued Seybouse(Drean-Chihani)		- Exploitation par les puits	
	- Alimentation souterraines	Socle métamorphique Grès numidien	- Perte vers l'oued Seybouse	
			- Drainance (NS - NG)	
Nappe des graviers (NG)	- Pluies à nappes confondues		- Fuite vers la partie Est	
	- Infiltration de l'oued Seybouse au niveau de la zone de confluence (Drean-Chihani)		- Fuites vers la mer (Exutoire)	
	- Drainance (NS - NG)			
	- Alimentation souterraines	Socle métamorphique Grès numidien	- Exploitation par les forages	
		- Drainance (NG - NS)		
		- Fuites vers la mer (Exutoire)		

7.1. Fluctuation des nappes

Les cartes piézométriques réalisées, diffèrent d'un niveau à l'autre, en effet la nappe superficielle subit l'influence directe des facteurs climatiques, ces derniers conditionnent les apports et les exhaures.

La nappe profonde reste tributaire de la drainance et des débits extraits. Les calculs réalisés par T DEBIECHE, ont donné les résultats tableau suivant :

Tableau 32 : Bilan hydrodynamique.

	Débit ($10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$)		
	Oued	Nappe superficielle	Nappe des graviers
Entrées	964,80	24,66	17,21
Sorties	941,35	24,41	17,84
Différence	-23,45	-0,25	0,63
Différence %	-2,43	-1,03	3,68

Légende: V, Volume; P, précipitation; H, Hauteur d'eau; S, Surface; Q, débit; s, Seybouse; M, Meboudja; urb., urbain ind., industriel; I, infiltration; K, perméabilité; t, temps; i, gradient hydraulique, E, épaisseur; T, transmissivité; L, largeur, NG, nappe des graviers; NS, nappe superficielle, r, ruissellement

On remarque un équilibre entre les entrées et les sorties. Il montre que le renouvellement de l'eau est plus prononcé au niveau de la nappe superficielle.

8. 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 draine la nappe.

Les perméabilités verticales du sol variant entre 10^{-6} à $5 \cdot 10^{-5}$ 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.

$$L_e = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12}$$

La nappe superficielle entourant le lac Fetzara est contenue dans des alluvions récentes et actuelles, elle présente une texture argilo-sableuse et argilo-limoneuse. La transmissivité de cette nappe varie entre $0.13 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $1.4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, avec des sols moyennement perméables à perméables, où le coefficient de perméabilité varie entre $0.28 \cdot 10^{-5}$ et $5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.

L'observation des cartes piezométriques réalisées montre la même allure. Le sens global de l'écoulement des eaux souterraines met en évidence deux types d'échanges entre les différents systèmes (lac, oueds, nappe). Le premier montre une alimentation du lac par la nappe et les bordures, quand le second, il montre le drainage du lac et de la nappe par l'oued Meboudja. Les piéments du massif de l'Edough au Nord du lac Fetzara sont caractérisés par les fortes valeurs du gradient hydraulique (variant entre 0.5 et $0.9 \cdot 10^{-2}$). Par contre, le gradient est faible à très faible au Sud du lac Fetzara (Commune de Cheurfa et celle d'El Eulma) et au Sud-ouest de la commune de Berrahal.

CHAPITRE V

HYDROCHIMIE

QUANTITATIVE AND QUALITATIVE OF WATER RESOURCES OF HIGH GROUND WATER IN ANNABA AREA

Abstract

Water is a fundamental element of life is above all economic activity. It is a resource increasingly polluted. According to W.H.O, three to four million people die annually in poor countries from diseases related to poor water quality.

Industrial growth, population, and urbanization in the region of Annaba, and the presence of a dense network of roads. Have caused an increase in the waste industry, sewage canals, led to environmental degradation and pollution of water, especially surface waters (the waters of rivers of the region) by chemical elements and in particular heavy metals which we try in this study to know their sources in the region, their movements and their concentrations in the wadis (oued Zied, oued El Hout, oued and oued Mellah Meboudja).

During 2007, we made some campaigns of chemical measurements of water from boreholes, wells and rivers to determine the source and concentration of chemical elements. Chemical analysis made, we determined the curves of variation of elemental concentrations and different periods of time.

The results of analysis of these curves has shown the presence of elements (heavy metals) at Wadi at different concentrations, indicating the pollution of water by these elements. Water pollution of rivers by these elements resulting of the presence of sewage canals at these wadis which flow directly, urban waste as well as the impact of road traffic.

The presence of these elements in different concentrations from one place to another through the wadis, reflecting a movement of transition in the wadi from the beginning to the end, towards the sea pollution poses a threat Most friends of the region, and largely on the health and lives of people.

Keywords: Aquifer, Groundwater, Majors Elements, Concentration, Surface Water, Pollution, Oued Zied, El Hout, Mellah, Meboudja, Industrial Waste.

La détermination de la qualité des eaux reste importante pour la détermination des usages de l'eau. L'eau destinée à la consommation humaine doit obéir à des critères très spécifiques, par contre ces critères sont moins draconiens pour l'industrie et l'agriculture. C'est pourquoi nous avons accordé un grand intérêt au chapitre relatif à la chimie des eaux.

I. Introduction

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...etc.). Dans la région étudiée la chimie des eaux (eaux de surface, eaux souterraines) est souvent influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques, l'évaporation des eaux du lac Fedzara, les rejets industriels et l'activité agricole. Et, en raison de l'utilisation multiple de ces eaux, cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel de la chimie des eaux, son évolution dans le temps, dans l'espace et en fonction de la variation des paramètres physico-chimiques de l'eau.

Les analyses effectuées se rapportent aux eaux de surface à savoir ; oued Mellah, oued El Hout, oued Zied (les entrées du lac Fetzara) et oued Meboudja (vidange du lac Fetzara) avec 50 échantillons et aux eaux souterraines des nappes entourant le lac pour 45 échantillons et les eaux de la plaine de Annaba 50 échantillons).

Mesures in situ : deux paramètres physico-chimiques (pH, conductivité) sont mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon et durant les mesures piezométriques à l'aide d'un pH mètre et d'un conductimètre.

Analyse des éléments chimiques :

une analyse complète des éléments chimiques a été effectuée pour cette étude : les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-), le cycle de l'azote et les phosphates (NO_3^- , NO_2^- et PO_4^{3-}), et les éléments métalliques en traces (Fe (total), Mn^{2+} , Cr (total), Ni^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+}).

II. Qualité des eaux

1. Les eaux souterraines la région du lac Fedzara

La qualité des eaux reste un atout important pour déterminer l'utilisation de ces eaux. Cette qualité diffère d'un horizon à un autre ce qui oblige le chercheur à donner les indications concernant chaque horizon étudié. Dans ce travail nous nous intéressons aux eaux prélevées à différentes profondeurs. Notons que les éléments majeurs et les éléments traces ont été dosés.

1.1. Eléments majeurs

1.1.1. Statistiques élémentaires

L'étude statistique réalisée porte sur 45 échantillons prélevés au cours des mois de Janvier, Mars et Mai 2007 sur les eaux souterraines. Le tableau suivant (tableau 33), montre que la conductivité des eaux varie de manière significative, elle passe de 385 à 10740 μcm , ce qui implique que les eaux peuvent atteindre une salinité conséquente. Au niveau des éléments majeurs on retrouve la même évolution pour les éléments suivants : Na^+ , HCO_3^- et Cl^- . Cette évolution semble dictée par la pluviométrie. En effet les précipitations enregistrées au cours des mois considérés n'est pas identique et par conséquent influence les eaux différemment. Pour visualiser les liens existant entre les éléments chimiques nous allons réaliser une analyse en composantes principales.

Tableau 33 : Variations des concentrations des éléments majeurs des eaux souterraines.

Libellé de la variable	Effectif	Poids	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
CE	45	45.00	1582.33	1645.12	385.00	10740.0
Ca^{+2}	45	45.00	59.20	34.12	18.40	167.00
Mg^{+2}	45	45.00	64.04	31.61	10.56	156.48
Na^+	45	45.00	300.63	144.47	104.05	663.24
K^+	45	45.00	5.28	4.94	0.00	24.91
HCO_3^-	45	45.00	362.45	108.22	169.58	611.22
Cl^-	45	45.00	414.95	316.37	78.10	1368.00
SO_4^{-2}	45	45.00	162.28	95.48	42.85	418.08

1.1.2. Analyse en composantes principales

L'ACP, a pour but la détermination des liens existants entre les éléments et leurs origines. Dans le cas présent on a utilisé 45 analyses chimiques et huit variables. Le nombre de variable huit a été pris après plusieurs essais, en effet quelques variables tel que le pH ont diminué l'inertie totale et de ce fait ont été éliminé. L'inertie ou l'information totale donnée dans le cas présent est de 57 %, alors qu'avec les autres éléments elle ne dépasse pas 35 %.

1.1.2.1. Observation du cercle ACP

Le cercle formé par les deux axes F1F2, montre selon l'axe horizontal F1 (37%), une opposition entre les eaux fortement minéralisées (riches en chlorures, bicarbonates, magnésium et sodium) et occupant la partie négative de l'axe F1, s'opposent aux eaux faiblement minéralisées caractérisant la partie positive de l'axe F1 (figure 39).

Concernant l'axe vertical F2 (20%), on note une opposition entre le potassium et les sulfates. Cette évolution confirme bien l'effet des précipitations sur la composition chimique des eaux. Lors des pluies les apports en eau vers le lac en provenance du massif de l'Edough et par le biais des interactions eau roche, enrichissent les eaux en potassium contenu dans les formations métamorphiques (in Majour, 1996). Notons par ailleurs que les faibles concentrations en

Concentrations en sulfates sont surtout dues au fait que les formations évaporitiques sont absentes dans cette zone (in Djabri 2007).

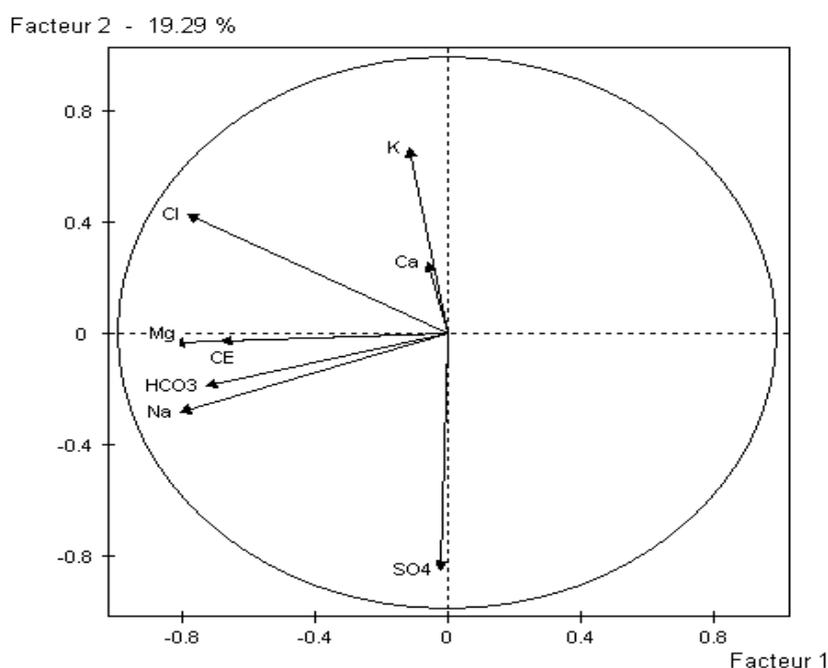


Figure 39 : Cercle ACP des eaux souterraines (Eléments majeurs).

Pour confirmer l'hypothèse avancée nous avons comparé (tableau 33), la variation des concentrations du potassium et des sulfates entre deux périodes de prélèvement suivantes mois de Janvier et mois de Mars 2007.

Tableau 34 : Variations du Potassium et des Sulfates entre les mois de Janvier et Mars 2007.

Puits	Sulfates (SO ₄ ²⁻ en mg/l)		Potassium (K ⁺ en mg/l)	
	Janvier 2007	Mars 2007	Janvier 2007	Mars 2007
P1	117,60	53,76	11,70	24,91
P5	204,00	184,80	6,08	9,42
P7	82,56	107,52	12,30	0,02
P9	73,44	60,00	11,98	1,12
P12	76,32	306,24	2,10	0,57
P15	201,60	84,96	9,70	11,63
P18	92,64	143,04	7,60	6,65
P22	254,40	42,85	2,30	0,00
P24	171,84	70,56	2,58	2,34
P26	84,00	66,24	1,78	0,66
P30	245,76	293,76	3,25	1,68
P32	239,04	156,00	6,70	7,21
P34	90,72	117,60	1,12	0,57
P36	197,76	238,56	1,48	1,12
P38	87,84	293,76	2,31	0,02
P41	99,84	85,44	5,66	4,44

On remarque surtout une baisse très sensible au niveau des sulfates. Ces concentrations peuvent baisser de moitié cas du P24 et P32. Le potassium n'étant pas lui-même important et le temps de séjour des eaux de pluie dans les réservoirs des sources est trop court de ce fait la variation n'est pas encore généralisé.

1.1.2.2. Matrice de corrélation

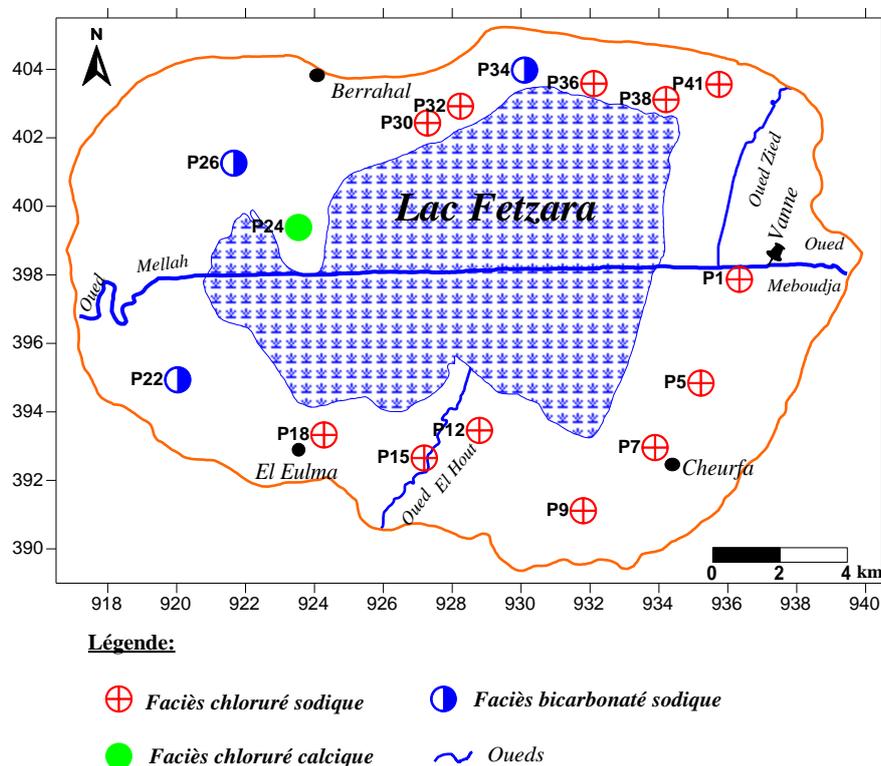
Cette matrice (tableau 35), nous permet de dégager les associations qui peuvent exister entre les éléments chimiques. Dans le cas présent $n = 45$, de ce fait le coefficient de corrélation adopté sera $r = 0.54$. Nous pouvons ainsi dégager les associations suivantes :

CE--Na⁺, $r = 0.49$ Mg²⁺--Na⁺, $r = 0.52$ Na⁺--HCO₃⁻, $r = 0.51$
 CE--Cl⁻, $r = 0.46$ Mg²⁺--HCO₃⁻, $r = 0.62$ Na⁺--Cl⁻, $r = 0.59$
 Mg²⁺--Cl⁻, $r = 0.59$

Tableau 35 : Matrice de corrélation des eaux souterraines

	CE	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
CE	1.00							
Ca ⁺²	0.04	1.00						
Mg ⁺²	0.39	0.19	1.00					
Na ⁺	0.49	-0.18	0.52	1.00				
K ⁺	0.01	0.04	0.10	-0.03	1.00			
HCO ₃ ⁻	0.36	0.01	0.62	0.51	-0.01	1.00		
Cl ⁻	0.46	0.09	0.59	0.59	0.22	0.33	1.00	
SO ₄ ⁻²	0.01	-0.04	0.13	0.25	-0.30	0.08	-0.38	1.00

Nous remarquons que la salinité des eaux est particulièrement due aux chlorures et au sodium. Les eaux sont caractérisées par la présence de trois faciès : chloruré sodique, chloruré calcique et bicarbonaté sodique (figure 40).

**Figure 40** : Faciès chimiques des eaux souterraines (Mars 2007).

2. Les eaux de surface

Les analyses chimiques des eaux de surface (oued Mellah, Zied, El Hout et Meboudja) ont été effectuées sur 50 observations se rapportant à trois campagnes d'échantillonnages (Janvier, Mars et Mai 2007).

2.1. Eléments majeurs

2.1.1. Statistiques élémentaires

Les concentrations observées au niveau des eaux de surface (oued Meboudja, Zied, El Hout et Mellah) sont reportées dans le tableau ci-après (tableau 36).

Tableau 36 : Variations des concentrations des éléments majeurs des eaux de surface.

Libellé de la variable	Effectif	Poids	Moy	Ecart-type	Min	Max
Q	35	35.00	0.28	0.37	0.002	1.232
CE	50	50.00	1474.40	775.83	258.00	3080.00
Ca ⁺²	50	50.00	82.22	26.96	22.40	131.20
Mg ⁺²	50	50.00	57.22	33.96	8.88	119.28
Na ⁺	50	50.00	294.83	132.64	20.70	494.50
HCO ₃ ⁻	50	50.00	238.54	32.70	123.22	291.58
Cl ⁻	50	50.00	454.83	243.08	71.00	880.40
SO ₄ ⁻²	50	50.00	121.23	66.31	24.00	299.04

On remarque qu'au niveau des cations le sodium domine tandis que pour les anions il y a une compétition entre les chlorures et les bicarbonates, cette compétition serait liée à la période de prélèvement (Janvier, Mars et Mai 2007) caractérisant une période pluvieuse.

2.1.2. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation (tableau 37) présente les différentes corrélations entre les variables prises deux à deux, elle nous permet de dégager les associations suivantes :

$$\text{CE---Ca}^{+2}, r= 0.64 \quad \text{CE---Cl}, r= 0.94$$

$$\text{CE---Mg}^{+2}, r= 0.64 \quad \text{Ca}^{+2}\text{---SO}_4^{-2}, r= 0.61$$

$$\text{Na}^{+}\text{---Cl}, r= 0.89$$

Tableau 37: Matrice de corrélation des eaux de surface.

	CE	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
CE	1.00						
Ca ⁺²	0.64	1.00					
Mg ⁺²	0.64	0.41	1.00				
Na ⁺	0.85	0.46	0.31	1.00			
K ⁺	0.22	0.07	-0.27	0.39	1.00		
Cl ⁻	0.94	0.51	0.57	0.89	0.28	1.00	
SO ₄ ⁻²	0.25	0.61	0.14	0.34	-0.18	0.15	1.00

2.1.3. Observation du cercle ACP

Le cercle réalisé par les deux F1F2, montre selon l'axe horizontal F1 (52.32 % de la variance), une opposition entre les eaux fortement minéralisées (riches en chlorures, magnésium et sodium) et occupant la partie positive de l'axe F1 et s'opposent aux eaux faiblement minéralisées caractérisant la partie négative de l'axe F1 (figure 41).

Selon l'axe F2 (20.94 % de la variance) on observe une opposition entre le calcium (Ca^{+2}) et les bicarbonatés (HCO_3^-) (figure 41).

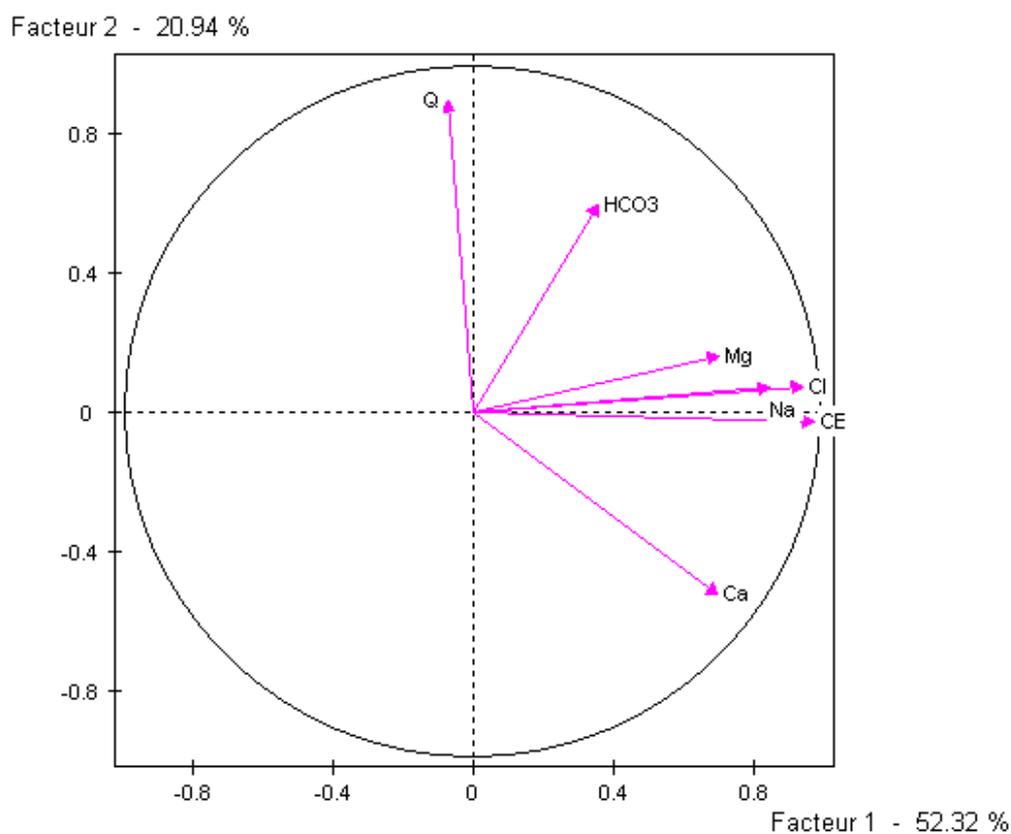


Figure 41 : Cercle ACP des eaux de surface (Éléments majeurs).

La carte ci-dessous (figure 41) montre que les eaux superficielles de la région du lac Fetzara sont caractérisées par la présence de deux faciès chimiques dominants, l'un chloruré sodique caractérise les eaux de oued Meboudja, oued Zied, oued El Hout et l'aval de oued Mellah (Mel4). L'autre bicarbonaté sodique caractérise les eaux de oued Mellah. Ce faciès serait lié aux échanges de bases.

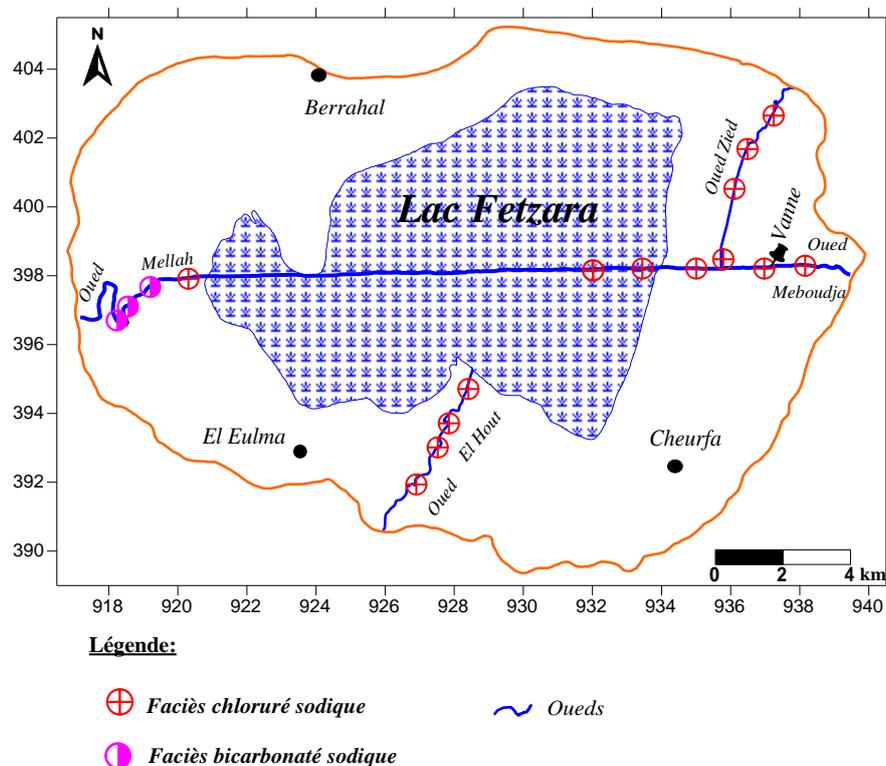


Figure 42 : Faciès chimiques des eaux de surface (Mars 2007).

3. Evolution des concentrations- débits

3.1. Eléments majeurs

3.1.1. Oued Zied

On remarque deux évolutions (figure 43, 44, et 45) :

La première indique que le débit et l'élément chimique considéré évoluent de la même manière, c'est le cas de tous les éléments à l'exception du potassium et du calcium. Cette situation serait due au fait qu'au niveau du point de prélèvement 3, il y a apport conséquent en calcium qui s'accompagne d'une baisse du potassium.

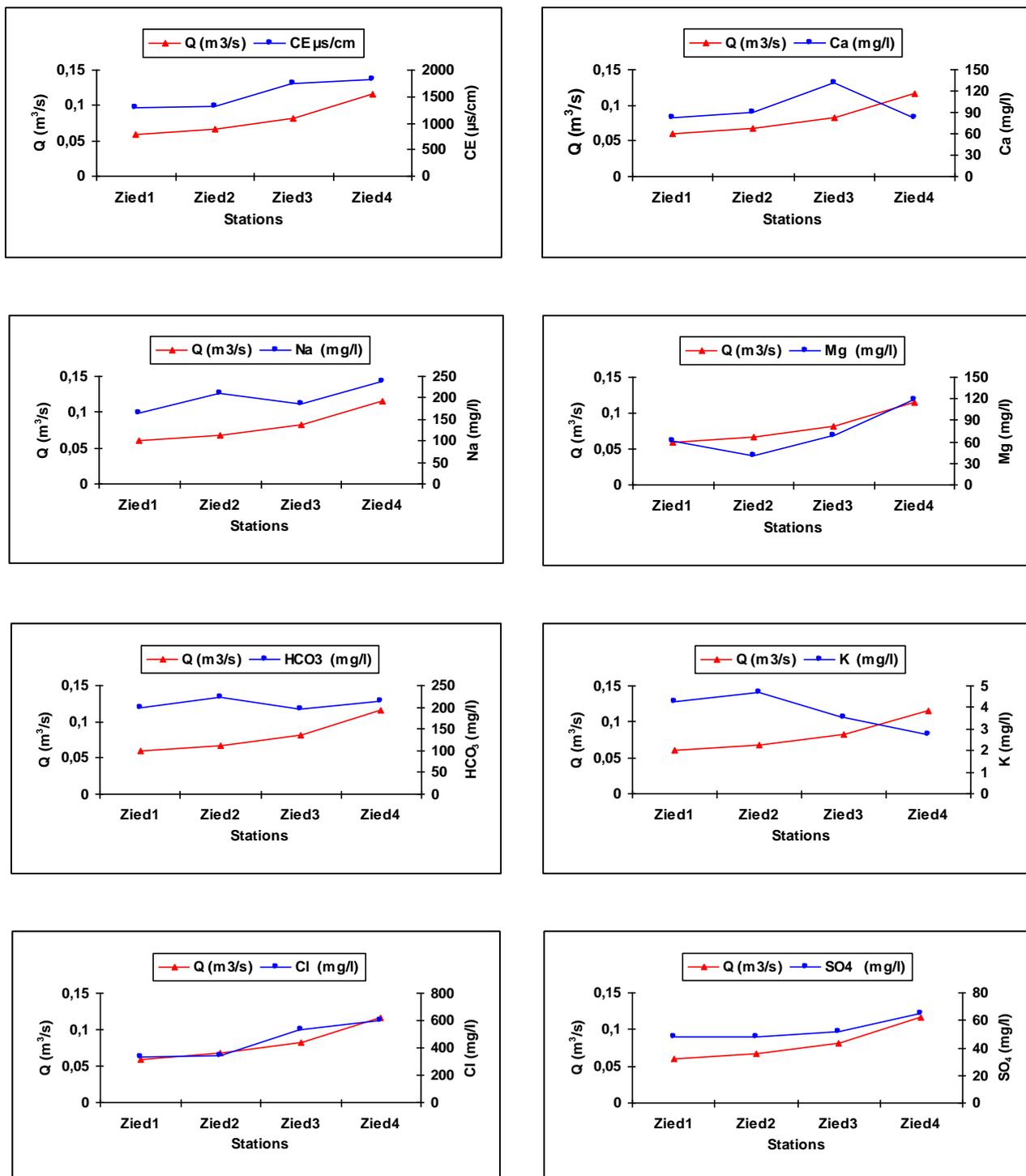


Figure 43 : Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de oued Zied (Janvier 2007).

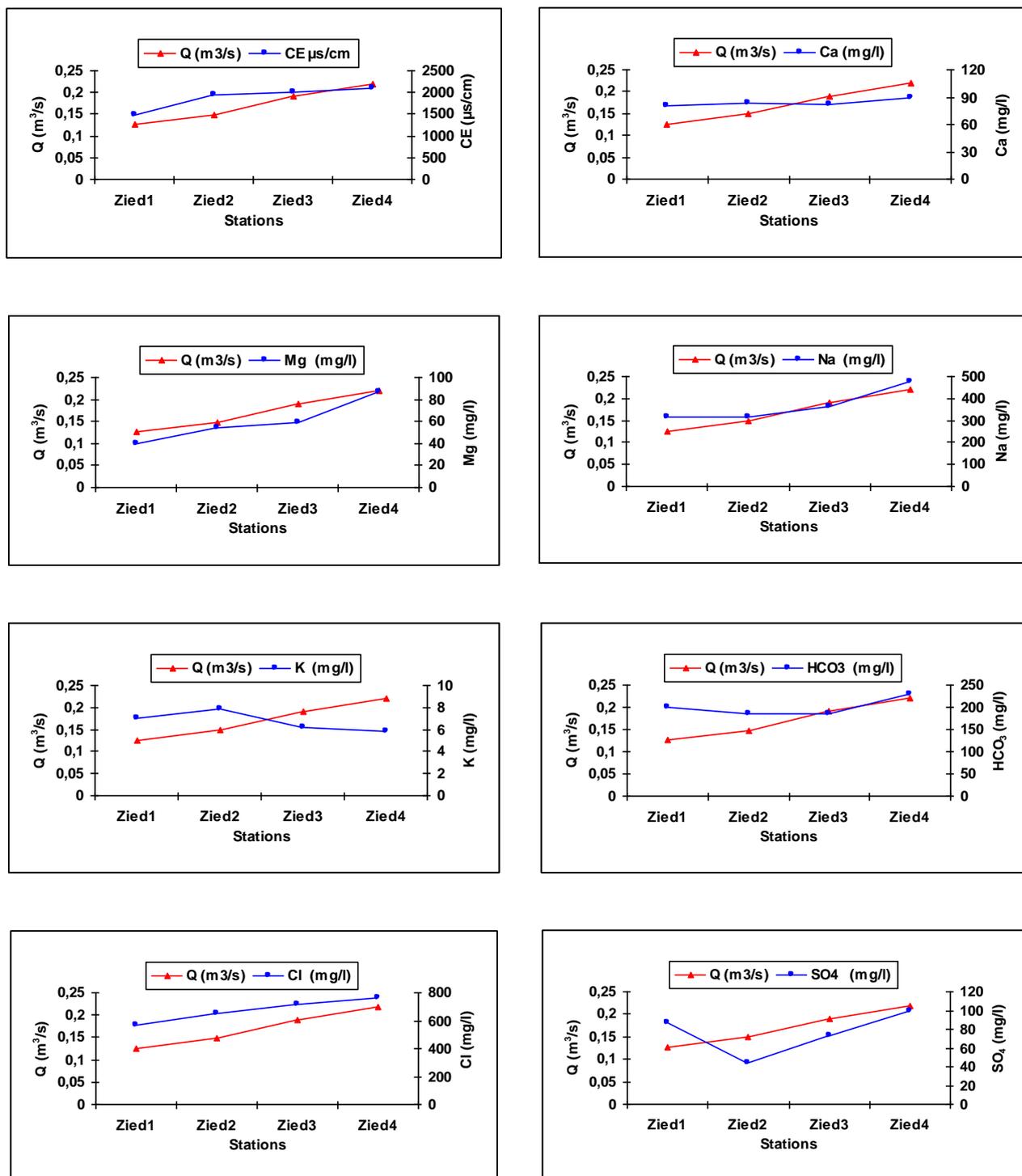


Figure 44 : Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de oued Zied (Mars 2007)

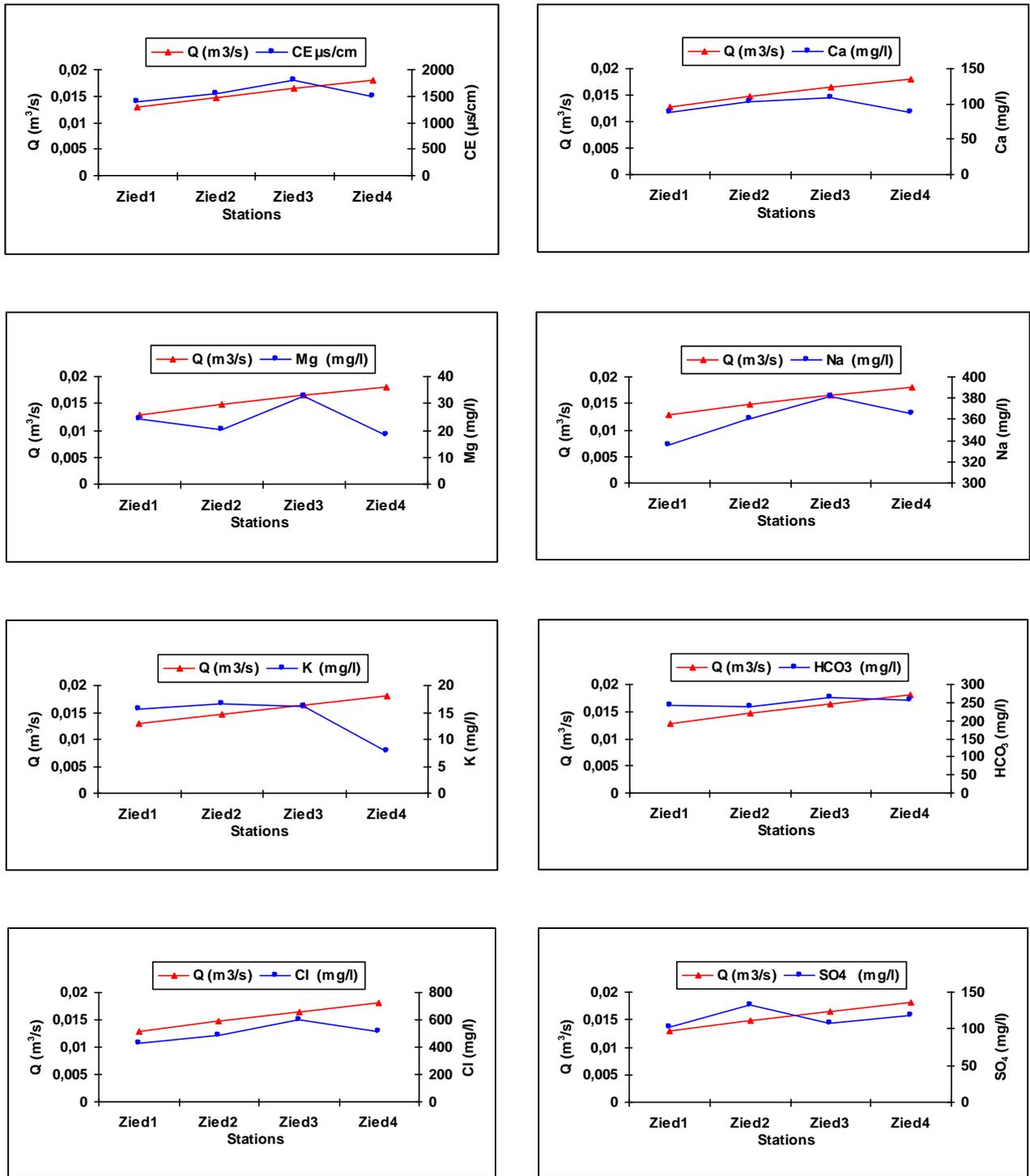


Figure 45: Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de oued Zied (Mai 2007).

3.1.2. Oued El Hout

Au niveau de cet oued l'évolution diffère par rapport au précédent, à titre indicatif nous remarquons que le calcium évolue avec le débit par contre le magnésium au niveau des points 3 et 4, s'oppose au débit. Nous remarquons également une évolution inverse entre le débit et le potassium au niveau des quatre points de mesure. Par ailleurs la conductivité et le sodium n'évoluent pas de la même manière que les débits au niveau du point 4, elles restent importantes ce qui laisse supposer une absence de dilution (figure 46, 47, et 48).

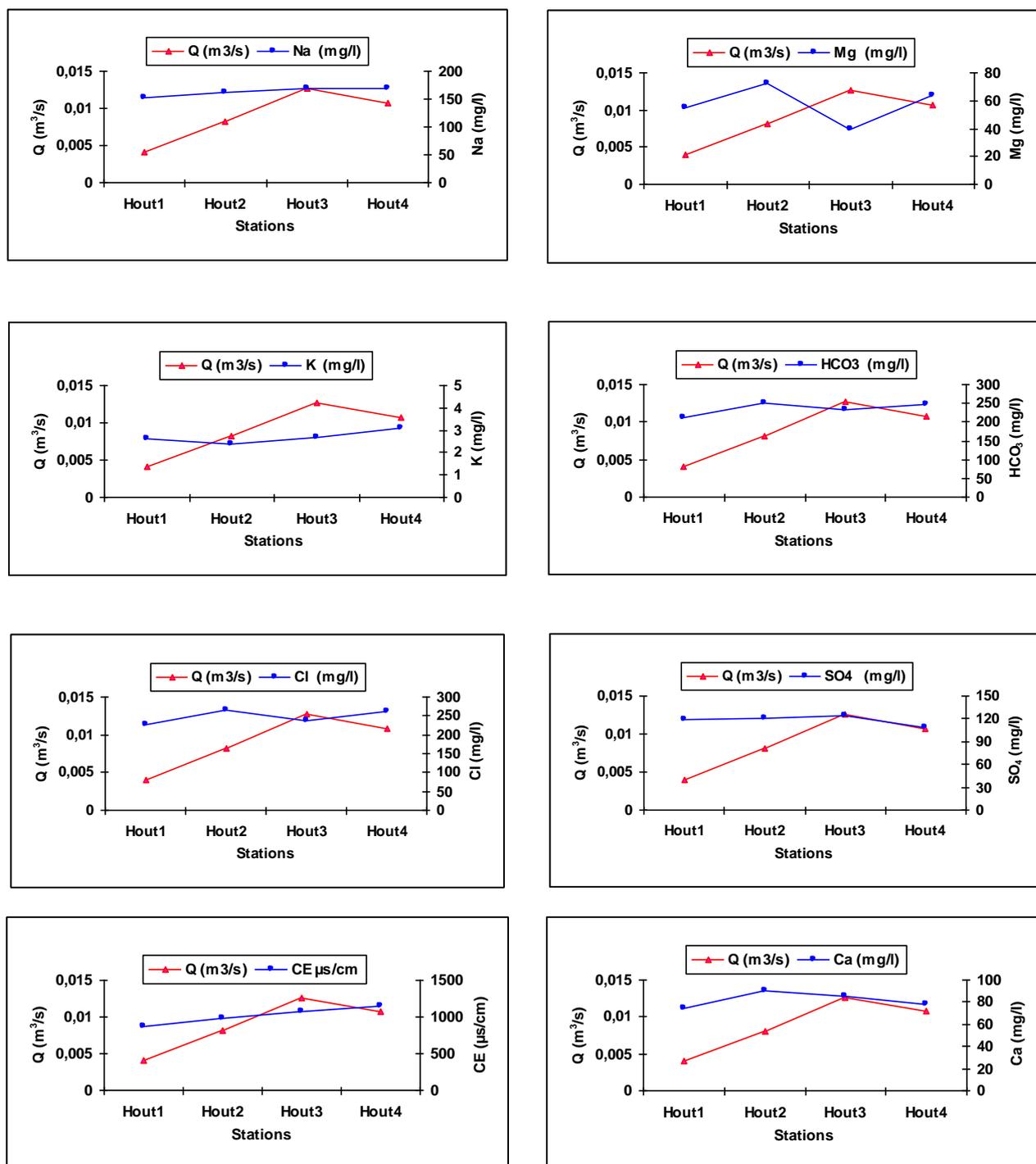


Figure 46: Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de l'oued El Hout (Janvier 2007).

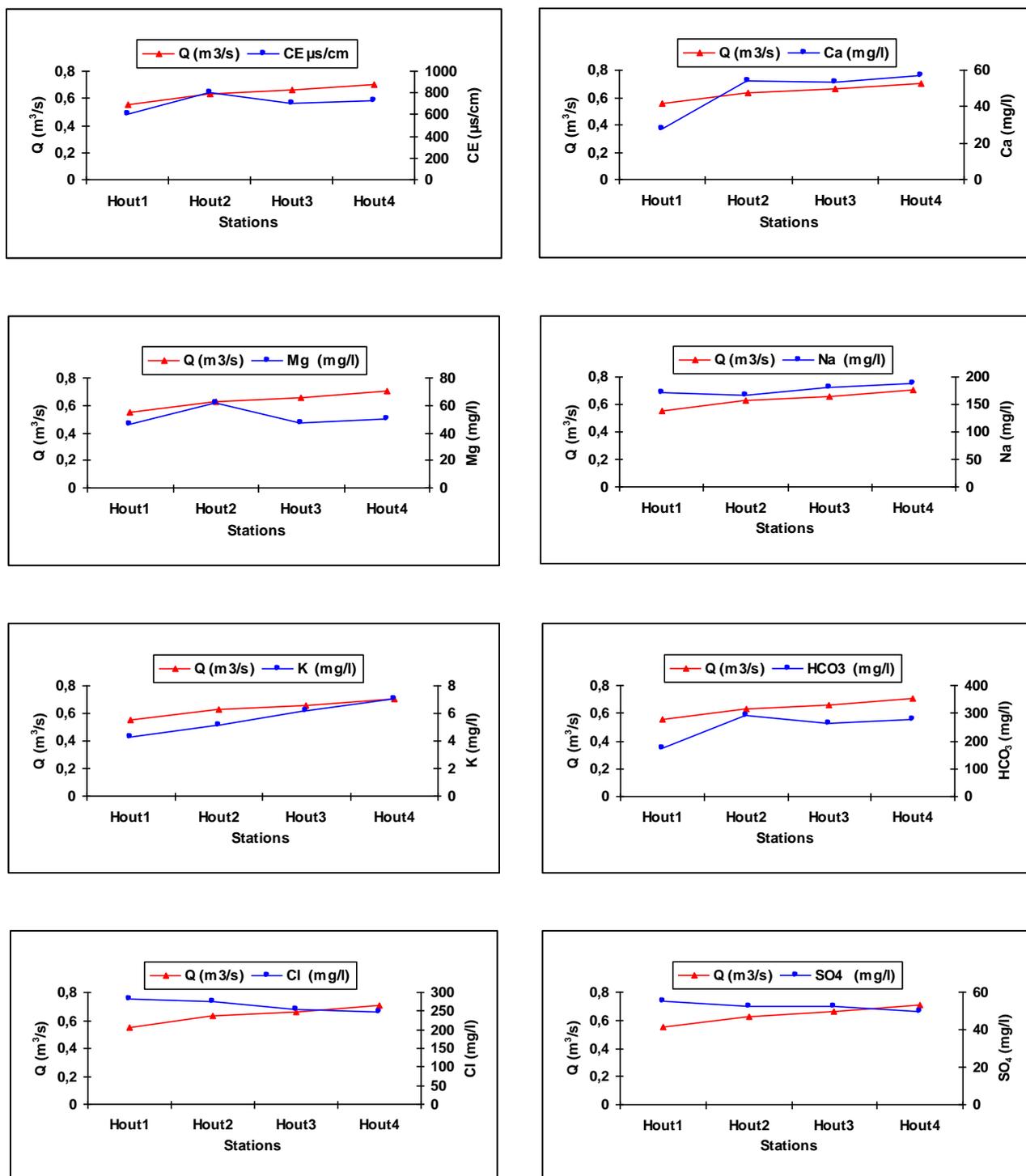


Figure 47: Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de oued El Hout (Mars 2007).

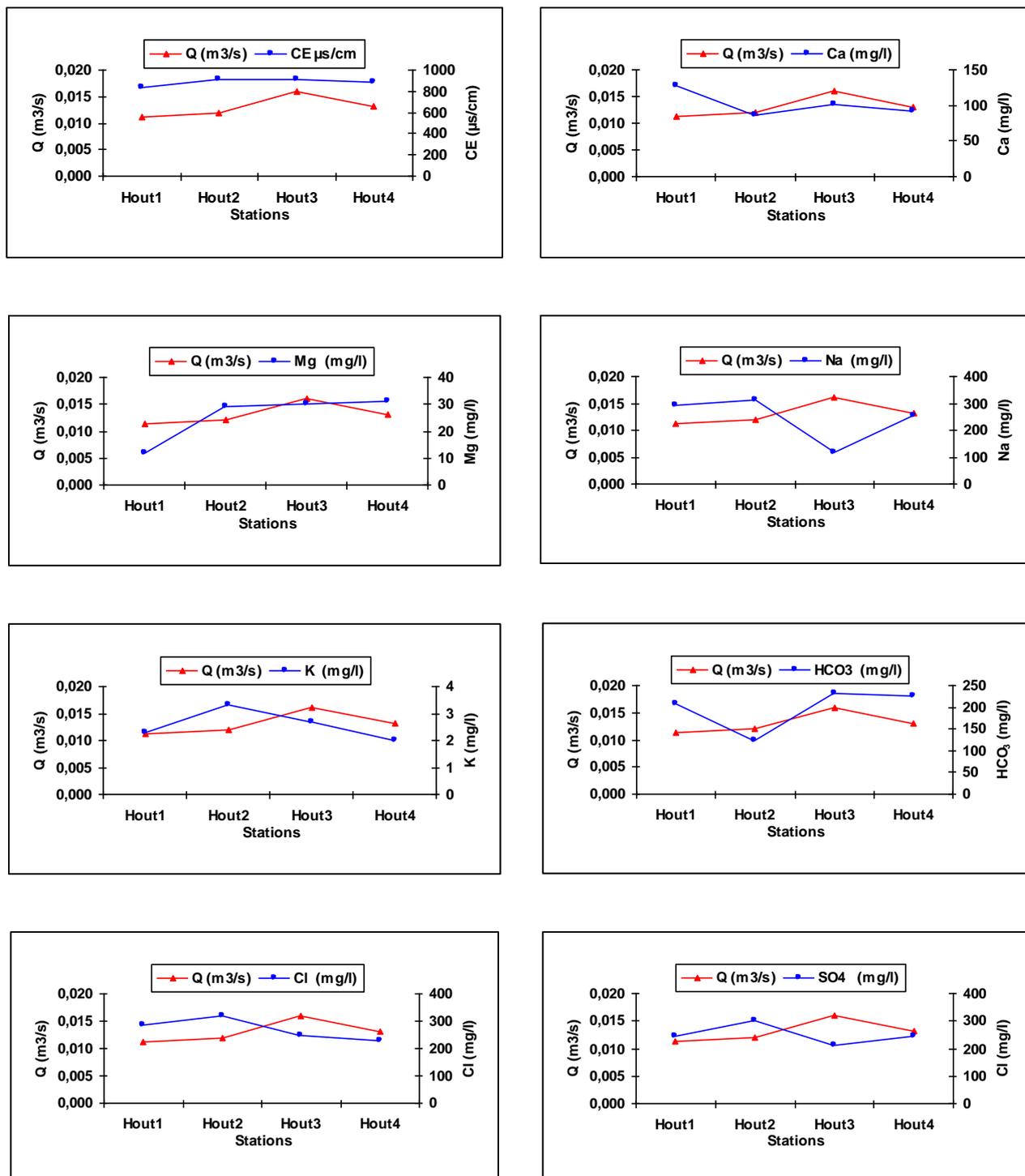


Figure 48: Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de oued El Hout (Mai 2007).

3.1.3. Oued Mellah

Nous remarquons une évolution analogue entre les différentes concentrations et les débits au niveau de trois points (Mel1, Mel2 et Mel3), par contre, au niveau de la station Mel4 (vers le lac), il y a opposition par rapport au débit. Nous remarquons aussi une évolution inverse entre le débit et le Sodium au niveau des quatre points de mesure. Les sulfates n'évoluent pas de la même manière que les débits durant la deuxième campagne (Mars 2007) (figure 49, et 50).

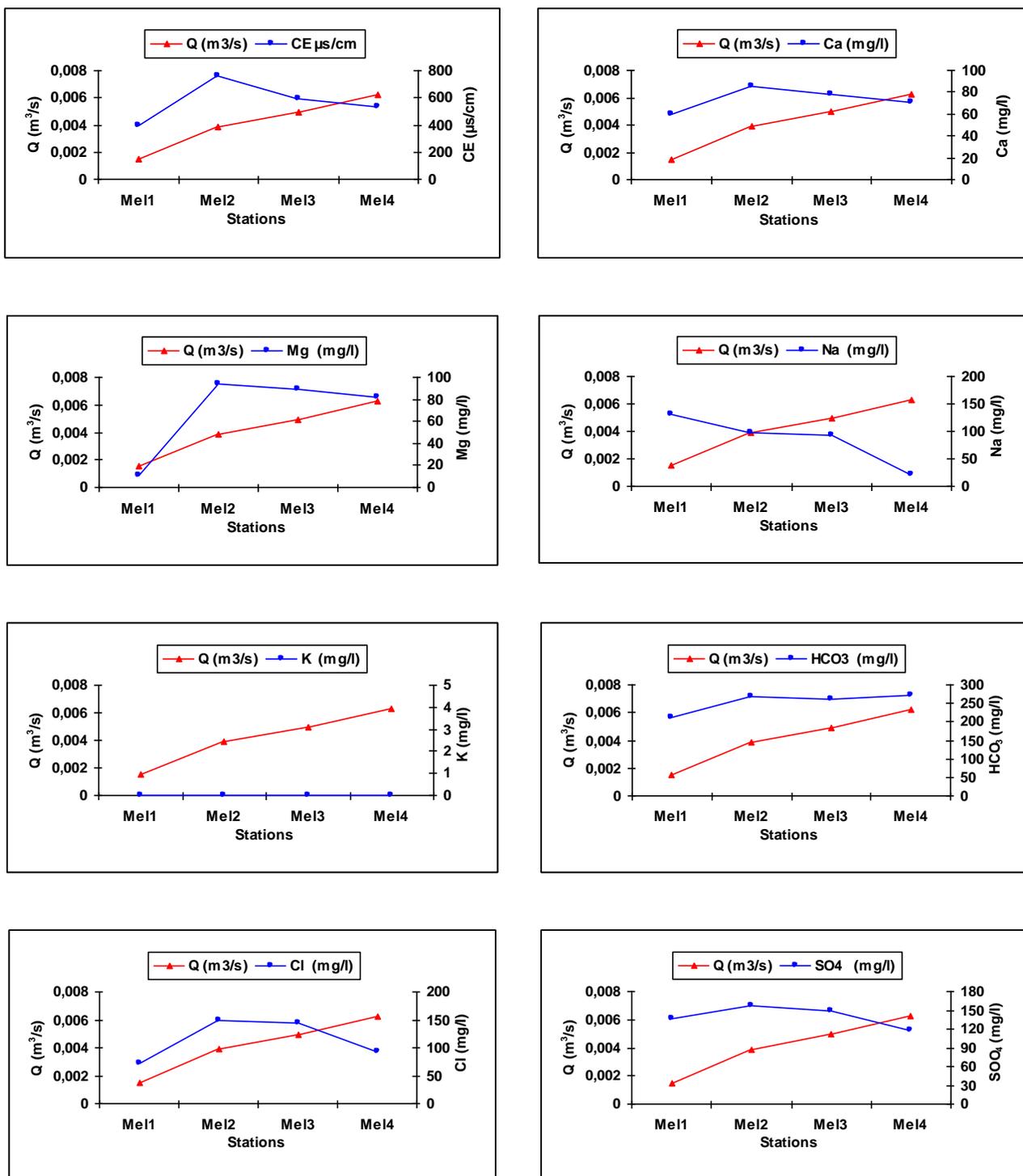


Figure 49: Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de oued Mellah (Janvier 2007).

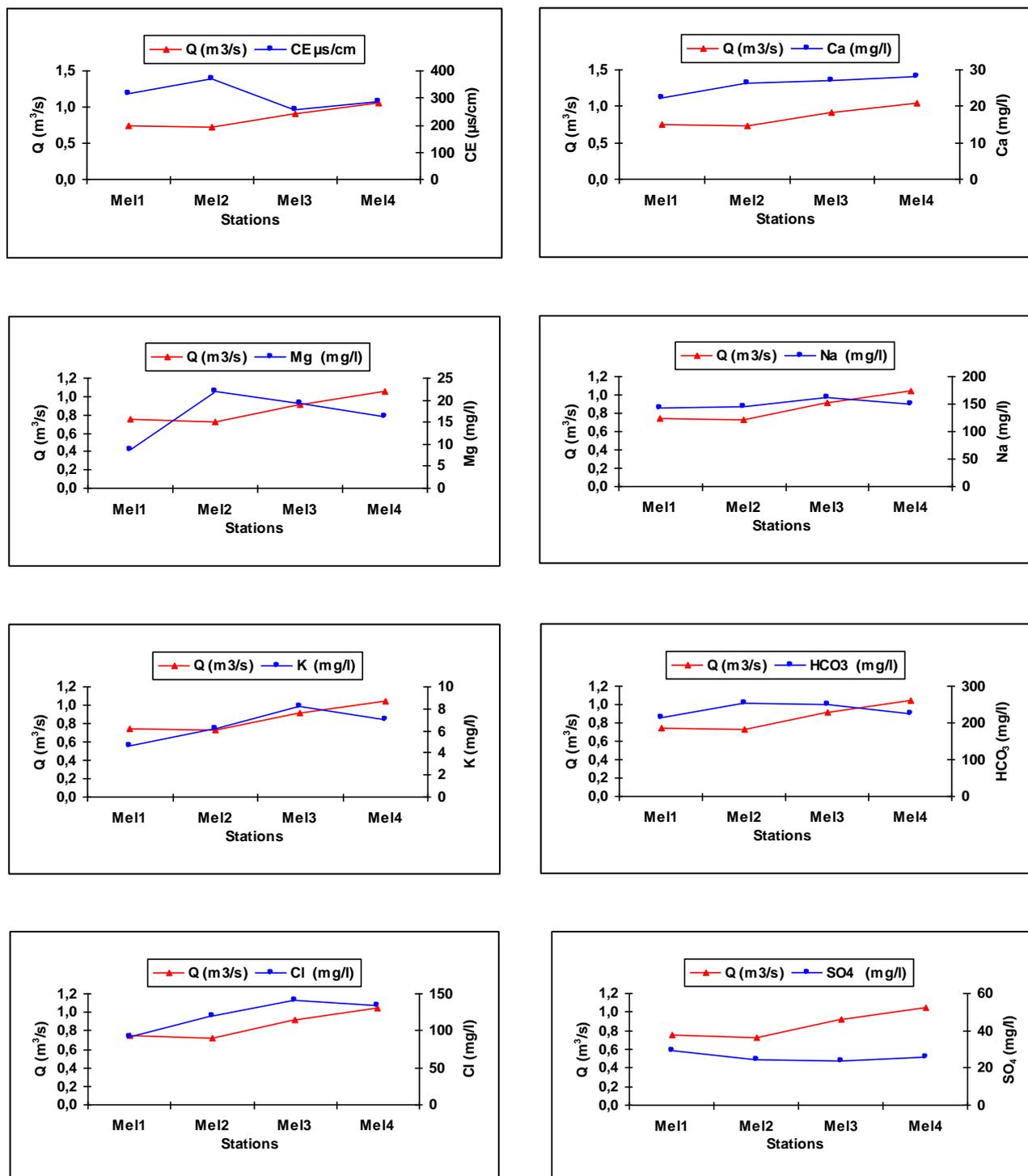


Figure 50 : Evolution des différentes concentrations en fonction de débit de oued Mellah (Mars 2007).

4. Evolution des concentrations le long de oued Meboudja

Les courbes d'évolutions des concentrations des eaux d'oued Meboudja durant les trois campagnes d'échantillonnage (Janvier, Mars et Mai 2007) montre une diminution des teneurs des éléments majeurs (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{-2}) pendant la deuxième et la troisième campagne sous l'effet des fortes précipitations (203,7 mm pour le mois de Mars et 17 mm pour le mois de Mai) qui diluent les concentrations.

Le débit atteint les $3.68 \text{ m}^3/\text{s}$, le pH augmente au cours de la troisième campagne (Mai 2007).

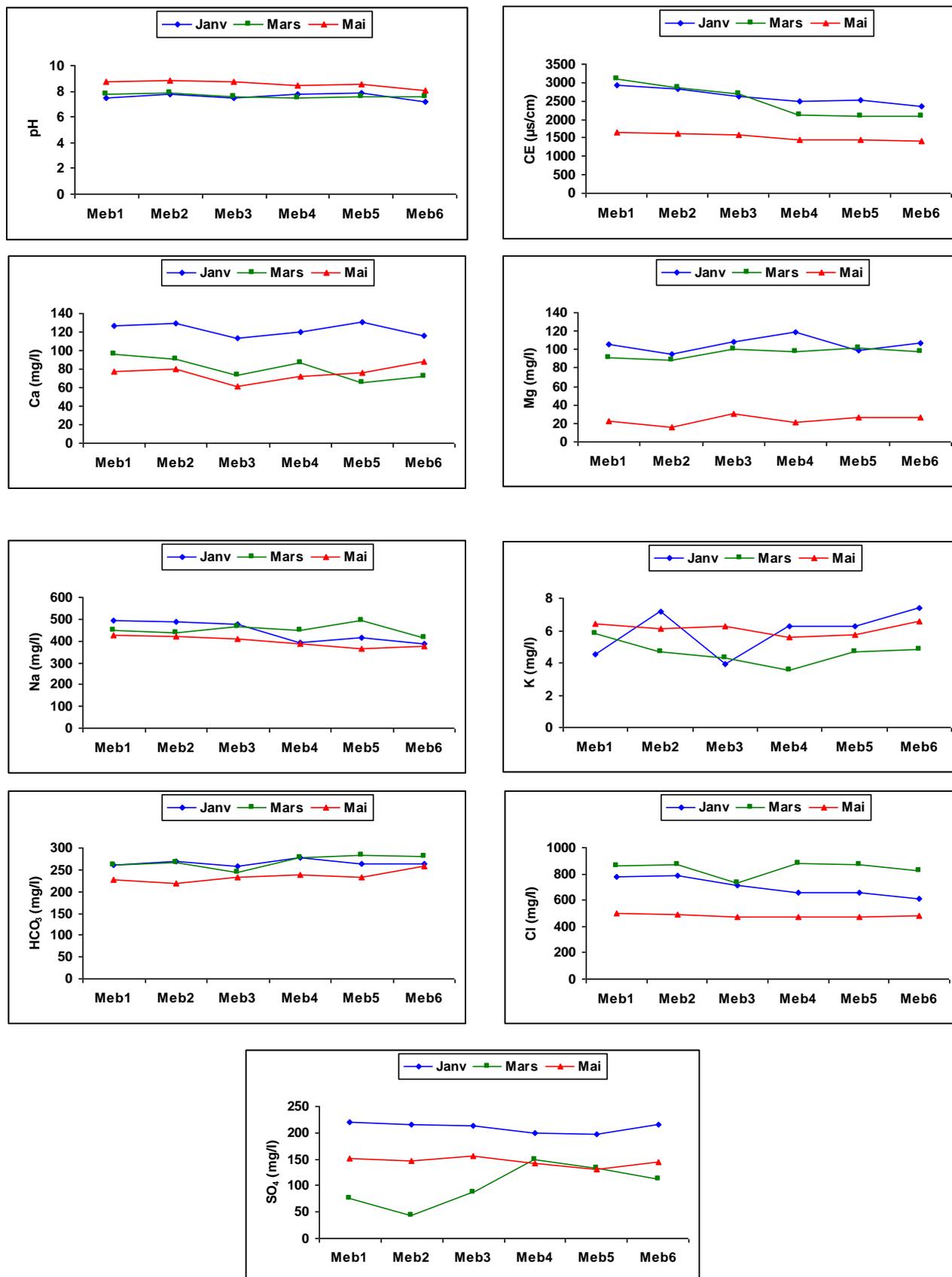


Figure 51 : Evolution des concentrations le long de oued Meboudja durant les trois campagnes (Janvier, Mars et Mai 2007)

5. Conclusion

L'étude hydrochimique des eaux souterraines (nappe entourant le lac Fetzara) et des eaux superficielles (Oued Meboudja, Zied, El Hout et Mellah), nous a permis d'avoir une idée sur l'évolution des concentrations dans l'espace et dans le temps. Les études statistiques par l'analyse en composante principale (ACP) ont montré que les chlorures et le sodium sont à l'origine de la minéralisation élevée des eaux, la forte minéralisation enregistrée dans la région de Cheurfa et celle de Oued Zied pour les eaux souterraines et au niveau de oued Meboudja pour les eaux de surface, ceci est confirmé par les résultats de la comparaison entre les flux des entrées et les flux de la sortie du lac. Les eaux sont caractérisées par la dominance de trois faciès chimiques : chloruré sodique, chloruré calcique et bicarbonaté sodique. Les concentrations des eaux diminuent d'une campagne à l'autre, due à une dilution des eaux sous l'effet des apports des fortes précipitations durant la période d'étude.

III. Qualité des eaux de la plaine de Annaba

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 ses affluents. Ces derniers reçoivent quotidiennement des centaines de mètres cubes d'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.

1. Résultats et interprétations

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 Meboudja et durant la période s'étalant du mois de janvier, avril et juin 2007.

1.2. Les eaux de surface

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 38 : Variations des concentrations des éléments majeurs 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
HCO3	11	11.00	266.531	42.270	210.000	371.067	
Cl	11	11.00	318.806	56.045	235.250	437.550	250
SO4	11	11.00	114.884	31.036	40.500	148.667	250
NO3 (mg/l)	11	11.00	2.406	1.946	0.570	7.093	50
NO2 (mg/l)	11	11.00	1.776	1.911	0.187	6.363	0.1
NH4 (mg/l)	11	11.00	4.067	4.606	0.580	13.117	0.5
PO4 (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 supérieur aux normes.

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

1.2.2. Analyse en composantes principales

◆ 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. (Figure 52)

Le facteur F1 (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 et les nitrites, les éléments majeurs caractérisant la minéralisation des eaux comme le Na, le Ca, le Mg, le SO₄ et le Cl, ces éléments semblent avoir la même origine. Les bicarbonates s'opposent aux éléments précités 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.

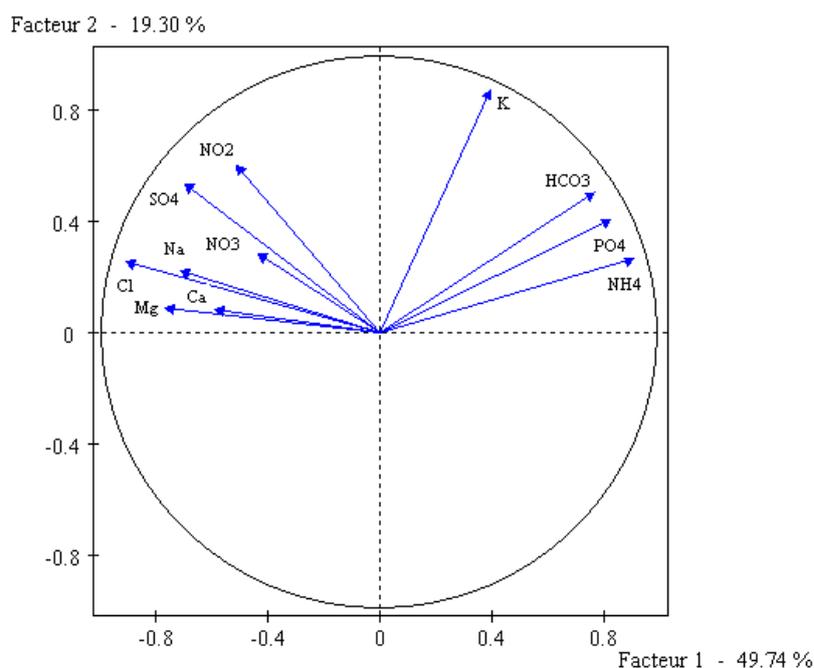


Figure 52 : Cercle ACP des eaux souterraines (eau de surface).

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.

1.3.1. Statistiques élémentaires

Les concentrations observées sont reportées dans le tableau ci-après (tableau 39).

Tableau 39 : 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
HCO ₃	16	16.00	271.477	52.977	189.467	385.933	
Cl	16	16.00	288.679	92.255	45.283	437.550	250
SO ₄	16	16.00	124.347	32.094	40.500	179.333	250
NO ₃	16	16.00	2.953	2.763	0.310	10.533	50
NO ₂	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).

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 a celle des eaux de surface, ce qui indique probablement une contamination des eaux de la nappe par les eaux des Oueds (figure 55).

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 expliquerai son lien avec les nitrites et l'ammonium caractérisant les rejets domestiques et industriels.

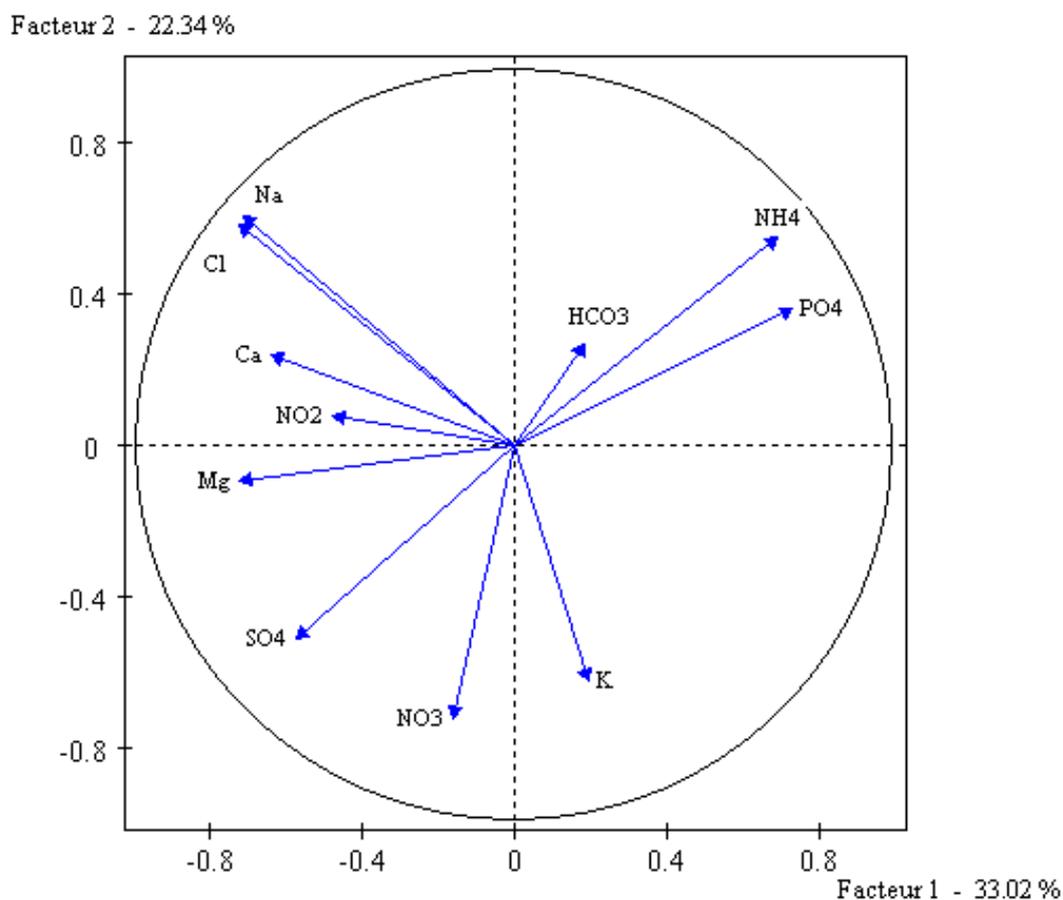


Figure 55 : Cercle ACP des eaux souterraines

La projection des individus (figure 56) 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 riches en nitrate et potassium (pollution agricole).

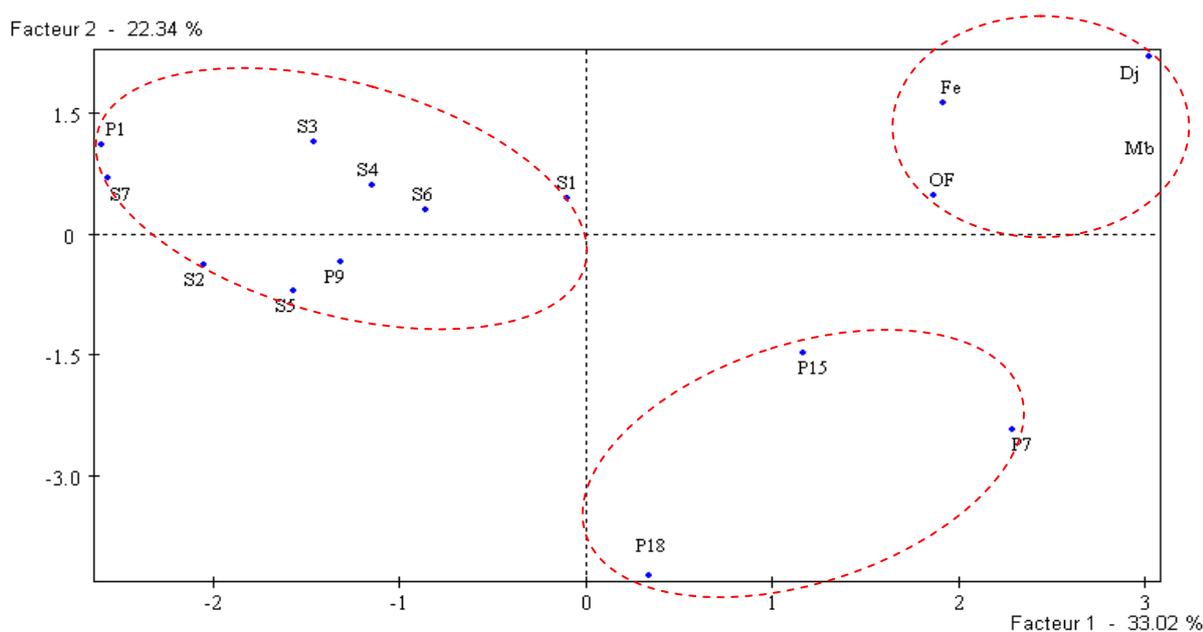


Figure 56 : Plan I-II des individus (eau souterraine).

1.4. 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 (Figure 57).

• 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 (C1S1,...C4S4) (tableau 40) 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 (Figure 57).

Tableau 40. 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 drainés.
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 ces affluents appartiennent à la même classe d'aptitude à l'irrigation ; classe C₃S₁, 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.

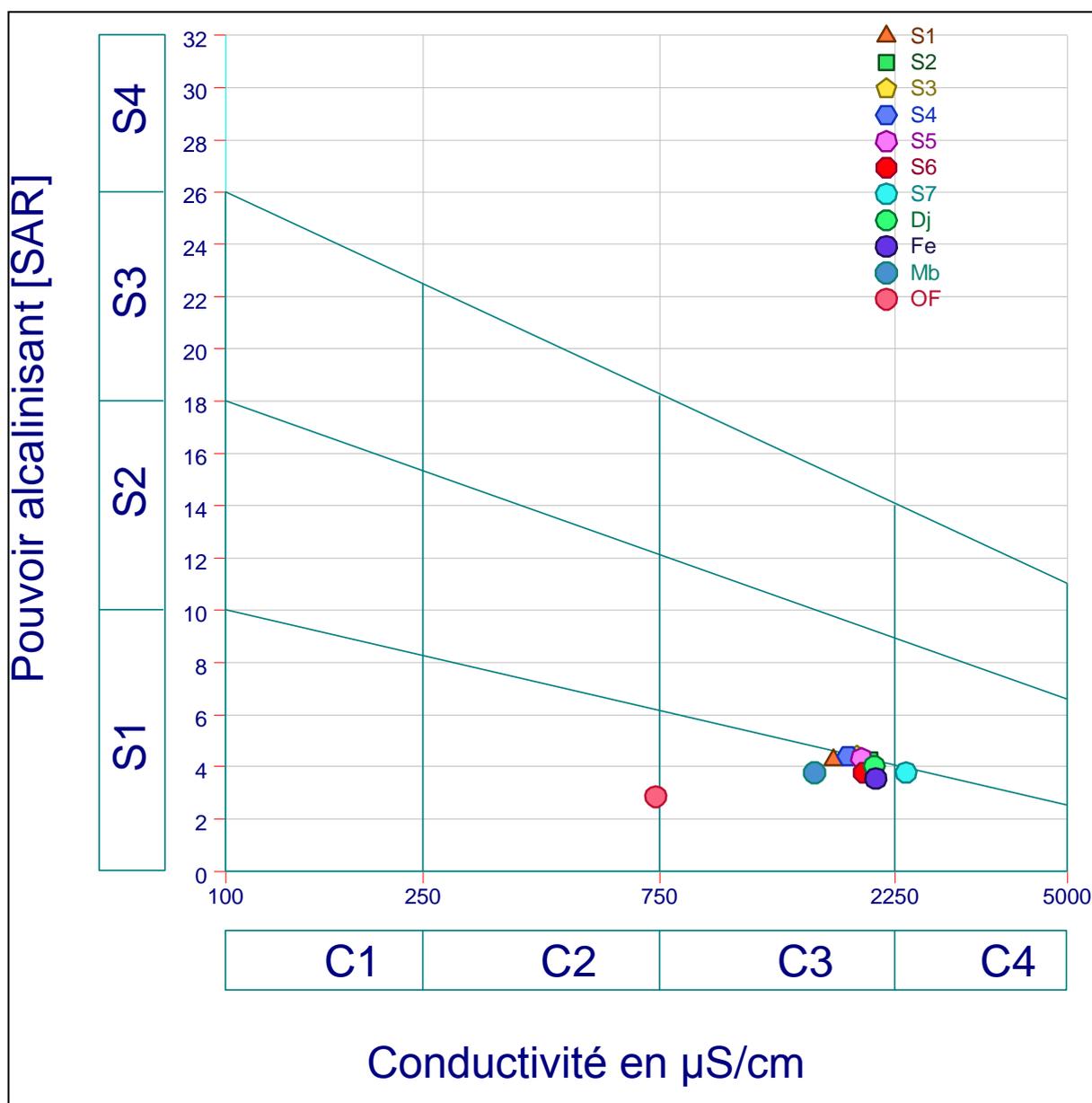


Figure 57 : Diagramme de richards

IV. 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.

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^+ .

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 58 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).

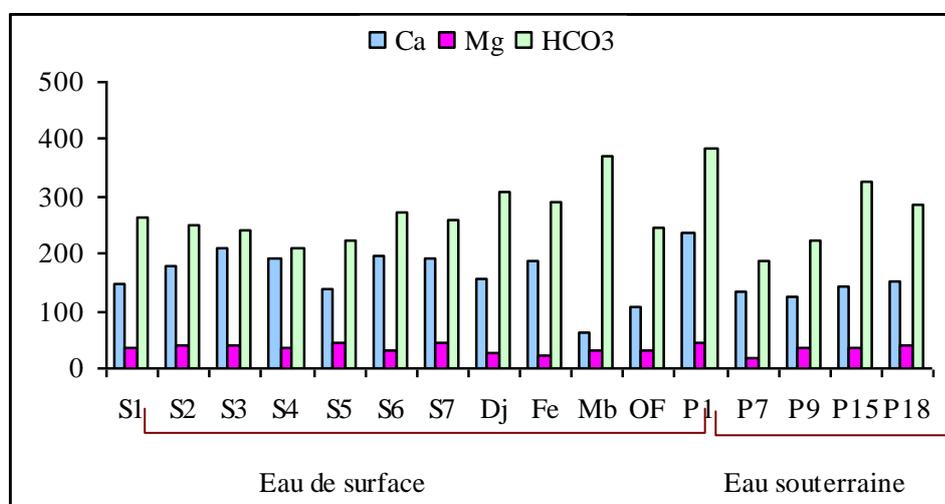


Figure 58 : Evolution des concentrations des éléments Ca^{2+} , Mg^{2+} & HCO_3^- .

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 (figure 59). Ces deux points sont très proches de l'Oued et par conséquent on retrouve des concentrations analogues à celles des eaux de l'Oued.

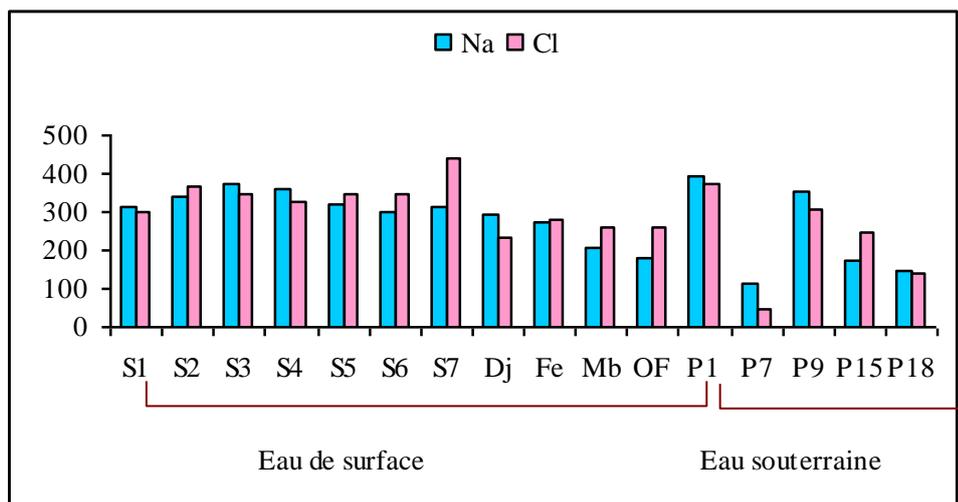


Figure 59 : Evolution de concentration des Cl et de Na.

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.

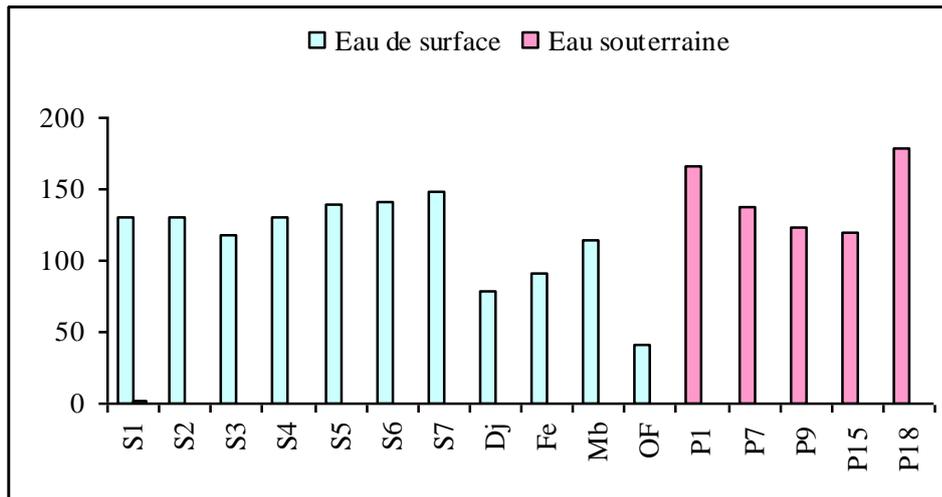


Figure 60 : Evolution de concentration de sulfate.

1.4. Evolution des concentrations en potassium :

Les fortes concentrations qui sont observées dans les puits P15 et P18 (figure 61) de la nappe superficielle peuvent avoir deux origines soit à l'utilisation des engrais chimiques, soit le lessivage des formations argileuses riches en potassium.

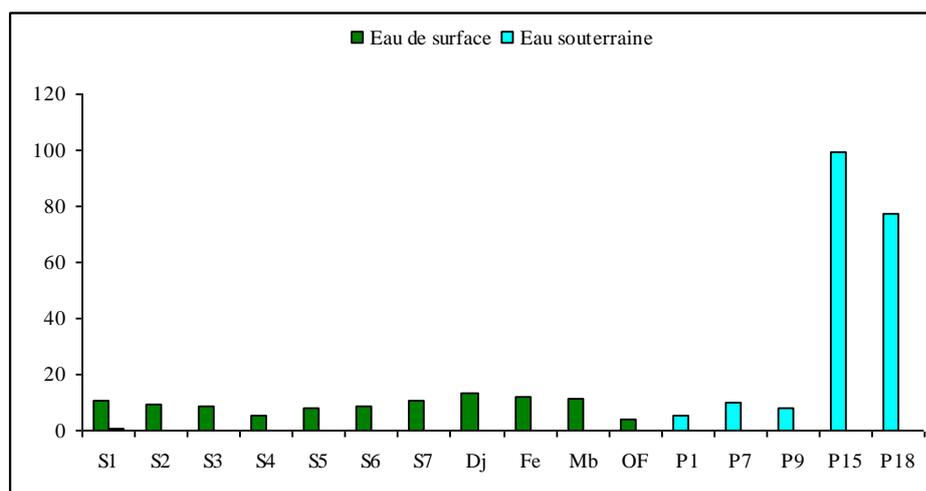


Figure 61 : Evolution de concentration de potassium.

1.5. Evolution des concentrations des Nutriments :

Au niveau des eaux de la nappes les nitrates dominent, leurs concentrations sont très importantes au niveau des puits P18 et P9 (figure 62), 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.

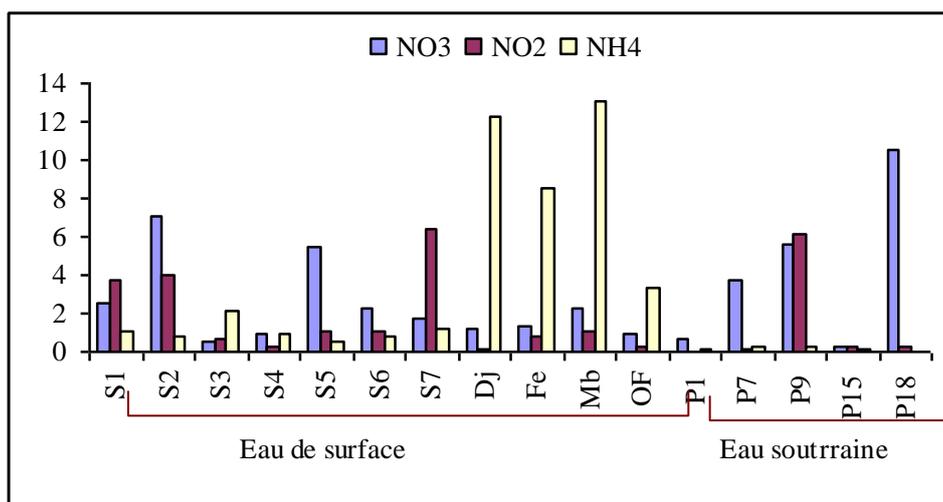


Figure 62 : Evolution de concentration de NO3, NO2 et NH4.

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 (figure 63) 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.

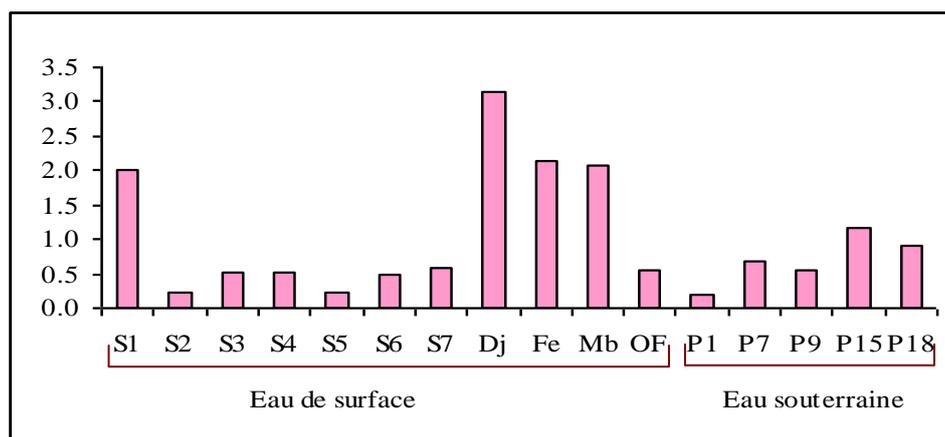


Figure 63 : Evolution de concentration de phosphate.

2. 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.

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.

V. Conclusion

L'étude hydrochimique des eaux souterraines (nappe entourant le lac Fetzara) et des eaux superficielles (Oued Meboudja, Zied, El Hout et Mellah), nous a permis d'avoir une idée sur l'évolution des concentrations dans l'espace et dans le temps. Les études statistiques par l'analyse en composante principale (ACP) ont montré que les chlorures et le sodium sont à l'origine de la minéralisation élevée des eaux, la forte minéralisation enregistrée dans la région de Cheurfa et celle de Oued Zied pour les eaux souterraines et au niveau de oued Meboudja pour les eaux de surface, ceci est confirmé par les résultats de la comparaison entre les flux des entrées et les flux de la sortie du lac. Les eaux sont caractérisées par la dominance de trois faciès chimiques : chloruré sodique, chloruré calcique et bicarbonaté sodique. Les concentrations des eaux diminuent d'une campagne à l'autre, due à une dilution des eaux sous l'effet des apports des fortes précipitations durant la période d'étude.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le sous bassin de la Seybouse étudié est renferme deux types de nappes, la première superficielle et la seconde captive. Les nappes superficielles, sont elles même au nombre de deux, la première entourant le lac Fedzara et la seconde s'étalant au niveau de la plaine d'El Hadjar, ces deux nappes communiquent entre elles par l'Oued Meboudja, qui joue le rôle de canal de vidange du lac. Cette situation nous a amené à étudier ces deux nappes séparément. Les mesures piézométriques réalisées au niveau des puits des deux nappes restent caractérisées par une morphologie de la surface piézométrique identique à la surface topographique et son allure reste la même pendant les campagnes réalisées. 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 montre 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.

► la zone étudiée se situe dans le nord est Algérien entre Bouchegouf et Annaba, elle se caractérise par une topographie hétérogène caractérisant chaque zone a cet effet on distingue :

-le versant nord du tell, la plaine d'Annaba et la cuvette du lac Fetzara.

-la moyenne Seybouse caractérisée par oscillation de l'altitude, celle-ci passe de 400mètres à Bouchegouf à zéro mètre au niveau de Annaba, ce changement accélère les écoulements et par conséquent le déplacement des polluants.

-le couvert 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 Néo protérozoïque 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.

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.

La région d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de : 673.46 mm (Salines), 625.22 mm (pont Bouchet), 627.45 mm (Ain Berda), 687.77 mm (Berrahal). La température moyenne annuelle de l'ordre de 17.79 °C est enregistrée à la station des Salines. L'étude hydrologique basée sur l'observation des débits des deux affluents de la Seybouse, Mellah et Ressoul, montre des débits relativement faibles au niveau du Ressoul mais importants au niveau du Mellah. Cette évolution se fait de manière irrégulière et se fait en fonction des saisons. Par le biais de ces apports il y a un accroissement de la lame d'eau d'amont en aval.

Les eaux de la zone étudiée, restent confrontées à une pollution de divers origines, cette dernière peut être soit naturelle soit anthropique. Quand elle est générée par l'homme est elle simultanément urbaine, industrielle et agricole. Le recensement des facteurs de pollution montrent que cette dernière évolue dans le temps dans l'espace, ce qui a nécessité la réalisation d'analyses chimiques portant sur les éléments majeurs pour la détermination de la pollution naturelle.

Le dosage des ETM, des nutriments et de la bactériologie était destiné à la mise en évidence d'une pollution anthropique. Le mémoire réalisé comporte plusieurs parties complémentaires réalisées dans le souci de cerner les origines de la pollution.

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

► L'étude hydrochimique et bactériologique des eaux superficielles (Oued Seybouse et ses affluents) et des eaux souterraines (nappe superficielle), nous 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 d'étude. Pour la détermination de la qualité des eaux, nous nous sommes basés sur les résultats fournis par les méthodes suivantes :

L'analyse statistique (ACP), réalisée a montré é que les eaux superficielles sont chargées. Les éléments majeurs Cl^- , Na^+ , Ca_2^+ , Mg_2^+ , SO_4^{2-} , évoluent ensemble, ce qui impliquent qu'ils ont la même origine et proviendraient du contact eau roche, ce met 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, S3, Dj et Mb.

Les eaux de la nappe superficielle sont également affectées par les différents types de pollution : industrielle, urbaine et agricole. Ce qui confirme la présence d'une alimentation des eaux de la nappe par les eaux superficielles.

Cette étude a été menée afin de connaître l'état actuel de la qualité des eaux de la région, son évolution dans le temps et dans l'espace, d'évaluer les propriétés physiques et physicochimiques des sols menacés par le phénomène de salinisation et d'étudier leur influence sur la qualité des eaux de la région.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- Abdi A., Brinis N. et Saadi E., 1991,**"Géophysique, Hydrogéologie, Hydrochimie de la vallée de la Seybouse –Guelma, Bouchegouf et Moumna-", 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.
- 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.
- Boukhouna 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, Boucheougouf et Annaba; Est algérien)". Revue Hydrogeologia (Espagne). 1997. 14: 77-91.
- Djabri L & al, 2000,** " Conséquences des pratiques agricoles sur la qualité des eaux du bassin de la Seybouse (Est algérien)" Actes du colloque ESRA'2000, Poitiers, S3, pp.39-42.
- Djabri L & al, 2003,** "Potential pollution of groundwater in the vally of the Seybouse River, north-eastern Algeria" Environmental geology 44: 738-744.
- Djabri L & al, 2003,** " l'Algérie, un pays en voie de développement, a-t-elle déjà développé un biseau sale ?", tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos. IGME. Madrid 2003. ISBN. 84-7840-470-8
- Djabri L & al, 2007,** "Origin of water salinity in a lake and coastal aquifer system". Environmental Geology. DOI10.1007/s00254-007-0851-2_Springer-Verlag 2007.
- Deschamps T & al, 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
- 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 & al, 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.