

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année 2008

Faculté des Sciences de la Terre  
Département de Géologie

## MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

## MAGISTER

## THÈME

**IMPACT DE L'OUED BOUNAMOUSA SUR LA  
QUALITÉ DES EAUX DE LA NAPPE ALLUVIALE  
SUPERFICIELLE D'EL ASFOUR  
(WILAYA D'EL TARF)**

Option: Géosciences

Présenté par

**M<sup>ELLE</sup> BOUKHNOUNA Sabah**

Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar-Annaba

Directeur de mémoire: H. CHAFFAI

MC (U.B.M. Annaba)

## DEVANT LE JURY

Président: R. LAOUAR

Professeur (U.B.M. Annaba)

Examineurs: L. DJABRI

Professeur (U.B.M. Annaba)

A. HANI

Professeur (U.B.M. Annaba)

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année 2008

Faculté des Sciences de la Terre  
Département de géologie

## MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

## MAGISTER

## THÈME

**IMPACT DE L'OUED BOUNAMOUSA SUR LA  
QUALITÉ DES EAUX DE LA NAPPE ALLUVIALE  
SUPERFICIELLE D'EL ASFOUR  
(WILAYA D'EL TARF)**

Option: Géosciences

Présenté par

M<sup>ELLE</sup> BOUKHOUNA Sabah  
Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar-Annaba

Directeur de mémoire: H. CHAFFAI

MC (U.B.M. Annaba)

## DEVANT LE JURY

Président: R. LAOUAR

Professeur (U.B.M. Annaba)

Examineurs: L. DJABRI

Professeur (U.B.M. Annaba)

A. HANI

Professeur (U.B.M. Annaba)

## Remerciements

Au terme de cette étude, je tiens en premier lieu à remercier **Dieu** qui m'a facilité le travail en mettant sur mon chemin des gens qui m'ont énormément aidé et soutenu.

J'exprime ma profonde reconnaissance à mon encadreur M. CHAFFAI .H, pour ses conseils et l'intérêt qu'il a manifesté pendant la réalisation et la mise en forme de ce mémoire de Magister.

Mes sincères remerciements à Monsieur A. ZERDAZI, pour ses orientations, son aide précieuse dans la mise en forme, l'interprétation et la correction de la partie géophysique, travail réalisé sous sa direction pendant les stages de 4<sup>ème</sup> année Hydrogéologie.

Ma reconnaissance s'adresse également à M<sup>me</sup> S. LAOUAR-SALMI pour sa contribution malgré ses préoccupations, qu'elle soit remerciée pour l'aide et l'encouragement dont j'ai bénéficié pour l'étude géologique de la région.

Je remercie également les membres du Jury qui ont accepté de lire et de juger mon travail.

Je remercie profondément les personnes qui m'ont été d'un énorme soutien : Madame RAMDANI Assia, Chef de Service à l'APC d'El Asfour qui m'a beaucoup encouragé et accompagné sur le terrain, ainsi que toutes les personnes qui travaillent au niveau de l'APC.

Mes remerciements vont également à :

- ➔ Mme BACHA CADI : Laboratoire central de l'Algérienne des Eaux de Annaba.
- ➔ M. Rachid : Chef de Service Hygiène (Centre de Santé, Annaba).
- ➔ Le Chef de Service du laboratoire de la société national de pétrochimie (Complexe Matières Plastiques), Skikda.
- ➔ La Direction de l'agriculture d'El Tarf.
- ➔ Le Laboratoire de Toxicologie « Hôpital Ibn Sina ».
- ➔ Le Secteur Sanitaire de Dréan.

Une grande partie de ce travail m'était facilitée grâce à l'aide de mon collègue Drouiche Abdelmalek, qu'il trouve ici, l'expression de ma profonde gratitude.

Je n'oublierai jamais l'aide, les conseils, les encouragements et surtout le soutien moral de ma famille et de mes chers collègues spécialement : Samira, Brahim, Fatiha, Nadjib, Badri, Amel, Fawzi, Nabil et toutes mes amies de la cité Chaiba. Si par mégarde, j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié pour tout.

A toutes les personnes qui n'ont pas hésité un seul instant à m'encourager même avec un sourire, je vous remercie de tout mon cœur.

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

*A mes chers parents et à ma deuxième maman « Yamina ».*

*A mes trois frères que j'aime dans cette vie, Mourad, Samir, Kamel.*

*A mes sœurs.*

*« Hana, Mahouda, Oussama »*

*A toute la famille.*

*A la promotion de Magister « 2006 »*

*A tous ceux que j'aime et enfin à moi-même.*

***Sabah BOUKHNOUNA***

# الملخص

إن تلوث المياه هو مفهوم دائم التطور، أصبح يشكل في يومنا هذا خطرا حقيقيا يهدد البيئة ومن ثمة صحة الإنسان.

النتائج المتحصل عليها من خلال دراستنا للجيولوجيا و العلوم الجيوفيزيائية وكذلك الهيدروجيولوجية بالاضافة الى دراسة مشاكل التلوث على مستوى سهل منطقة العصفور، تسمح لنا بتوضيح المصادر الرئيسية ومدى تطور العناصر الكيميائية والبكتيريولوجية على مدى المكان و الزمان.

إن استعمال مياه واد بوناموسة لسقي الاراضي الزراعية يطرح مشاكل صحية، تظهر جليا من خلال وجود العناصر الكيميائية السامة والفطريات المعدية التي قد تؤدي الى فقدان نوعية المياه السطحية وكذلك الجوفية للسهل.

من اجل معرفة مدى تأثير مياه واد بوناموسة على المياه السطحية للسهل، قمنا بمقارنة كمية مختلف عناصر التلوث لمياه السقي وكذلك مياه السهل بالاستناد على عينات من الابيار المائية خلال فترة السقي. إن تسرب مياه سد الشافية يلعب دورا هاما في تحسين نوعية مياه واد بوناموسة، اين تصبح امكانية استعماله ممكنة مع اخذ الاحتياطات اللازمة في مجال السقي.

حوصلة هذه الدراسة لنوعية مياه منطقة العصفورتبين لنا وجود نسبة كبيرة من العناصر العضوية كالنترات،النترت ، الامونيوم و الفوسفات. هذه النتائج تبين المصادر المختلفة للتلوث والتي قد تكون زراعية وحضرية بالنسبة للعناصر العضوية وطبيعية عن طريق تحلل الصخور بالنسبة للعناصر المعدنية مثل الكلور والصدويم وغيرهم من المواد المعدنية.

**كلمات المفتاح :** سهل العصفور، تلوث ، النوعية ، ملوث بكتيريولوجي ، المياه السطحية ، تأثير مياه السقي، تسرب مياه السد.

# Abstract

The water pollution is a concept which is in constant evolution .it constitutes today a true threat for the environment and well on for the health of the man.

The obtained results study the geology, the geophysics and the hydrogeology and the study of the problems of pollution at the level of the alluvial plain of El Asfour.we allowed determining the origins and the evolution of the chemical and bacteriological pollutants in the space and in the time.

The usage of the waters of the oued Bounamoussa for the irrigation of the agricultural earths imposes the taken one in consideration of the sanitary risks linked to the presence potentielle of toxic chemical composite and infectious germs that can degrade the superficial thus underground water quality of the plain.

To have the impact of the waters of irrigation on superficial waters of the plain, one compared the contents in different pollutants in the water irrigation and in the tadlecloth, of which the samplings carried out themselves in well was done during the irrigation period.

The cowards of the barrier of Chaffia play in important role in the improvement of the quality of the waters of oued Bounamoussa. Of which the usage of these waters becomes possible with precautions in the irrigation domain.

the body of this study on the quality of the waters of the plain, does to appear the existence of the strong concentrations in nutritious elements such as  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$  and  $\text{PO}_4$ , and in major elements of the mineralization as Na, Cl,... indicates a multiple origin of the pollution that seems be agricultural and urban for the first, and natural one by the the action of washings of the geological formations for the second.

## **Keywords:**

Alluvial plain of El Asfour, Pollution, Pollutants bactériologiques, water superficial quality, the impact of the waters of irrigation, the cowards of the barrier.

# Résumé

La pollution des eaux est une notion en constante évolution. Elle constitue aujourd'hui, une véritable menace pour l'environnement et pour la santé de l'homme.

Les résultats obtenus après une synthèse géologique, géophysique et hydrogéologique et l'étude des problèmes de pollution au niveau de la plaine alluviale d'El Asfour, nous ont permis de déterminer les origines et l'évolution des polluants chimiques et bactériologiques dans l'espace et dans le temps.

L'utilisation des eaux de l'Oued Bounamoussa pour l'irrigation des terres agricoles, impose la prise en considération des risques sanitaires liés à la présence potentielle de composés chimiques toxiques et des germes infectieux, qui peuvent dégrader la qualité des eaux superficielles ainsi que souterraines de la plaine.

Pour avoir une idée de l'impact des eaux d'irrigation sur les eaux superficielles de la plaine, on a comparé les teneurs de différents polluants dans les eaux d'irrigation et dans la nappe. Les prélèvements ont été effectués dans puits, durant *la période d'irrigation*.

Les lâchers du barrage de La Chaffia, joue un rôle important dans l'amélioration de la qualité des eaux de l'Oued Bounamoussa, dont l'utilisation devient possible avec précautions dans les domaines d'irrigation.

L'ensemble de cette étude sur la qualité des eaux de la plaine, fait apparaître l'existence de fortes concentrations en éléments nutritifs tels que  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$  et  $\text{PO}_4$ , et en éléments majeurs de la minéralisation comme Na, Cl,... ce qui indique une origine multiple de la pollution, vraisemblablement agricole et urbaine pour les premiers, et naturelle par l'action du lessivage des formations géologiques pour les seconds.

**Mots clés :** Plaine alluviale d'El Asfour, Pollution, Polluants bactériologiques, Qualité eaux superficielles, Impact eau d'irrigation, Les lâchers du barrage.

# SOMMAIRE

	Page
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	1
<b>1<sup>ère</sup> PARTIE: PRÉSENTATION DU SITE</b>	3
<b>Chapitre I : Identification du site</b> .....	4
1 Situation géographique.....	4
2. Aperçu socio-économique.....	5
2.1. l'Agriculture .....	5
2.2. L'industrie.....	5
2.3. La population.....	5
3. Aspect géomorphologique .....	5
3.1. Principales formes .....	5
3.1.1. Bassin versants .....	5
3.1.2. Les terrasses.....	5
3.1.3. La plaine .....	5
3.1.4. Le relief limitant la plaine.....	6
3.1.4.1. Les ensembles des unités allochtones (Flysch et Nappe).....	6
3.1.4.2. Les marécages.....	7
3.1.4.3. La végétation .....	7
4. Conclusion .....	8
<b>Chapitre II : Détermination des aquifères et leur géométrie</b> .....	9
<b>1. L'outil géologique</b> .....	9
1.1. Aperçu géologique régional.....	9
1.1.1. Description lithostatigraphique.....	9
1.1.1.1. Le Secondaire.....	9
1.1.1.2. Le Tertiaire.....	13
1.1.1.3. Le Quaternaire.....	14
1.1.2. La tectonique régionale.....	15
1.1.2.1. Etage structural géosynclinal .....	15
1.1.2.2. Etage structural du stade récent de l'orogénèse .....	15
1.1.2.3. Etage du stade final de l'orogénèse.....	16
1.2. Géologie locale.....	16
1.3. Conclusion.....	18
<b>2. L'outil géophysique</b> .....	18
2.1. Principes généraux de la méthode des résistivités.....	18
2.1.1. Mesure de la résistivité du sous-sol .....	18
2.1.2. Sondage électrique.....	20
2.2. Travaux effectués .....	23
2.3. Echelle de Résistivité .....	24
2.4. Interprétation des cartes de résistivités apparentes.....	27
2.4.1. Carte de résistivités apparentes en AB = 20m (Horizon I) .....	27
2.4.2. Carte de résistivités apparentes en AB = 50m (Horizon II).....	27
2.4.3. Carte de résistivités apparentes en AB = 200 m (Horizon III).....	27
2.2.5. Interprétation des coupes géoélectriques .....	29
2.6. La géométrie du système aquifère .....	32
2.6.1. Epaisseur de la nappe des graviers .....	33
2.6.2. Zonation des résistances transversales des formations aquifères.	33
2.7. Conclusion.....	33

<b>3.</b>	<b>L'outil hydrogéologique.....</b>	<b>35</b>
3.1.	Identification des nappes.....	35
3.2.	Détermination des paramètres hydrodynamiques de La nappe profonde.....	36
3.3.	La piézométrie de l'aquifère.....	36
3.3.1.	Inventaire des points d'eau.....	36
3.3.2.	Etude de la piézométrie de la nappe superficielle.....	37
3.4.	Relation hydrodynamique entre la nappe superficielle et l'Oued...	39
3.5.	Conclusion.....	40

## **2<sup>ème</sup> PARTIE : DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES CLIMATOLOGIQUES DE SITE**

<b>Chapitre I : Hydroclimatologie de la zone d'étude.....</b>	<b>42</b>	
1.	Les stations de mesures.....	42
2.	Les facteurs climatiques.....	42
2.1.	La température.....	42
2.2.	Le vent.....	43
2.3.	L'humidité relative de l'air.....	43
2.4.	La précipitation.....	44
3.	Diagramme ombrothermique .....	44
4.	L'évapotranspiration .....	45
4.1.	L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	46
4.2.	L'évapotranspiration réelle (ETR) .....	46
5.	Comparaison .....	48
6.	Estimation de Ruissellement .....	48
7.	Estimation l'infiltration .....	49
8.	Calcul du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite.....	49
9.	Interprétation du bilan hydrique .....	51
10.	Conclusion .....	52

<b>Chapitre II : Hydrologie de surface.....</b>	<b>53</b>	
1.	Station hydrométrique .....	53
2.	Le réseau hydrographique .....	53
3.	Etude des débits .....	54
3.1.	Moyennes mensuelles interannuelles.....	54
3.2.	Variation des débits moyens annuels .....	55
3.3.	Coefficient moyen des débits .....	55
4.	Conclusion .....	56

## **3<sup>ème</sup> PARTIE : DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DU SITE**

<b>Chapitre I : Analyse Agro-pédologique.....</b>	<b>58</b>	
1.	Les ressources en sols et leurs classifications .....	58
1.1.	Classe des sols peu évolués.....	58
1.2.	Classe des vertisols.....	59
2.	Les aptitudes culturales en irrigue .....	60
3.	Importance socio-économique des cultures.....	60
4.	Conclusion .....	61

<b>Chapitre II : Etude qualitative des eaux du site</b> .....	62
1. Stratégie et but de l'échantillonnage.....	62
2. Résultats et interprétation des analyses chimiques.....	63
2.1. Analyse statistique des paramètres physico-chimique.....	63
2.2. Faciès chimique.....	64
3. Statistiques monodimensionnelles des paramètres physico-chimique.....	67
4. Analyse en composantes principales (ACP), périodes 2006 et 2007.....	68
5. Evolution des éléments chimiques des eaux d'El Asfour .....	77
6. Conclusion.....	80
<b>Chapitre III : Impact des eaux d'irrigation sur l'aquifère superficiel</b> .....	81
1. Qualité des eaux d'irrigation.....	81
1.1. Aptitude des eaux de l'oued Bounammoussa à l'irrigation.....	81
1.2. Le risque de salinité.....	81
1.3. Evolution temporelle et spatiale de la salinité.....	82
1.4. Le risque de sodicité.....	83
2. Pollution des eaux d'irrigation.....	85
2. 1. Les eaux usées domestiques.....	86
2. 2. Pollution par les nutriments.....	86
2. 3. Pollution bactériologique.....	87
3. Effets des lâchers du barrage sur la qualité bactériologique des eaux d'irrigation.....	93
4. Qualité des eaux superficielles.....	94
4.1. Les éléments de la pollution .....	94
4.1.1. Pollution bactériologique.....	94
4.1.2. Pollution agricole.....	97
5. Conclusion.....	98
<b>Chapitre IV : Evolution de la pollution organique</b> .....	101
1. Carte d'inventaire des points d'eau.....	101
2. Evolution des éléments chimiques (Période 2004 à 2007).....	102
2.1. Les Nitrates.....	102
2.1.1. Période des basses eaux.....	102
2.1.2. Période des hautes eaux.....	102
2.2. Les Nitrites.....	104
2.2.1. Période des basses eaux.....	104
2.2.2. Période des Hautes eaux.....	104
2.3. L'Ammonium.....	105
3. Conclusion.....	107
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS</b> .....	108
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	113

## Liste des Figures

Fig.1.	Carte de situation géographique .....	4
Fig.2.	Contexte géologique du Nord-Est Algérien (MARRE 1987).....	7
Fig.3.	Carte du couvert végétal de la région d'étude .....	8
Fig.4.	Carte géologique et structurale .....	9
Fig.4bis	Carte géologique locale du Bassin de l'Oued Bounamoussa (Plaine d'El Asfour)	17
Fig.5.	Coupe géologique schématique dans la région d'El Asfour (source AAD).....	17
Fig.6.	Quadripôle de Schlumberger .....	19
Fig.7.	Equipotentiels de courant dans un sol homogène.....	19
Fig.8.	Le courant dans le premier terrain de faible résistivité .....	20
Fig.9.	Utilisation de l'abaque pour deux terrains .....	21
Fig.10.	Interprétation d'un sondage électrique par ordinateur .....	22
Fig.11.	Carte d'implantation des sondages électriques .....	23
Fig.12.	Interprétation du sondage électrique vertical A <sub>10</sub> .....	25
Fig.13.	Interprétation du sondage électrique vertical A <sub>14</sub> .....	26
Fig.14.	Cartes d'isorésistivité des horizons.....	28
Fig.15.	Coupe géoélectrique selon le profil S.....	29
Fig.16.	Coupe géoélectrique selon le profil A.....	30
Fig.17.	Coupe géoélectrique selon le profil B.....	31
Fig.18.	Coupe géoélectrique selon le profil H.....	31
Fig.19.	La carte d'égale cote de la nappe des graviers.....	32
Fig.20.	Carte des isopaches des couches de graviers et galets.....	34
Fig.21.	Carte des résistances transversales de la nappe des graviers.....	34
Fig.22.	Coupe hydrogéologique au travers de la plaine d'El Asfour.....	36
Fig.23.	Carte d'inventaire des points d'eau.....	37
Fig.24.	Cartes piézométriques (Juillet 2006 et Mars 2007).....	38
Fig.25.	Relation hydrodynamique entre la nappe superficielle et l'Oued.....	39
Fig.26.	Histogramme des températures moyennes mensuelles.....	43
Fig.27.	Courbe des vitesses moyennes mensuelles des vents en (m/s).....	43
Fig.28.	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles.....	44
Fig.29.	Diagramme Ombrothermique, station de La Chaffia (1978 – 2006).....	45
Fig.30.	Diagramme Ombrothermique, station des Salines (1975-2006).....	45
Fig.31.	Représentation graphique du bilan de Thornthwaite (La Chaffia).....	51
Fig.32.	Représentation graphique du bilan de Thornthwaite (Les salines).....	52
Fig.33.	Chevelu hydrographique du bassin de la Mafragh.....	54
Fig.34.	Variation des débits moyens annuels.....	55
Fig.35.	Carte des sols de la plaine d'El Asfour (Périmètre de Bounamoussa).....	59
Fig.6.	Position des points de prélèvement des eaux pour analyse physico-chimique.....	63
Fig.37.	Diagramme de Piper (Août 2006).....	66
Fig.38.	Représentation de l'ACP, 1 <sup>ère</sup> campagne (Août 2006), selon les axes F1 et F2....	71
Fig.39.	Représentation de l'ACP, 1 <sup>ère</sup> campagne (Août 2006), selon les axes F1 et F3....	72
Fig.40.	Représentation de l'ACP, 2 <sup>ème</sup> campagne (Mai 2007) selon les axes F1 et F2.....	75
Fig.41.	Représentation de l'ACP, 2 <sup>ème</sup> campagne (Mai 2007) selon les axes F1 et F3.....	75
Fig.42.	Représentation de l'ACP, 2 <sup>ème</sup> campagne (Mai 2007) selon les axes F1 et F4.....	76
Fig.43.	Evolution spatio- temporelle des cations (Août 2006/ Mai 2007).....	78
Fig.44.	Evolution spatio- temporelle des anions (Août 2006/ Mai 2007).....	79
Fig.45.	Evolution spatio-temporelle de la conductivité des eaux d'irrigation.....	83
Fig.46.	Diagramme de Richards (Août 2006).....	84
Fig.47.	Variation du NO <sub>3</sub> dans les eaux d'irrigation, (Août 2006/ Mai 2007).....	86

Fig.48.	Variation du PO <sub>4</sub> dans les eaux d'irrigation, (Août 2006/ Mai 2007).....	87
Fig.49.	Evolution de la teneur en matière organique et des ortho phosphate dans les eaux d'irrigation (juillet 2006).....	87
Fig.50.	Position des points de prélèvement des eaux de surface pour analyse bactériologique.....	88
Fig.51.	Evolution spatio-temporelle de la charge bactérienne des eaux d'irrigation.....	93
Fig.52.	Effet des lâchers du barrage sur la charge bactérienne des eaux d'irrigation.....	94
Fig.53.	Position des points de prélèvement des eaux superficielles pour analyse bactériologique.....	95
Fig.54.	Qualité bactériologique des eaux superficielles de la nappe d'El Asfour.....	96
Fig.55.	Variation des nitrates dans les eaux de puits (Juillet 2006).....	97
Fig.56.	Répartition des teneurs en nitrates dans les eaux superficielles (Juillet 2006)....	97
Fig.57.	Variation des ortho phosphates et de la matière organique dans les eaux de puits (Juillet 2006).....	98
Fig.58.	Carte d'inventaire des points d'eau.....	101
Fig.59.	Evolution spatio-temporelle des teneurs en Nitrates (Période des basses eaux)...	102
Fig.60.	Evolution spatio-temporelle des teneurs en Nitrates (Période des hautes eaux)...	103
Fig.61.	Evolution spatio-temporelle des teneurs en Nitrites (Période des basses eaux)....	104
Fig.62.	Evolution spatio-temporelle des teneurs en Nitrites (Période des hautes eaux)....	105
Fig.63.	Evolution spatio-temporelle des teneurs en Ammonium (Période des basses eaux).....	106
Fig.64.	Evolution spatio-temporelle des teneurs en Ammonium (Période des hautes eaux).....	106

## Liste des Tableaux

Tab.1.	Colonne Stratigraphique de la région d'El Tarf.....	12
Tab.2.	Tableau récapitulatif du volume des travaux de terrain.....	24
Tab.3.	Tableau comparatif des résistivités vraies de différentes formations...	26
Tab.4.	Coordonnées des stations Les Salines et La Chaffia .....	42
Tab.5.	Températures moyennes mensuelles (La Chaffia, Les Salines).....	42
Tab.6.	Vitesses moyennes mensuelles des vents, Les salines (1975-2006)...	43
Tab.7.	Humidité relative moyennes mensuelles (1975-2006).....	44
Tab.8.	Hauteurs moyennes mensuelles des précipitations.....	44
Tab.9.	Les valeurs de l'ETP selon la formule de Thornthwaite.....	46
Tab.10.	Résultats de l'ETR par la méthode de Turc.....	47
Tab.11.	Résultats de l'ETR par la formule de Coutagne.....	47
Tab.12.	Les résultats de l'ETR, selon différentes méthodes.....	48
Tab.13.	Les résultats des ruissellements « R ».....	49
Tab.14.	Estimation de l'infiltration.....	49
Tab.15.	Bilan hydrique selon Thornthwaite (Les Salines 1975/2006).....	50
Tab.16.	Bilan hydrique selon Thornthwaite (La Chaffia 1978/2006).....	50
Tab.17.	Station hydrométrique du bassin versant de la Mafragh (Oued Bounamoussa).....	53
Tab.18.	Variations mensuelles des débits en m <sup>3</sup> /s, période (1947-1988).....	54
Tab.19.	Variation annuelle des débits de l'Oued Bounamoussa.....	55
Tab.20.	Coefficients moyens de débit de l'Oued Bounamoussa.....	56
Tab.21.	Statistique sommaire des paramètres physico-chimiques.....	64
Tab.22.	Détermination du faciès chimique des eaux de la nappe d'El Asfour et de l'Oued Bounamoussa (Août 2006) par la formule ionique .....	65
Tab.23.	Paramètres statistiques des variables physico-chimiques (2006/2007)	67
Tab.24.	Coefficient de corrélation entre les variables initiales (Août 2006).....	68
Tab.25.	Valeurs propres et pourcentages des axes principaux (Août 2006).....	69
Tab.26.	Corrélation des variables aux axes principaux (Août 2006).....	69
Tab.27.	Coefficient de corrélation entre les variables initiales (Mai 2006).....	72
Tab.28.	Valeurs propres et pourcentages des axes principaux. (Mai 2006).....	73
Tab.29.	Corrélation des variables aux axes principaux. (Mai 2007).....	73
Tab.30.	Classes de salinité selon Richards .....	82
Tab.31.	Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation (Méthode du SAR).....	85
Tab.32.	Résumé des recommandations de l'Etat de Californie pour la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation.....	89
Tab.33.	Recommandation microbiologique révisée de l'OMS pour les eaux usées Avant utilisation en agriculture ( <i>Blumenthal et coll ,2000</i> ).....	90
Tab.34.	Grille de la qualité bactériologique des eaux de surface (Normes canadiennes).....	91
Tab.35.	Qualité bactériologique des eaux de l'Oued Bounamoussa par rapport aux normes canadiennes pour les eaux de surface .....	91
Tab.36.	Limite des classes bactériologiques (Bovesse et Depelchin, 1980).....	92
Tab.37.	Interprétation de la moyenne des classes.....	92
Tab.38.	Degré de contamination des eaux d'irrigation de l'Oued Bounamoussa.....	92
Tab.39.	Résultats d'analyse bactériologique des eaux superficielles.....	96

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

L'augmentation dynamique de la production agricole avait évidemment amélioré la vie de l'homme en lui fournissant le confort et le bon rendement, mais aussi, malheureusement, a conduit en même temps à une détérioration rapide de sa première source de vie « l'eau ».

Plusieurs études ont déjà été réalisées sur la plaine d'El Asfour dont des mémoires d'ingénieur, ces dernières indiquant le rôle principal de l'agriculture ainsi que la nature des formations géologique dans la détérioration de la qualité des eaux de ce site. Dans cette étude, nous allons approfondir ces études et essayer de répondre à certaines questions:

- Quel est l'état actuel de la qualité chimique et bactériologique des eaux d'irrigation et les eaux superficielles de la plaine ?
- Quels sont les différents polluants chimiques et bactériologiques existant dans l'eau ainsi que leurs origines ?
- Quels sont les mécanismes physico-chimiques intervenant dans l'évolution de ces polluants dans le temps et dans l'espace ?
- Et enfin, quel est l'impact de l'irrigation sur la qualité des eaux de la plaine vis à vis de la pollution ?

Pour répondre à ces questions, des prélèvements chimiques et de bactériologique des eaux de surface au niveau des seuils d'irrigation et des eaux superficielles a été réalisé pour deux campagnes de l'année 2006/2007, pendant la saison d'irrigation. Plusieurs outils (géologique, chimique et Statistique, bactériologique) ont été utilisés afin d'interpréter les données.

L'ensemble des résultats obtenus montre l'existence d'une forte pollution : des eaux de surface par l'effet des rejets urbains, de la nappe superficielle par l'effet de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture et la dissolution des formations évaporitiques.

D'autres cas de pollution ont été détectés : cas des infiltrations des ions phosphate et nitrates de l'oued vers la nappe sous l'effet d'irrigation, Les détails de ces résultats sont présentés dans cette mémoire, à travers trois parties :

- La première partie consacrée à une présentation générale de site à partir d'une identification globale, afin de déterminer les différents aquifères existant au niveau de la plaine et leur géométrie, on se basant sur trois outils complémentaires :
  - ➔ Outil géologique.
  - ➔ Outil géophysique bien détailler.
  - ➔ Outil hydrogéologique.

- La deuxième partie concerne les caractéristiques climatologique du site, on se basant sur l'hydroclimatologie de cet secteur, ainsi l'hydrologie de surface au niveau l'oued Bounamoussa qui traverse la plaine d'El Asfour.
- La troisième partie basée sur la détermination des caractéristiques hydrochimiques du site.

L'ensemble de cette partie est présenté selon l'ordre suivant :

- ➔ Analyse agro-pédologique.
- ➔ Etude qualitative des eaux de site.
- ➔ Impact des eaux d'irrigation sur les eaux superficielles de la plaine.
- ➔ Evolution de la pollution organique.

C'est donc dans ce cadre que s'inscrit notre travail qui & pour but d'un coté de diagnostiquer la pollution des eaux de surface ainsi superficielles de la plaine, et de l'autre part de déterminer les principales causes de la dégradation de la qualité des eaux pour pouvoir dire comment l'on peut, par la suite, trouver des solutions à ce problème.



*La plaine d'El Asfour*

## **1<sup>ère</sup> Partie**

# **PRÉSENTATION DU SITE**

## Chapitre I : Identification du site

### 1. Situation géographique :

La région d'étude est située dans le Nord-Est Algérien. La commune d'El Asfour, créée en 1937, fut connue sous le nom de MERDES (de 1937-1957) puis COMBES (de 1957-1963) pour porter le nom d'El Asfour définitivement à partir de 1963.

La commune est située à la périphérie occidentale de la wilaya d'El Tarf (Fig.1), exactement à 32 Km du chef lieu et à 30 Km au Sud-Est de Annaba. Positionnée entre les longitudes 6°20' et 6°30' et les latitudes 40°62' et 40°82'.

D'après la figure 1, elle est limitée :

- Au Nord ; par la commune de Ben-Mhidi
- A l'Est ; par la commune de Chaffia
- A l'Ouest ; par la commune de Chihani
- Au Sud ; par la commune de Hammam Beni Salah

Cette commune s'étend sur une superficie de 10 452 ha (104,52 Km<sup>2</sup>). Elle est traversée par le chemin de la wilaya N°105 qui relie Ben Mhidi à Bouhadjar, et par l'Oued Bounamoussa du Sud au Nord.

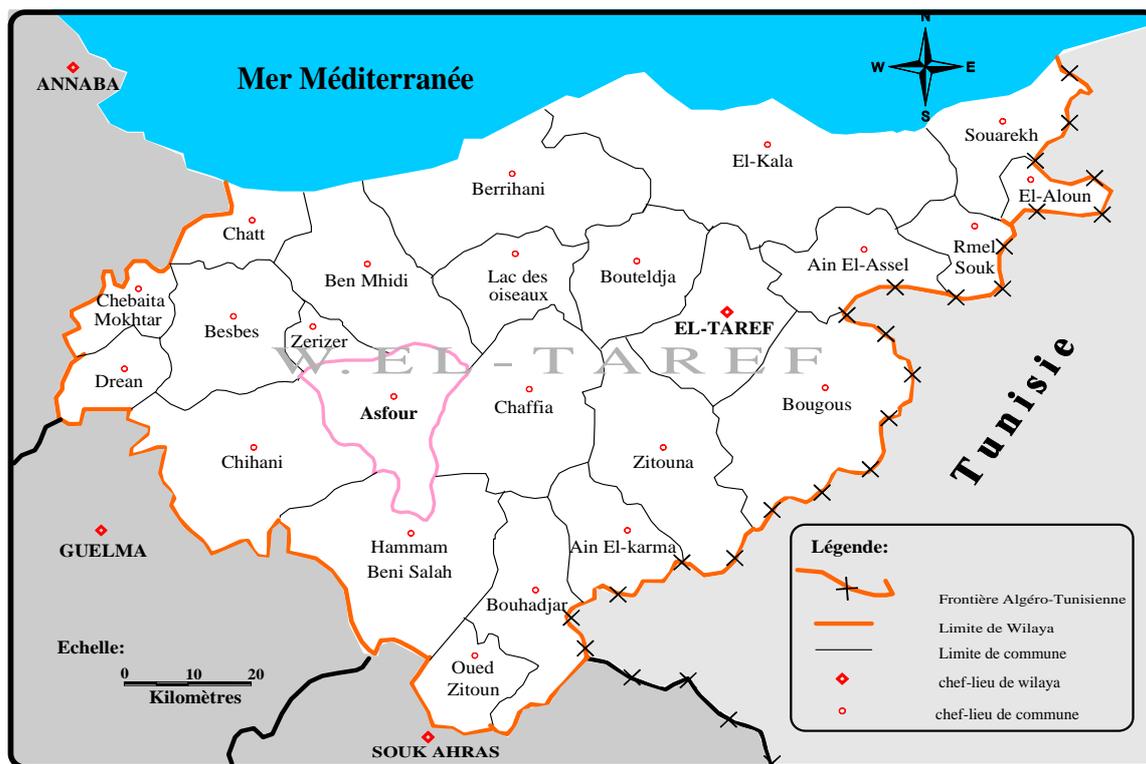


Figure 1: Carte de situation géographique.

## **2. Aperçu Socio-économique :**

### **2.1. Agriculture**

L'activité principale de la commune d'El Asfour est l'agriculture (Tomates industrielles, Pomme de terre, Agrumes, Céréaliculture et les cultures fourragères...).

### **2.2. L'industrie**

Le site d'El Asfour centre, n'a jamais été doté d'une activité industrielle depuis sa création et a toujours gardé le caractère agricole ; mais, il est voisin à des bassins industriels tel que Annaba et El Hadjar, c'est un site de refuge, rompu du stress des grandes villes, à l'image de la campagne.

### **2.3. La population**

La plaine d'El Asfour compte une population d'environ 12 077 habitants en 2005 où le taux d'accroissement était de 1,66% (d'après DPAT d'El Tarf).

## **3. Aspect géomorphologique :**

La région d'étude fait partie de l'Atlas tellien, dont la géomorphologie est formée essentiellement par une chaîne montagneuse et une plaine. Ces formes ne sont que le résultat d'une activité combinée de la tectonique qui affecte la région, de l'accumulation des sédiments alluviaux et éoliens pendant le Quaternaire, ainsi que de l'érosion superficielle (précipitation et ruissellement).

### **3.1. Principales formes**

#### **3.1.1. Le bassin versant**

Le bassin versant de la région est formé essentiellement de grès numidiens. Il a une superficie de 132,2 Km<sup>2</sup> et un périmètre de 58,50 Km.

#### **3.1.2. Les terrasses**

On distingue deux terrasses, la première occupe toute la plaine d'El Asfour, elle est formée de dépôts quaternaires résultant de phénomènes d'érosion à haute altitude. La deuxième est représentée par des cailloux, des grès et des galets.

#### **3.1.3. La plaine**

En allant de la vallée de La Mafragh jusqu'à la frontière Algéro-Tunisienne, on rencontre un remplissage de sédiments quaternaires, A. Marre (1987); qui constitue le fond de la dépression tectonique de Annaba-El kala.

La plaine d'El Asfour et la basse vallée de l'Oued Bounamoussa font partie de la grande plaine d'Annaba. La topographie est plane légèrement ondulée avec une pente très faible qui varie entre 0 et 5%. Elle s'étale sur une superficie de 1200 ha, soit 11.48% de la surface totale de la commune (10 452 ha). Cette plaine est localisée entre deux collines qui lui donnent la forme d'une cuvette, dont l'altitude moyenne est de l'ordre de

15 à 20m. Elle est formée d'alluvions récentes à dominante texturale limino-argilo-sableuse déposées par l'Oued Bounamoussa.

Un problème majeur se manifeste dans cette plaine, à savoir les multiples inondations des terres agricoles en hiver et particulièrement pendant les journées très pluvieuses. Ce phénomène est dû essentiellement à deux facteurs :

- \* La topographie subhorizontale.
- \* La nature des sols, très peu perméable, favorisant l'accumulation des eaux en surface.

#### **3.1.4. Le relief limitant la plaine**

Au Nord, La plaine est limitée essentiellement par le Djebel Boukerma qui culmine à 356m, au Sud par Koudiat El Kriane de 476m d'altitude, à l'Est par Mechtet Abdelkader de 509m d'altitude tandis qu'à l'Ouest par Kef Ed Deba qui atteint 556m d'altitude.

Il faut noter que le relief limitant la plaine est très inégal, dû à l'existence de petites dépressions.

##### **3.1.4.1. Ensembles des unités allochtones (Flysch et Nappe)**

Ce sont des formations géologiques sédimentaires constituées par :

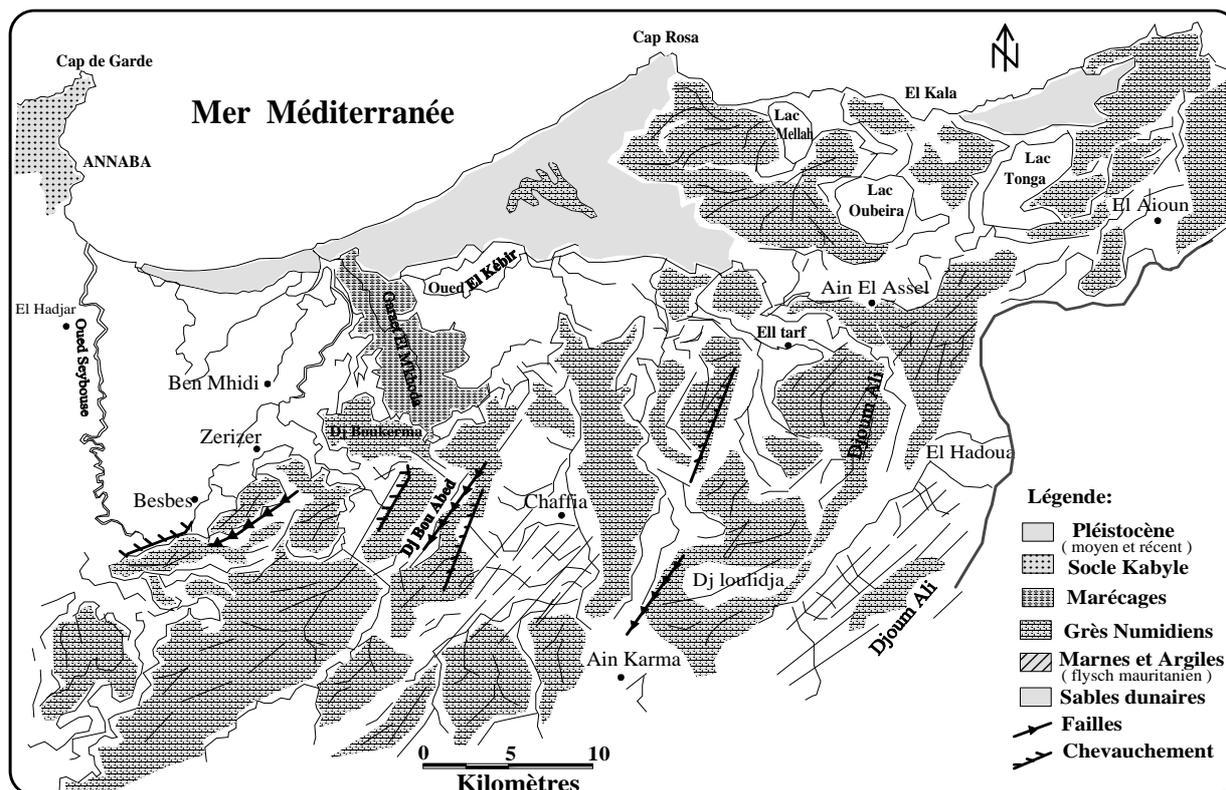
- Flyschs massyliens : on les rencontre à plusieurs endroits dans les monts de la Chaffia, ils sont constitués essentiellement par des marnes et des argiles avec de très minces bancs de calcaire (Fig. 2).
- Nappe numidienne : elle s'étend du lac Fezara jusqu'à la frontière Algéro-Tunisienne, constituée essentiellement de bas vers le haut par :

*Des argiles Sous Numidiennes* avec bancs de grès parfois marneux d'âge Oligocène qui constituent les noyaux des monts de la Chaffia ; et le substratum des autres formations sus-jacentes aux différentes plaines. Ce complexe numidien intensément fracturé présente de nombreux miroirs de failles et des remplissages argilo-sableux au niveau des fissures des grès.

Ces formations surmontées par *des grès numidiens* ; d'âge Aquitanien, présente une intense fracturation, ce qui favorise la circulation des eaux souterraines. Ses couches varient de dizaines de mètres à quelques milliers mètres (2000 m) d'épaisseur avec un prolongement d'une orientation générale des plis Ouest-Sud, Ouest-Est et Nord-Est.

Ils affleurent dans toute la région, constituent les bordures des plaines et le substratum des formations alluvionnaires observable nettement sur les deux rives de l'Oued El Kébir Est. On les trouve également, dans la zone axiale des rides tectoniques représentant les monts de La Chaffia au Sud, et aux coteaux de Cap Rosa, souvent masqués par des formations plus récentes.

Enfin ; *les argiles supra-numidiennes* qui présentent la partie supérieure de la série numidienne d'âge Burdigalien, se trouvent souvent en alternance avec les grès sous-jacents qu'on peut rencontrer souvent dans les monts de La Chaffia et de Cap Rosa.



**Figure 2 :** Contexte géologique du Nord-Est Algérien (MARRE 1987)

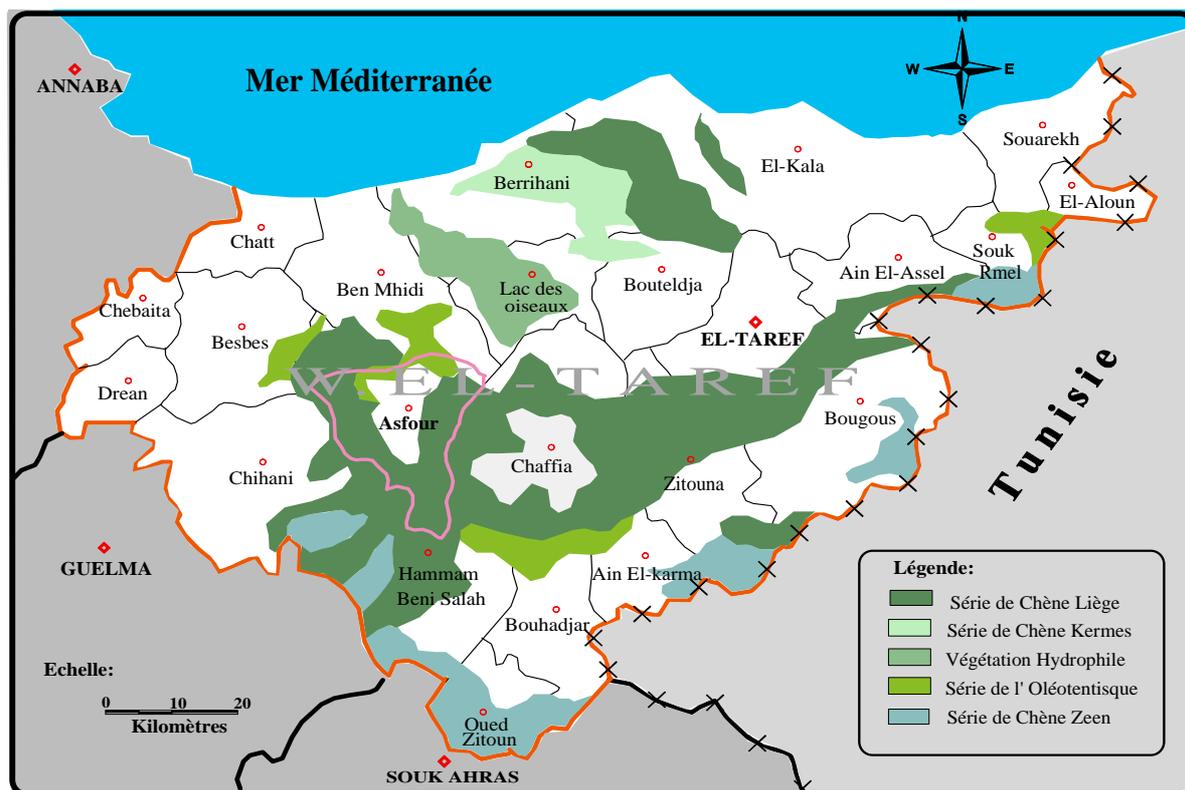
### 3.1.4.2. Les marécages

Ce sont des étendues d'eau libre bien arrosées, se trouvant essentiellement dans la partie Sud de la terrasse, et couvrant une superficie d'environ 47,86 h. Ces marécages sont dus soit à une pluviométrie abondante, soit au débordement de l'Oued Bounamousa pendant les périodes de crues.

### 3.1.4.3. La végétation

Elle joue un rôle très important dans l'estimation des réserves en eau, vue leur influence mécanique directe sur l'écoulement et sur les facteurs climatiques. Dans la composition floristique de la région, on distingue deux types de peuplement :

- **Un Peuplement naturel** (Fig. 3), représenté essentiellement par une série de chêne liège qui occupe la majorité de la surface du bassin versant et s'étale presque sur toute la région. Une série d'Oléolentisque, qui est une végétation définie comme étant des petits arbustes caractérisés principalement par des oliviers naturels « non-gréfé ».



**Figure 3:** Carte du couvert végétal de la région d'étude.

- **Un peuplement artificiel**, formé par l'Eucalyptus, le Pin maritime (espèce résineuse de croissance relativement rapide utilisée pour l'industrie) et l'Arboretum.

#### 4. Conclusion :

La commune d'El Asfour située au Nord-Est de l'Algérie, présente une géomorphologie caractérisée par une topographie plane sur l'ensemble de la plaine, marquée par des inclinaisons importantes aux bordures, à l'Ouest et au Sud, due à la tectonique.

Cette région traversée par l'Oued Bounamoussa, est occupée par une population qui a atteint 12 077 habitants (2005). La vocation principale est l'agriculture qui est observée sur l'ensemble de la plaine, avec une très grande variété de cultures, céréalières, maraîchères et arboricoles.

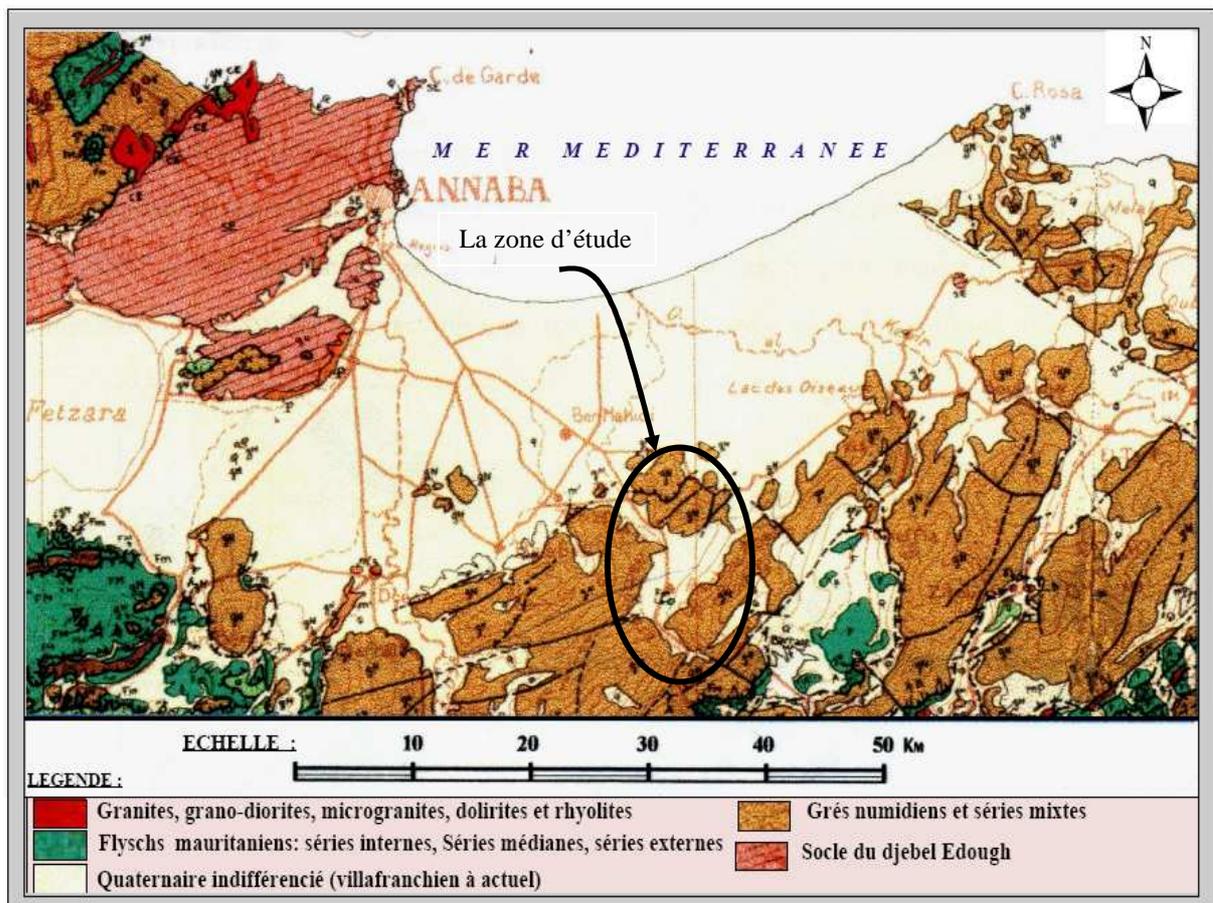
## Chapitre II : Détermination des aquifères et leur géométrie

Trois outils sont utilisés :

### 1. L'outil géologique :

#### 1.1. Aperçu géologique régional

Le chrono stratigraphie de la région d'étude révèle des terrains géologiques d'âges différents allant du Secondaire au Quaternaire récent (Fig. 4).



**Figure 4:** Carte géologique et structurale

Extrait de la carte géologique et structurale de la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. 1/500 000, J.M.VILLA (1980).

#### 1.1.1. Description lithostratigraphique

##### 1.1.1.1. Le Secondaire

Il affleure à l'Est du bassin versant de La Mafragh au niveau de Bousouagui en territoire Tunisien, il affleure également dans les différents endroits du mont de La Chaffia et Cap Rosa (Crétacé supérieur).

Il est représenté par des marnes, marno-calcaires et des schistes légèrement argileux avec des intercalations de calcaires. On y distingue :

#### **a) L'Hauterivien**

Les dépôts de cet étage représentent les formations les plus anciennes du Crétacé inférieur. Seules, les parties supérieures de cet étage affleurent. Selon la coupe litho- stratigraphique établie par **TCHOULANOV** 1980, on distingue nettement une alternance d'argiles finement litées (3-30cm) et de calcaires gris vert (0.5-2.5cm) surmontées par des argiles foncées, finement litées (10-30cm), se transformant en marnes au toit des couches, alternées avec du calcaire clair faiblement dolomitisé (10-30cm) , ces formations masquées par une alternance de calcaires (5-20cm) et de marnes foncées en plaquettes fines (0.5-1cm) qui se transforment en argile au mur de la couche.

L'épaisseur apparente de l'Hauterivien dépasse 230m.

#### **b) Le Barrémien**

Les dépôts sont répandus dans les bassins des Oueds Mellah, Bourabia, et Kébir. Ils constituent des fenêtres tectoniques dans la nappe numidienne. Cet étage est divisé en deux parties :

La partie inférieure est composée des argiles grises -verdâtres finement litées à intercalations de calcaires gris verdâtre (10-50cm) surmontée par une alternance de calcaires.

L'épaisseur apparente de la coupe des dépôts de la partie inférieure du Barrémien dépasse 280m.

La partie supérieure est un horizon bigarré dont l'épaisseur apparente est de 16m. Sa base est représentée par des calcaires aleurolitiques verdâtres, surmontée par des calcaires de même nature mais de teinte cerise foncée et des marnes à intercalations de calcaires verdâtres. Cet horizon repère, lui-même est recouvert d'une assise dont l'épaisseur apparente atteint 150m. Cette assise est constituée par des argiles et des marnes argileuses à intercalations de calcaires.

#### **c) L'Aptien**

L'Aptien est très mal représenté dans la région. Il repose en discordance sur les dépôts du Barrémien.

#### **d) L'Albien**

Les dépôts de l'Albien sont peu abondants. Ils affleurent au Sud (Ain Kerma) et ont un contact normal avec ceux ce l'Aptien et du Cénomanién. Ils forment une assise originale de grés calcaireux bigarrés (gris verdâtre) stratifiés (5-20m) à intercalation fine d'aleurolites calcaireuses et d'argiles foncées finement litées. L'épaisseur des roches composante l'Albien est de 200m.

#### **e) Le Cénomanién**

Les roches d'âge Cénomanién occupent un terrain restreint. Ces formations forment le noyau d'un pli synclinal à direction latitudinale, compliqué par les zones de dislocations disjonctives à fort pendage. Le Cénomanién est représenté par une assise bien monotone de marnes argileuses silicifiées et finement litées d'une teinte gris foncé et gris

verdâtre à intercalations rares (5-30cm) de calcaires clastiques. L'épaisseur apparente de cet étage est de 200m.

#### **f) Le Campanien**

Les dépôts de Campanien constituent des blocs tectoniques et des fragments de structures plicatives, dans les bassins de l'Oued : Bougous, Zitouna. La situation tectonique compliquée de cette formation ne permet pas d'observer la coupe complète. Le Campanien comporte quatre assises (Tab.1).

Une assise  $C^{5a}_F$  : Constituée d'argiles calcareuses, l'épaisseur est supérieure à 150m ; plus haut, on distingue d'autre assise  $C^{5b}_F$  qui composée de marnes gris verdâtres à des intercalations et des lentilles de calcaires à sidérite, surmontée par le  $C^{5c}_F$ , formée par une alternance de couches de marnes, calcaires, grés, gravelites et aleurites, l'épaisseur est d'environ 300m.

Enfin l'assise  $C^{5d}_F$  : cette assise est constituée d'argiles calcareuses gris-verdâtres se transformant en marnes argileuses, l'épaisseur est supérieure à 80m.

L'épaisseur du Campanien dépasse 890m.

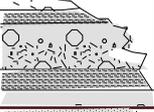
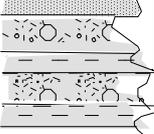
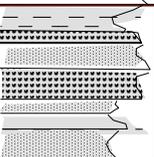
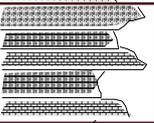
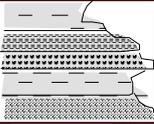
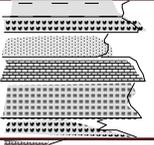
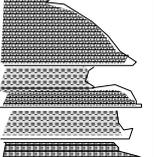
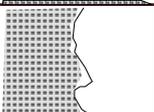
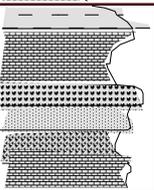
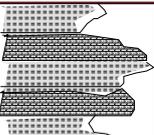
#### **g) Le Mæstrichtien**

Les roches de cet étage affleurent dans les fenêtres d'érosion au sein de la série numidienne allochtone, leurs affleurements sont compliqués par des zones de dislocations disjonctives et sont répandus dans les bassins des Oueds Kébir, Chaffia et Bougous.

Le **Mæstrichtien** est subdivisé en dix sous assises et se dépose en concordance avec le reste du Crétacé supérieure (TCHOULANOV & al 1980).

En général, le **Mæstrichtien** est composé de calcaire argileux, d'une teinte gris foncée à marnes argileuses et calcareuses (200-400cm). Son épaisseur est supérieure à 300m.

**Tableau 1:** Colonne Stratigraphique de la région d'EL TARF.  
(D'après Tchoulanov 1980).

SYSTEME	SERIE	ETAGE	INDICE	COLONNE LITHOLOGIQUE	EPAISSEUR en m	description lithologique	
TERTIAIRE	MEOGENE MEOCENE		m		>10	Conglomérats gravelot-blocageux à ciment sablo-argileux	
		OLIGOCENE	gN		>430	Assise superieure: grès quartzeux feldspathiques à intercalation des gravelites. des conglomérats des aleurolites et des argiles	
	PALEOGENE	EOCENE	PRIABONIEN	e <sup>5</sup> <sub>AN</sub>		>100	Assise inferieure: Argile gris foncée à intercalations de grès et des aleurolites
			LUTITIEN	e <sup>4</sup> <sub>F</sub>		>150	Marnes argileuses et calcaireuses d'une teinte foncée à rares intercalations de calcaires A la base de l'assise : horizon des calcaires
		YPRESIEN	e <sup>3</sup> <sub>F</sub>		>200	Argiles. marnes argileuses gris-foncée à intercalations des aleurolites et des silex . A la base horizon tufs et silex.	
		PALEOCENE		e <sup>1</sup> <sub>F</sub>		>162	Argiles à intercalations d'aleurolites( 5-10cm). de grès(15-20cm).calcaires(15-20cm). et des marnes(15-20cm)
	CRETACE SUPERIEUR			c <sup>6</sup> <sub>F</sub>		>200	Calcaires argileux d'une teinte gris foncée à marnes argileuses et calcaireuses(20-40cm)
				c <sup>5d</sup> <sub>F</sub>		80	Quatrième assise: marnes argileuses
				c <sup>5c</sup> <sub>F</sub>		360	Troisième assise: alternance répétée de couches de marnes. calcaires. grès. gravelites et aleurolites.
				e <sup>5b</sup> <sub>F</sub>		>300	Deuxième assise: marnes gris verdâtres à des intercalations et des lentilles de calcaires sidéritisés.

### 1.1.1.2. Le Tertiaire

Il est largement représenté par des formations grés-argileuses du Numidien qui couvrent d'Ouest en Est particulièrement les secteurs de montagnes allant de Ain Berda à El Kala,.

**a) Le Paléogène** se distingue par l'achèvement total de l'étape géosynclinal du développement orogénique important.

**b) Le paléocène** est composé des assises de Danien et du Montien indifférenciées. Ces dépôts affleurent aux bassins des Oueds Bounamoussa, Kébir, Chaffia, Zitouna et Bougous. Ces affleurements constituent des fenêtres d'érosion dans l'allochtone nummidien.

Il est constitué d'argile foncée finement silicifiée à intercalations rares (jusqu'à 0.30m) de calcaire argileux, d'aleurolites, de grés quartzeux finement grenus, et grés quartzeux à mélange de tuf. L'épaisseur du Paléocène est 140m.

**c) L'Eocène** présente des traits caractéristiques dans sa structure et sa composition lithologique à savoir silicification syngénitique, présence de roches volcaniques (Liparito-dacite).

→ Les dépôts de l'Yprésien participent à la structure du socle de la série numidienne aux bassins des Oueds. Ses assises sont composées d'une alternance d'argiles finement stratifiées, aleurolites à calcareuses et de calcaires dont l'épaisseur apparente atteint 50m, avec des horizons volcano-siliceux constitués de marnes argileuses foncée et d'argiles à intercalations minces (jusqu'à 0.2m) de tufs, de liparites.

L'épaisseur de l'Yprésien est de 260m.

→ Le Lutétien, se rencontre sur épaisseur supérieure à 230m. Il est constitué de marnes argileuses et calcareuses de teinte foncée à rares intercalations de calcaires.

→ Le Priabonien est constitué de dépôts de phases finales du développement de la région. Ils sont reconnus comme des «Argiles numidiennes». Celles-ci sont répandues et associées au mur de l'allochtone numidien. Elles affleurent aux bassins des Oueds Kébir, Seybouse et Bounamoussa. Elles renferment des intercalations de grés et des aleurites. L'épaisseur du Priabonien dépasse 250m.

**d) L'Oligocène** Il comprend un groupe original de dépôts connus sous le nom de « grés numidien ». Le terme numidien fut introduit par Fischer (1989) pour désigner les faciès typiques des roches oligocènes largement répandues au Nord du continent africain. Ces formations constituent la plus grande partie d'une structure charriée importante « allochtone numidien ». Son développement régional, complique considérablement les possibilités de l'étude en profondeur vu que la série allochtone des dépôts n'est accessible à l'observation que dans les fenêtres d'érosion de la nappe.

Les formations des grés numidiens sont largement répandues, les traits particuliers de ces dépôts sont : La structure et la persistance de la composition lithologique. Ils servent comme un bon repère géologique. Ils sont en contact tectonique avec les argiles de l'Eocène supérieure. L'épaisseur apparente totale des grés numidiens dépasse 400m.

**e) Le Néogène** est caractérisé par l'accumulation des assises de molasses fixant nettement le début de la nouvelle étape (Post-orogénique) du développement de la région. Ces dépôts font partie de la série post-nappe composée de conglomérats et de sable du Miocène et du Pontien (Miocène terminal).

**f) Le Miocène ;** Les zones représentant le Miocène sont, dans leur quasi-totalité, détruites par le processus de dénudation. Les molasses ne sont conservées qu'en petites surfaces. Elles se trouvent en amont de l'Oued Chaffia et au bord droit de la vallée de l'Oued Bougous. La coupe est généralement constituée de conglomérats gravelo-blocageux à lentilles de grès quartzeux et argileux de teinte brune. Les galets roulés et les blocs de dimensions jusqu'à 0.5m, sont constitués par les grès du Numidien supérieur.

**g) La molasse du Pontien** est constituée à sa base de conglomérats bien cimentés par une matière sablo carbonatée sur une épaisseur de 300m. Vers le sommet, on rencontre une alternance lenticulaire de conglomérats ainsi que des grès stratifiés obliquement et faiblement cimentés par du sable et d'argiles rouges. L'épaisseur totale de la molasse du Pontien atteint 70m.

### **1.1.1.3. Le Quaternaire**

Les dépôts quaternaires sont largement répandus, ils sont constitués de limons, de sables et graviers sur les rives des Oueds.

#### **a) Le Quaternaire ancien**

Il caractérise les plaines de la région qui sont une vaste zone d'épandage des Oueds Bounammoussa et El Kébir Est.

#### **b) Le Quaternaire moyen**

IL est présent le long des versant des oueds défini généralement par des matériaux alluvionnaires, des limons et des cailloux ; on distingue

- *Pléistocène ancien* : il définit les hautes terrasses et se caractérise par des formations avec des cailloux roulés et des blocs de grès numidiens enrobés ensembles dans une matrice argileuses (Fig.1).
- *Pléistocène moyen* : il correspond aux moyennes terrasses qui traversent la région d'El Tarf jusqu'à Ain Assel et parfois les rives de l'Oued El Kébir Est et qui sont constituées de cailloux roulés , de sables et de limons.
- *Pléistocène récent* : correspond aux basses terrasses, aux versants des Oueds et présente un grano-classement naturel défini par les galets à la base, surmontées par les graviers et à la surface se trouvent les sables et les limons.

#### **c) Le Quaternaire récent**

Il correspond aux dépôts alluvionnaires, sable, cailloux et limons fins avec dominances d'argiles parfois canalisant ainsi les lits des Oueds. IL caractérise les lagunes marines dans la région d'El Kala (lac Tonga, Oubeira et Mellah).

#### **d) Le Quaternaire actuel**

Généralement, il constitue les lits des Oueds par des dépôts alluvionnaires (sables, cailloux) et les plages actuelles (cordon dunaire) constituées par des sables d'origine marine.

#### **1.1.2. La tectonique régionale**

La région d'étude fait partie du Nord-Est de la zone alpine plissée. Cette dernière a été individualisée par DURAND DELGA (1969) sous le pseudonyme de l'Atlas Tellien littoral de l'Algérie à cause de ses hétérogénéités sur le plan horizontal et vertical dans le périmètre d'étude. On distingue :

##### **1.1.2.1. Etage structural géosynclinal**

Dans les limites du territoire de la région d'étude, les dépôts de l'Hautérivien-Lutétien peu répandus, affleurent au sein de la nappe numidienne en forme de fenêtres tectoniques isolées. Malgré le caractère fragmentaire de ces affleurements, l'étude des formations en question dans la région a permis de constater l'existence de deux zones structuro-formationnelles (TCHOULANOV et al 1980) :

- Mio-géosynclinal tellien.
- Para-géosynclinal (régions plissées sahariennes).

Ils existent des particularités pour chacune de ces zones comme la structure interne, le complexe de roches de même âge, le magmatisme, l'allure du plissement et la métallogénie.

Les dépôts de *l'étage géosynclinal* proprement dit, et constituant la zone de *l'Atlas tellien* ne sont pas homogènes du point de vue formation. Tchoulanov (1980), a constaté une analogie avec les régions de l'Ouest et elle est composée de deux complexes de roches :

- Série tellienne proprement dite et série de flysch à micro-brèches. Elle se superpose tectoniquement l'une sur l'autre, représentée par les dépôts du Campanien-, ainsi que par ceux du Paléocène, Yprésien et Lutétien de l'Eocène.
- Série tellienne allochtone constituée d'assises marno-calcaireuse Sub-flysch datée de l'Hautérivien jusqu'à l'Aptien, repose sous forme de nappe sur les calcaires néritiques autochtones du Jurassique et du Crétacé.

Les dépôts de la zone de *l'Atlas saharien*, affleurent au sud de la région (Bouhajar sur la rive de l'Oued Medjerda).

Des différences considérables sont à signaler entre les zones atlasiques telliennes et l'atlas saharien.

##### **1.1.2.2. Etage structural du stade récent de l'orogénèse**

Composé de roches grès-argileuses du Priabonien-Oligocène (Numidien allochtone), cet étage est largement connu sous le nom de la série numidienne qui occupe 80% du territoire d'étude, elle est constituée d'une assise épaisse grès-argileuse. Cette assise était décollée et déplacée horizontalement en recouvrant les formations plus anciennes, au

cours du plissement post-sédimentaire. Pour les régions étudiées, les faits importants prouvant la genèse tectonique de la nappe numidienne sont :

- Absence parfois de l'assise inférieure argileuse éliminée au cours du déplacement de l'allochtone ;
- Contact tectonique bien net entre les assises supérieures et inférieures ;
- Existence au sein de la nappe numidienne de fenêtres tectoniques composées de roches sous-jacentes ;
- Présence de zones de mylonitisation épaisse au mur de la nappe ainsi que des corps stratiformes de brèches tectoniques.

### **1.1.2.3. Etage du stade final de l'orogénèse**

A cet étage se rapporte molasse typique du Miocène ainsi que les formations du Pontien. Elles sont représentées par les roches grès-argileuses et conglomératiques non affectées par la tectonique et forment des petits lambeaux reposant horizontalement.

## **1.2. Géologie locale**

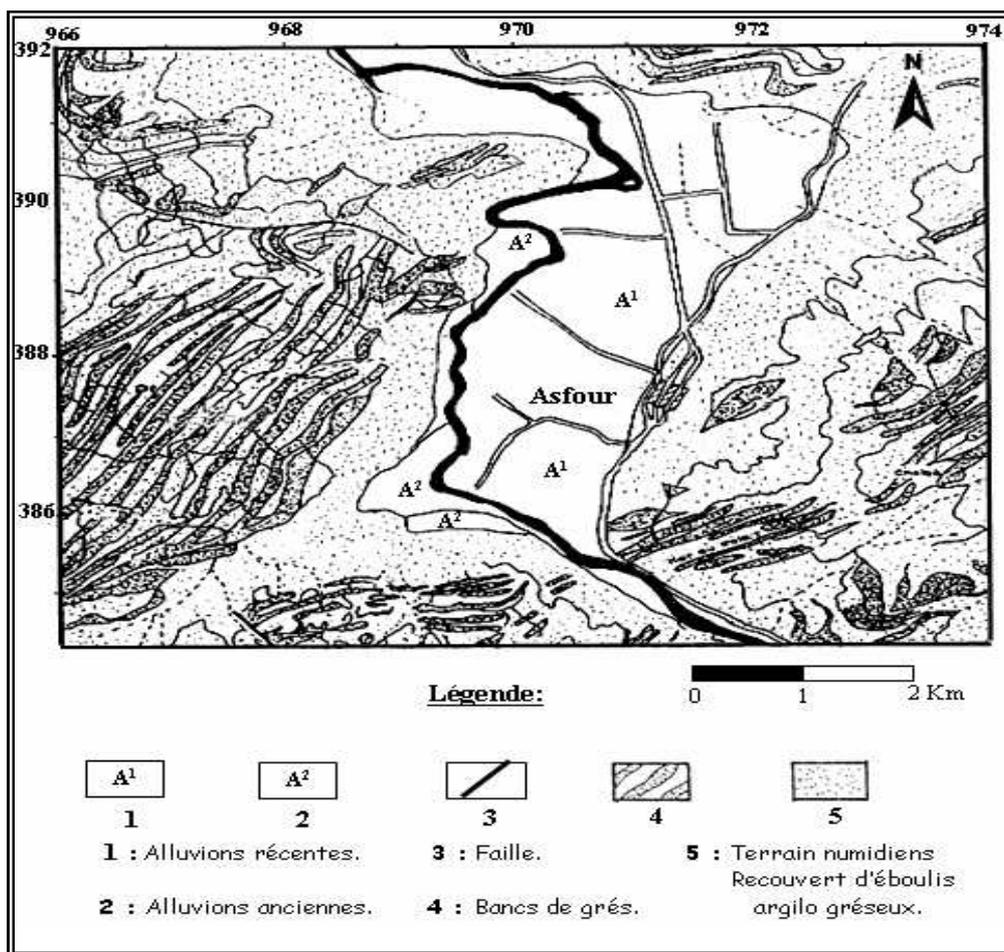
La région d'El Asfour se distingue uniquement par des terrains sédimentaires, représentée par les formations du Quaternaire et celles du Numidien (Fig.4 bis).

**Le Quaternaire** couvre presque la totalité de la plaine d'El Asfour (Fig.5). Il est formé principalement d'alluvions à dominante argileuse (terre végétale) déposées par l'Oued Bounamoussa. Ces alluvions sont classées en deux terrasses:

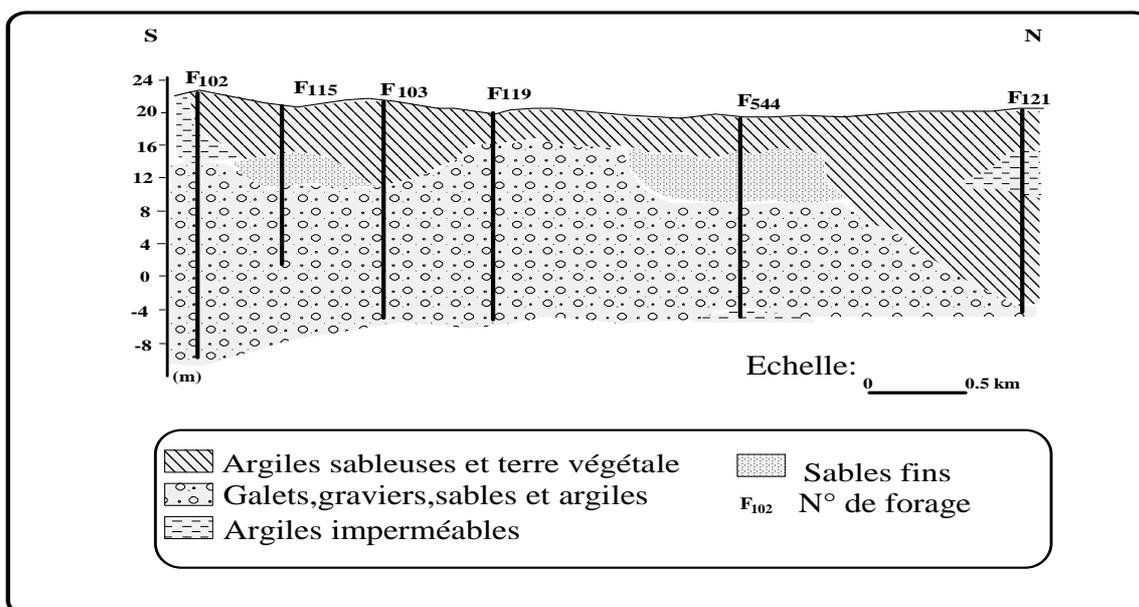
- Les alluvions anciennes (basse terrasse), constituées par des limons couvrant les lits majeurs des cours d'eau du Bounamoussa.
- Les alluvions actuelles (moyenne terrasse), représentées par des cailloux de grés et des galets se trouvant au fond des vallées et le long des berges de l'Oued Bounamoussa.

**Le Numidien** désigne une puissante formation gréseuse, en divers points de l'Algérie orientale. Dans sa lithologie, le Numidien est représenté par les argiles supra-numidiennes d'âge Burdigalien inférieur dont l'épaisseur varie de 0-50m et par des grés d'âge Aquitanien, formant les principaux reliefs (les Monts de Koudiet Feddane au Sud, Koudiet Ed-deba à l'Est et Kef Zayer à l'Ouest).

Pour la **tectonique locale** ; la plaine d'El Asfour quant à elle, s'est formée au Quaternaire ,elle est marquée par des formations anticlinales affectées par des failles orientées sensiblement Nord-Sud affectant le secteurs suivant : Hofret Hamed ,Hadj Touba et djebel Boukarma. Cette tectonique donne des reliefs accidentés à la région.



**Figure 4 bis:** Carte géologique locale du Bassin de l'Oued Bouamoussa (Plaine d'El Asfour)



**Figure 5 :** Coupe géologique schématique dans la région d'El Asfour (Source AAD)

### 1.3. Conclusion

La région d'étude fait partie de l'ensemble géologique du Tell Algérien Nord Oriental ; elle présente des Formations perméables (dépôts alluvionnaires du Quaternaire) qui constituent le siège des nappes aquifères, ainsi des formations imperméables des grès numidiens (Aquitaniens) donnent le siège d'alimentation des nappes par les flancs ; enfin des formations imperméables (Argiles du Numidien), formant le substratum des aquifères.

Afin d'apporter un complément d'information à cet aperçu, l'étude géophysique détaillée s'avère nécessaire et ceci afin de compléter les lacunes d'ordre géologique de cette région. L'outil géophysique confirme bien l'extension et la superposition de ces formations.

## 2. L'outil géophysique :

Dans le cadre de ce travail de mémoire, l'étude géophysique a consisté à traiter et à interpréter les données brutes des sondages électriques réalisés récemment (2005/2006) dans la région d'El Asfour en vue de déterminer, d'une part, les zones aquifères éventuelles et de mieux appréhender, d'autre part, la géologie locale, aussi bien dans son aspect structural que dans son aspect lithologique.

Ces sondages électriques ont été réalisés par les étudiants de quatrième année option "Hydrogéologie" du Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre – Université de Badji Mokhtar – Annaba, et ce dans le cadre de leur stage pratique.

### 2.1. Principes généraux de la méthode des résistivités

Les méthodes de prospection électrique utilisent le passage d'un courant électrique naturel ou artificiel dans le sol. Ces diverses méthodes sont utilisées surtout pour des études hydrogéologiques ou génie civil. La méthode de résistivités est de loin la plus employée.

#### 2.1.1. Mesure de la résistivité du sous-sol

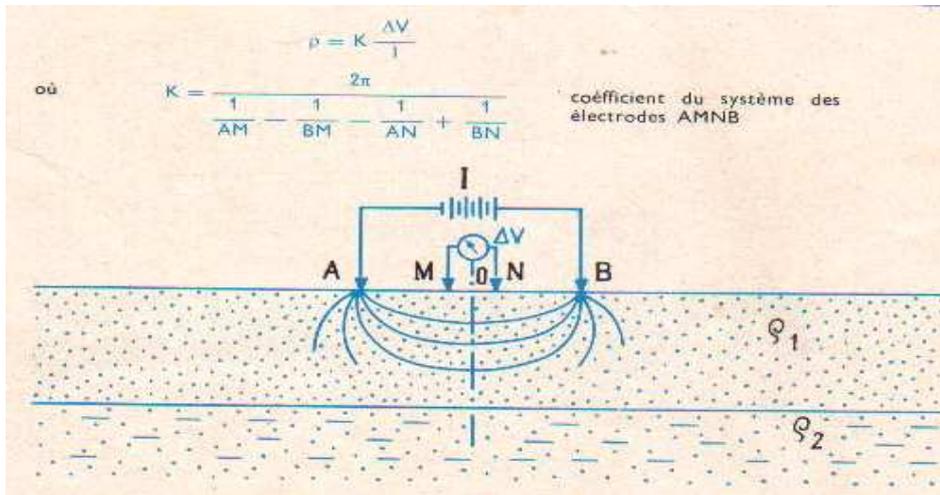
La méthode employée pour la mesure de la résistivité électrique utilise divers dispositifs. Le dispositif pour les mesures est le quadripôle de Schlumberger. Le principe de la méthode (**Fig. 6**), consiste à injecter dans le sol un courant électrique continu ou alternatif d'intensité  $I$  créé par un générateur, entre deux électrodes d'injection A et B et à mesurer une différence de potentiel  $\Delta V$  provoquée par le passage du courant, entre deux électrodes de réception M et N. La résistivité est obtenue grâce à la formule :

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

Déduite de la loi d'Ohm, où K est un coefficient qui dépend de la géométrie du dispositif. Pour le dispositif Schlumberger:

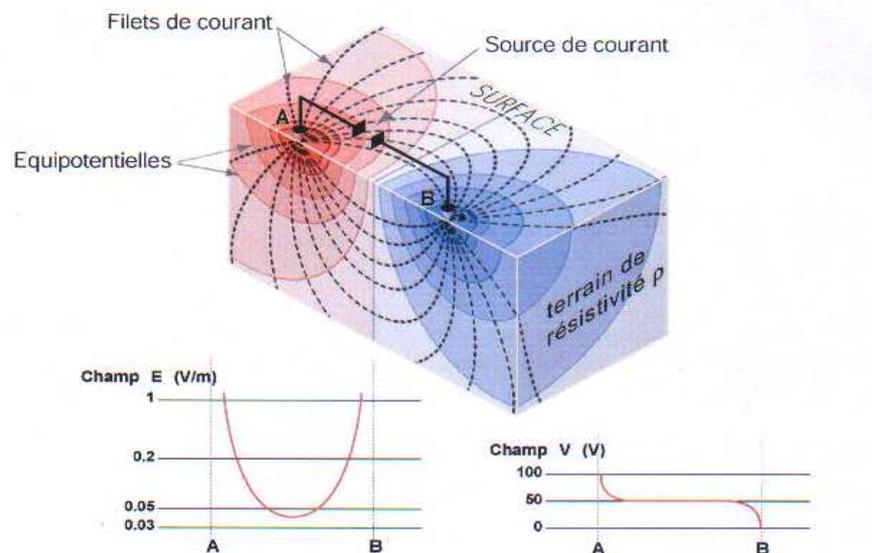
$$K = \pi \cdot \frac{AM \cdot AN}{MN}$$

La profondeur d'investigation d'un tel dispositif est fonction de l'écartement des électrodes d'émission A-B, ainsi que des épaisseurs et des résistivités des terrains rencontrés.



**Figure 6 :** Quadripôle de Schlumberger

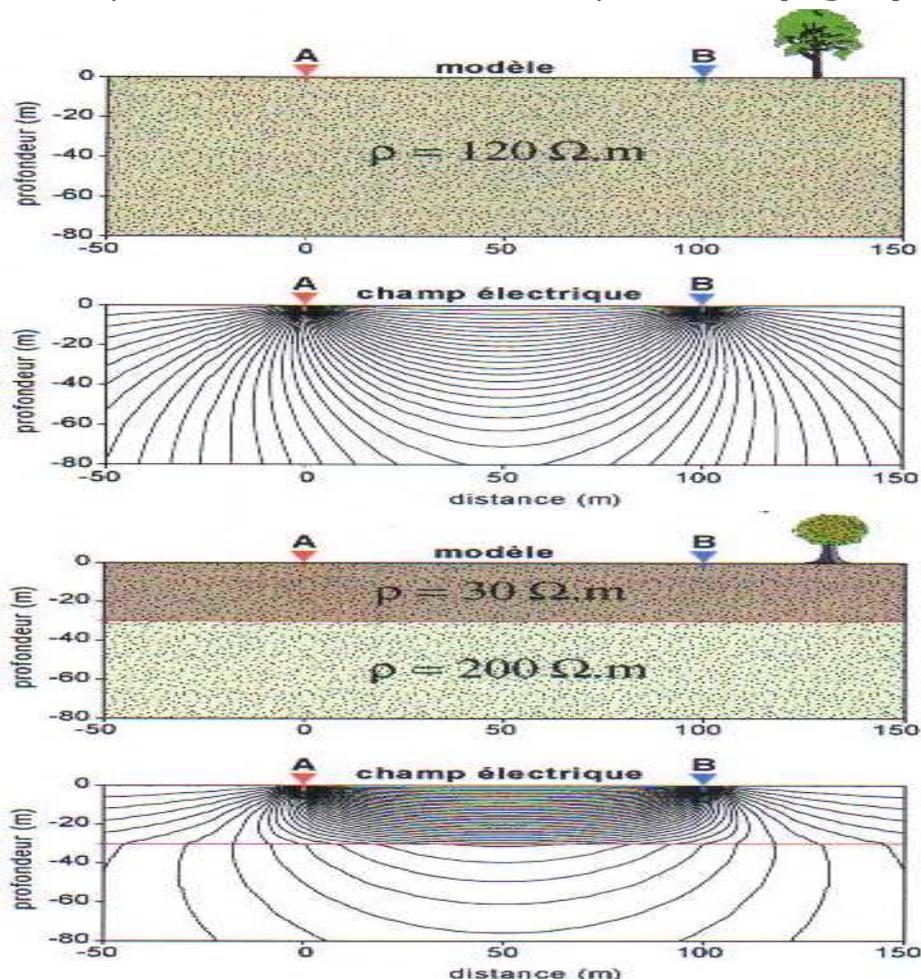
Lorsque les filets de courant circulent entièrement dans un même niveau homogène, la résistivité mesurée correspond à la résistivité vraie de ce terrain (**Fig. 7**). C'est le cas notamment des mesures tests ou paramétriques (cf. échelle des résistivités) effectuées sur des formations sub-affleurantes d'épaisseurs et d'extensions suffisamment importantes par rapport à l'écartement de la ligne d'émission.



**Figure 7:** Equipotentielles de courant dans un sol homogène.

Mais généralement, les filets de courant traversent plusieurs horizons différents; dans ce cas, la résistivité est fonction des résistivités spécifiques des différents terrains et de leurs épaisseurs.

Les résistivités mesurées sont dites *résistivités apparentes* et c'est à partir de ces valeurs que nous essayons de déterminer les résistivités vraies  $\rho_i$  et les épaisseurs  $h_i$  caractérisant chaque niveau (**Fig. 8**).



**Figure 8** : Le courant dans le premier terrain de faible résistivité.

### 2.1.2. Le sondage électrique

#### ➤ Principe du sondage électrique vertical (SEV)

Pour réaliser un SEV, on effectue à partir d'un même point une série de mesures de la résistivité apparente en augmentant progressivement les dimensions du dispositif de mesure, le centre et la direction restant constants. En supposant que la résistivité spécifique et l'épaisseur du terrain superficiel (dans lequel se trouvent généralement les électrodes) ne varient pas de façon considérable d'une mesure à l'autre, les variations de la résistivité apparente sont dues essentiellement aux changements verticaux de la résistivité spécifique. On voit donc que la profondeur d'investigation augmente en fonction de l'espacement AB. Dans la pratique cette profondeur d'investigation est proportionnelle à la longueur du dispositif dans le rapport approximatif et empirique de 1/4 à 1/10. Généralement, On continue les mesures jusqu'à ce que la formation géologique recherchée soit atteinte.

Pour cette raison, le champ d'application idéal des SEV consiste en l'étude des formations géologiques stratifiées subhorizontales (angle entre les couches ne dépasse guère les 15°) qui s'étendent sur une certaine distance et dont les caractéristiques géologiques ne varient pas latéralement trop brusquement (latéralement homogènes).

Lors de l'exécution des sondages avec un dispositif Schlumberger, le principal problème consiste à conserver un  $\Delta V$  suffisamment grand pour être mesuré. Or au fur et à mesure que A et B s'éloignent  $\Delta V$  diminue. On peut alors résoudre ce problème soit:

- En augmentant la tension à la source de façon à augmenter I et  $\Delta V$ .

- En multipliant le nombre d'électrodes en A et B

- En arrosant les électrodes A et B, si nécessaire avec de l'eau salée, de façon à

- Accroître I et  $\Delta V$ .

- En augmentant MN afin d'augmenter  $\Delta V$  mesuré.

Les résultats de mesure sont représentés sur un papier bi logarithmique où l'on reporte, en abscisses, les longueurs AB/2 en mètres et en ordonnées les valeurs des résistivités apparentes correspondantes exprimées en ohms-m, on obtient la courbe de SEV qui correspond à une succession déterminée de couches de résistivité.

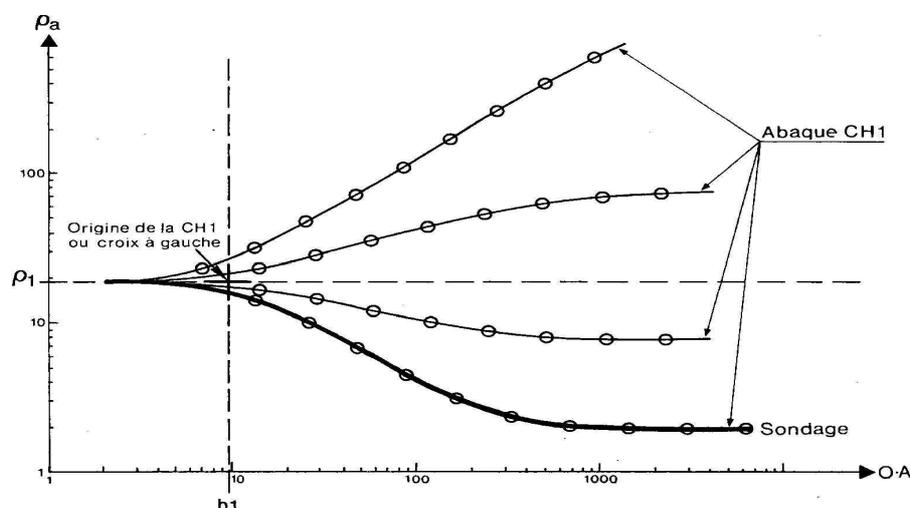
➤ Théorie d'interprétation des sondages électriques :

L'interprétation des sondages électriques verticaux consiste à essayer de déterminer les résistivités vraies ( $\rho_i$ ) et les épaisseurs ( $h_i$ ) des couches composant la coupe géologique.

Plusieurs méthodes d'interprétation des SEV ont été élaborées par les géophysiciens prospecteurs, parmi elles on peut citer :

### A. La méthode de superposition à l'aide des abaques (Fig. 9)

Dans cette méthode, on choisit dans l'ensemble des abaques publiés la courbe s'ajustant au mieux avec le sondage électrique. La superposition est rarement parfaite, surtout pour les sondages à plus de trois terrains.



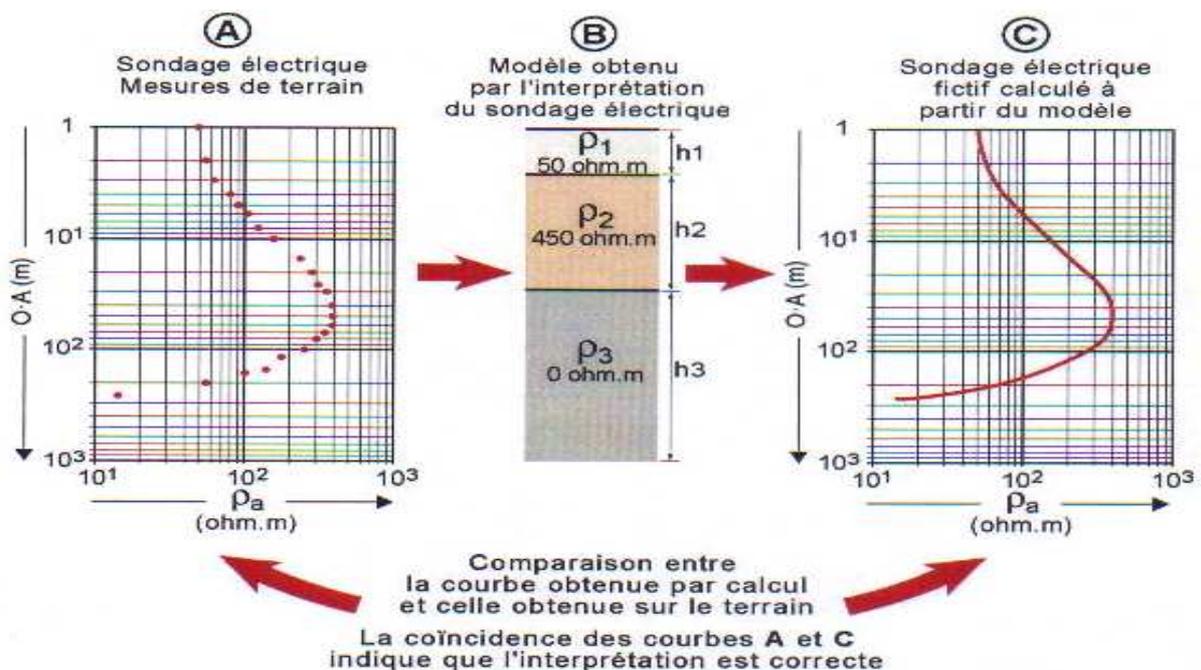
**Figure 9** : Utilisation de l'abaque pour deux terrains.

## B. La méthode de HUMMEL dite aussi de réduction (Partial Curve Matching)

Cette méthode consiste à appliquer l'abaque à deux terrains et les abaques auxiliaires (A, H, K, Q) pour interpréter un sondage, quelque soit le nombre de couches. La méthode permet d'épargner l'utilisation de plusieurs nombres d'abaques pré calculés lorsque le sondage est composé de plus de deux terrains. Pour ce faire, on fait coïncider le début de sondage à l'une des courbes de l'abaque à deux terrains cette coïncidence fournit immédiatement l'épaisseur et la résistivité du premier terrain et le rapport des résistivités ( $\mu = \rho_2/\rho_1$ ). En utilisant les abaques auxiliaires on réduit alors les deux premières couches en une couche équivalente (principe de réduction). On utilise à nouveau l'abaque à deux terrains pour coïncider les autres branches de la courbe en utilisant toujours le principe de réduction jusqu'à la fin de la courbe.

## C. La méthode comparative par ordinateur

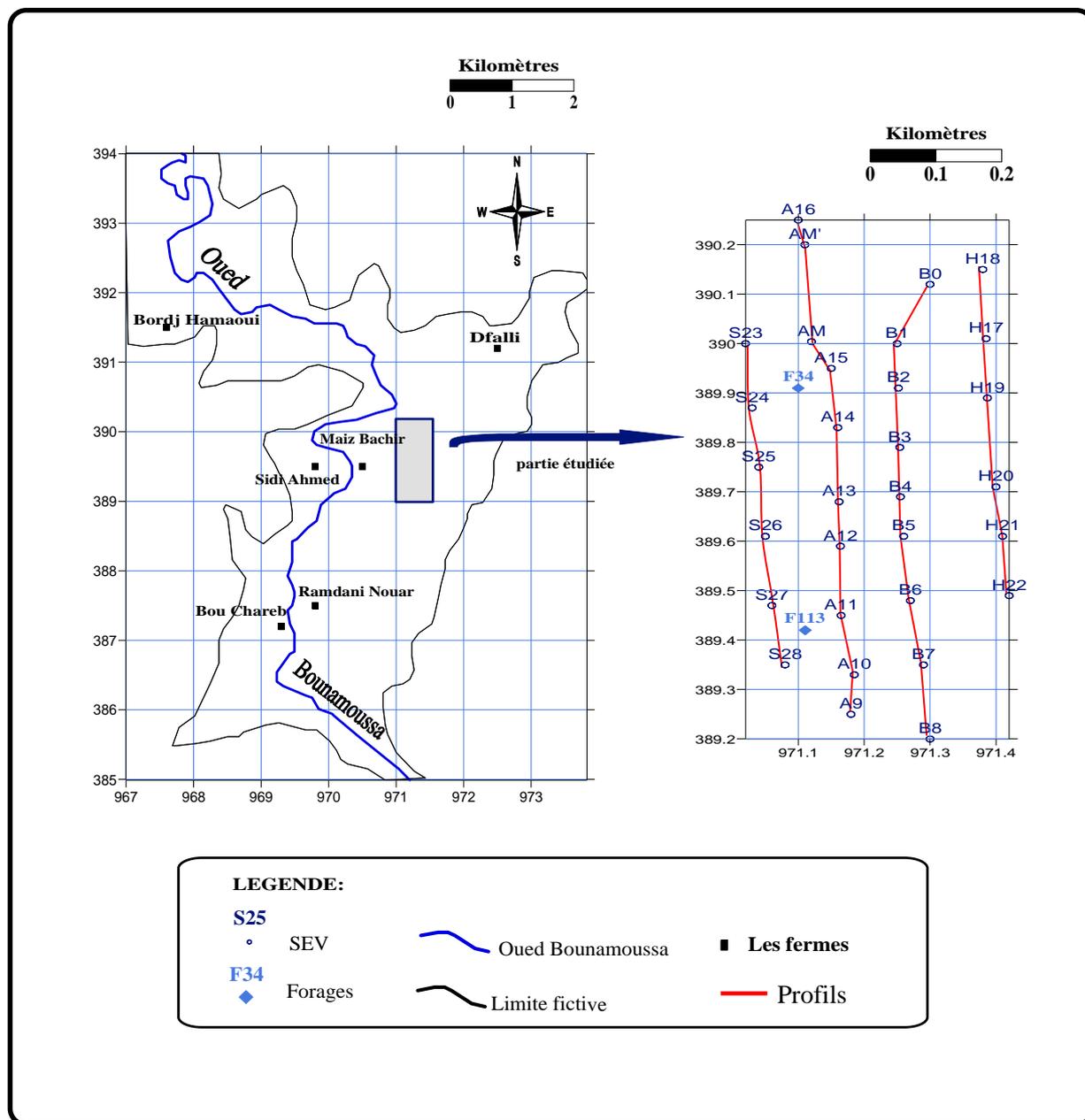
Elle consiste à affiner l'interprétation des courbes de SEV ainsi trouvée, grâce aux méthodes citées ci-dessus, à l'aide d'un programme d'informatique d'interprétation permettant d'ajuster au mieux le modèle expérimental avec le modèle calculé. On fait calculer par l'ordinateur la courbe que donnerait un sondage électrique effectué sur les terrains tels qu'ils ont été admis lors de l'interprétation préliminaire. On compare ensuite le graphe calculé et la courbe mesurée (**Fig. 10**). On modifie l'interprétation jusqu'à ce que les deux courbes s'ajustent parfaitement ou presque. Cette méthode "comparative" est donc complémentaire des autres méthodes. Elle peut apporter d'utiles améliorations au modèle préliminaire, mais reste limitée, comme toutes les autres méthodes, par les principes d'équivalence et de suppression.



**Figure 10** : Interprétation d'un sondage électrique par ordinateur

## 2.2. Travaux effectués

Les travaux de prospection électrique réalisés par la méthode des sondages électriques verticaux (SEV) ont comportés 31 sondages électriques verticaux dont deux SEV étalons répartis sur 4 profils orientés Nord - Sud (Figure .11)



**Figure 11** : Carte d'implantation des sondages électriques

L'implantation des SEV (Fig.11) a été faite à partir de leurs coordonnées rectangulaires Lambert (Tab. 2).

**Tableau 2:** Tableau récapitulatif du volume des travaux de terrain

Profils	Nombre de SEV	Piquets	Coordonnées Lambert (Km)	
			X	Y
I	6	S <sub>23</sub>	971.020	390.000
		S <sub>24</sub>	971.030	390.870
		S <sub>25</sub>	971.040	389.750
		S <sub>26</sub>	971.050	389.610
		S <sub>27</sub>	971.060	389.470
		S <sub>28</sub>	971.080	389.350
II	10	A <sub>16</sub>	971.100	390.250
		A <sub>M'</sub>	971.110	390.200
		A <sub>M</sub>	971.120	390.004
		A <sub>15</sub>	971.150	389.950
		A <sub>14</sub>	971.160	389.830
		A <sub>13</sub>	971.162	389.680
		A <sub>12</sub>	971.164	389.590
		A <sub>11</sub>	971.165	389.450
		A <sub>10</sub>	971.185	389.330
		A <sub>9</sub>	971.180	389.250
III	9	B <sub>0</sub>	971.300	390.120
		B <sub>1</sub>	971.250	390.000
		B <sub>2</sub>	971.252	389.910
		B <sub>3</sub>	971.254	389.790
		B <sub>4</sub>	971.255	389.690
		B <sub>5</sub>	971.260	389.610
		B <sub>6</sub>	971.270	389.480
		B <sub>7</sub>	971.290	389.350
		B <sub>8</sub>	971.300	389.200
IV	6	H <sub>18</sub>	971.380	390.150
		H <sub>17</sub>	971.385	390.010
		H <sub>19</sub>	971.387	389.89
		H <sub>20</sub>	971.400	389.71
		H <sub>21</sub>	971.410	389.61
		H <sub>22</sub>	971.420	389.49

\*Dans la partie étudiée, le terrain est horizontal et **Z=17 m** pour tous les points de mesures.

### 2.3. Echelle de Résistivité :

Deux sondages électriques étalons (A<sub>10</sub>, A<sub>14</sub>) réalisés à proximité des 2 forages (F<sub>113</sub> et F<sub>34</sub>) dans la région d'étude, ont permis alors l'établissement de l'échelle de résistivité.

En effet, la simple comparaison des coupes lithologiques fournies par les forages et les résultats de l'interprétation quantitative des diagrammes de sondages électriques obtenue à l'emplacement des forages permet d'associer facilement les terrains décelés par les SEV aux formations géologiques reconnues par les forages.

### Forage Maïz Bachir II (F<sub>113</sub>) - Sondage A<sub>10</sub>

#### \*Forage Maïz Bachir (II)

-N°de sondage 113 X = 971.110 (Km), Y = 389.420 (Km).

-N°de carte 034 -Mondovi.

- Le forage (F<sub>113</sub>) a recoupé les formations suivantes :

-(0 -1m) : Terre végétale (formations alluvionnaires).

-(1 -5m) : Argiles jaune et ocre.

-(5 - 45m) : Sables grossiers et galets.

-(>45m): Alternance de sables et d'argiles.

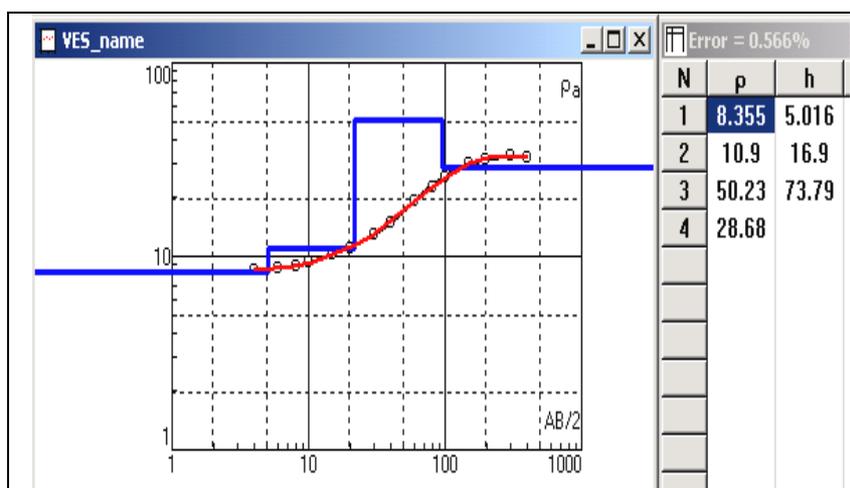
\***Sondage électrique vertical A<sub>10</sub>**: (Fig.12), fait apparaître de haut en bas :

- (0-5m): un niveau conducteur (8 ohms m) que l'on peut associer aux argiles ou marnes

- (5-22 m) : un niveau conducteur (11ohm m) attribué aux formations argilo - sableuses.

- (22 -96 m) : un niveau résistant (50 ohm m) correspond aux formations sableuses.

-(>96 m): un substratum moins résistant (28 ohm m) associé aux marnes.



**Figure 12:** interprétation du sondage électrique vertical A<sub>10</sub>.

## Forage Maïz Bachir I (F<sub>34</sub>) – Sondage A<sub>14</sub>

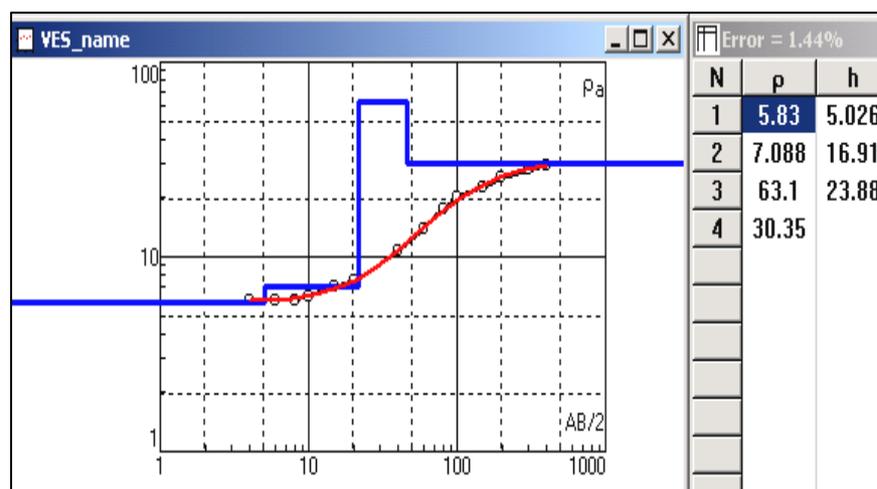
### \*Forage Maïz Bachir (I)

- N°de sondage 34 X = 971.100 (Km), Y = 389.910 (Km).
- N°de carte 034 –Mondovi.
- Le forage (F<sub>34</sub>) a recoupé les formations suivantes :
- (0 - 20 m) : Argiles.
- (25 - 30 m) : Argiles sableuses.
- (30 - 45 m) : Gravier, sables.

### \*Sondage électrique vertical A<sub>14</sub> : (Fig.13)

A donné les terrains suivants de haut en bas :

- (0 - 22 m) : un niveau conducteur (5 - 7 ohms m) que l'on associe aisément aux argiles.
- (22 - 46 m) : un niveau résistant (63 ohms m) que l'on rattache aux formations aquifères (gravier, sables et galets).
- (> 46 m) : un substratum marneux peu résistant (31 ohm m).



**Figure 13** : Interprétation du sondage électrique vertical A<sub>14</sub>.

De la comparaison des SEV étalons et des logs des forages, on a pu établir l'échelle de résistivité (Tab. 3).

**Tableau 3**: Comparatif des résistivités vraies de différentes formations

Résistivité moyenne (Ohm m)	Lithologie probable
0 - 5	Formations très conductrices : argiles ou marnes en présence d'eau minéralisée (terre végétale).
6 - 10	Argiles ou marnes non salées conductrices.
7 - 25	Argiles sableuses.
20 - 40	Marnes.
> 40	Formations relativement résistantes (sable, graviers et galets).

## **2.4. Interprétation des cartes de résistivités apparentes**

Ce sont les premiers documents bruts que l'on établit avant toute interprétation quantitative. Les valeurs de la résistivité apparente reprise sur chaque sondage électrique à une longueur de ligne d'émission AB déterminée sont ainsi cartographiées (Fig.14). L'image que donne les cartes est alors celle d'une esquisse géologique établie à une profondeur de l'ordre de  $AB/4 - AB/10$ .

### **2.4.1. Carte de résistivités apparentes en AB = 20m (Horizon I):**

Cette carte concerne les horizons peu profonds (à la profondeur maximale de 5m), en relation directe avec les faibles variations lithologiques latéralement. Elle fait ressortir deux plages :

- La première plage de résistivités apparentes inférieures à 12 Ohms m s'étend sur presque la totalité de la surface prospectée et correspond très probablement aux formations argileuses.
- La deuxième plage, de faible extension latérale, non délimitée complètement au Sud - Est de la carte et présente des résistivités apparentes supérieures à 12 Ohms m. Elle souligne principalement la présence de formations argilo - sableuses. Cette zone peut présenter un intérêt hydrogéologique (couche semi perméable).

### **2.4.2. Carte de résistivités apparentes en AB = 50m (Horizon II):**

Cette carte qui devrait refléter l'horizon se trouvant à une profondeur maximale de 12.5 m se caractérise par des plages de résistivités différentes :

- Une première plage de résistivités apparentes inférieures à 25 Ohms m, peut être associée aux formations argileuses et/ou argiles sableuses.
- une deuxième plage relativement résistante (25 - 40 Ohms m) se localisant essentiellement au Nord-Ouest et au Sud de la carte, semble traduire la présence de formations marneuses.
- Enfin, une troisième plage plus résistante (résistivité supérieure à 50 Ohms m) s'étendant en couvrant les 2/3 de la surface du terrain prospecté que l'on peut rattacher aisément aux formations meubles (sables, graviers et galets). Ces dernières peuvent constituer une nappe captive.

### **2.4.3. Carte de résistivités apparentes en AB = 200 m (Horizon III):**

Cette carte a été établie à partir des résistivités apparentes en ligne AB = 200m, elle donne une vision horizontale des horizons se trouvant à des profondeurs de 20 à 50 m de profondeur. On y observe :

- Une première plage de faible résistivité (inférieure à 22 Ohms m) recouvrant la partie Nord de la carte. Elle caractérise les formations argilo - sableuses.

- Une deuxième plage occupe presque la totalité de la surface de la carte, où la résistivité apparente est comprise entre 24 - 38 Ohms m. Les valeurs de résistivités apparentes de cette plage correspondent à celles des formations marneuses.
- Une plage très limitée de forte résistivité (42-56 Ohms m) correspond aux sables, graviers et galets.

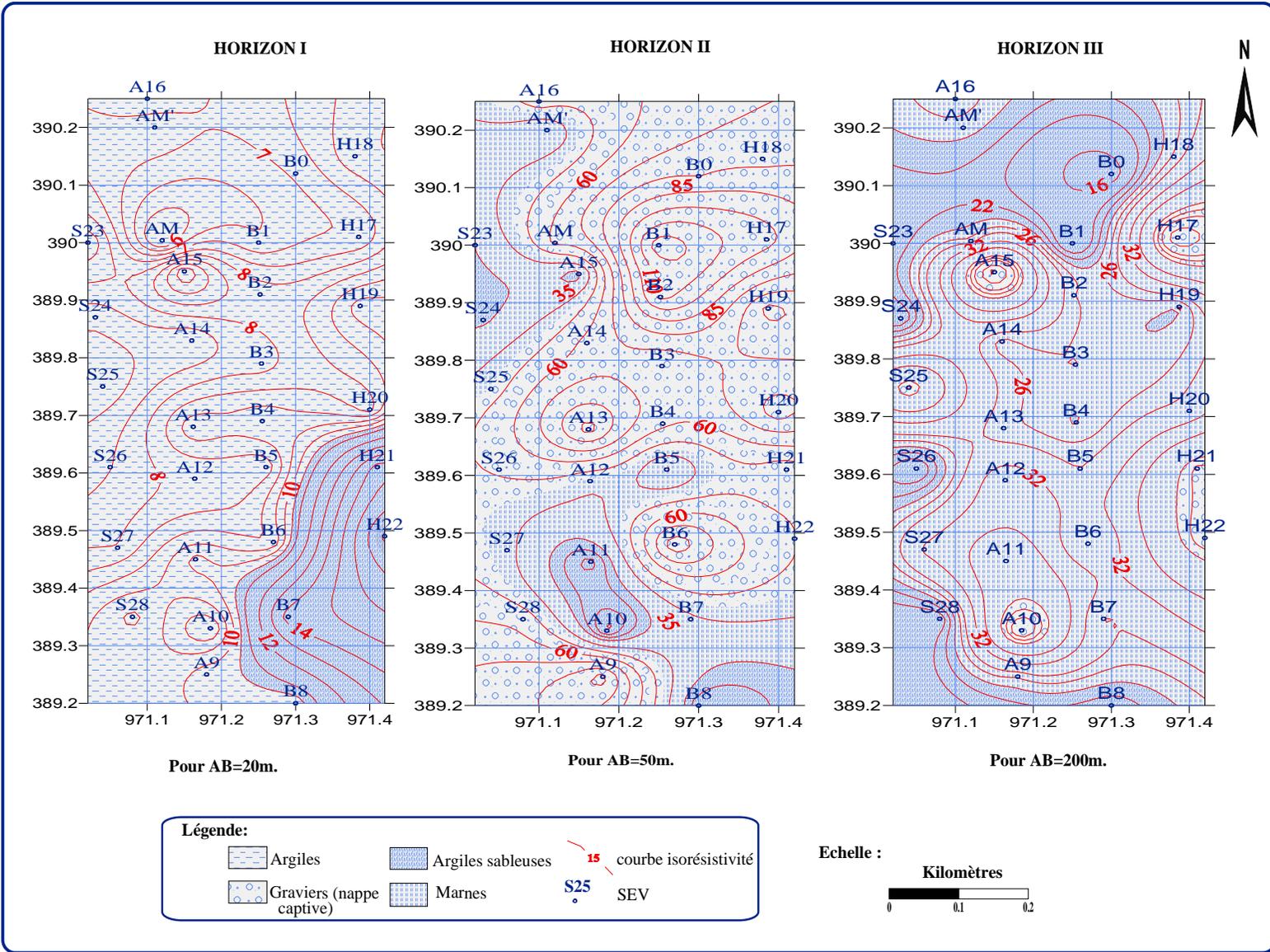


Figure 14 : Carte d'isorésistivité des horizons

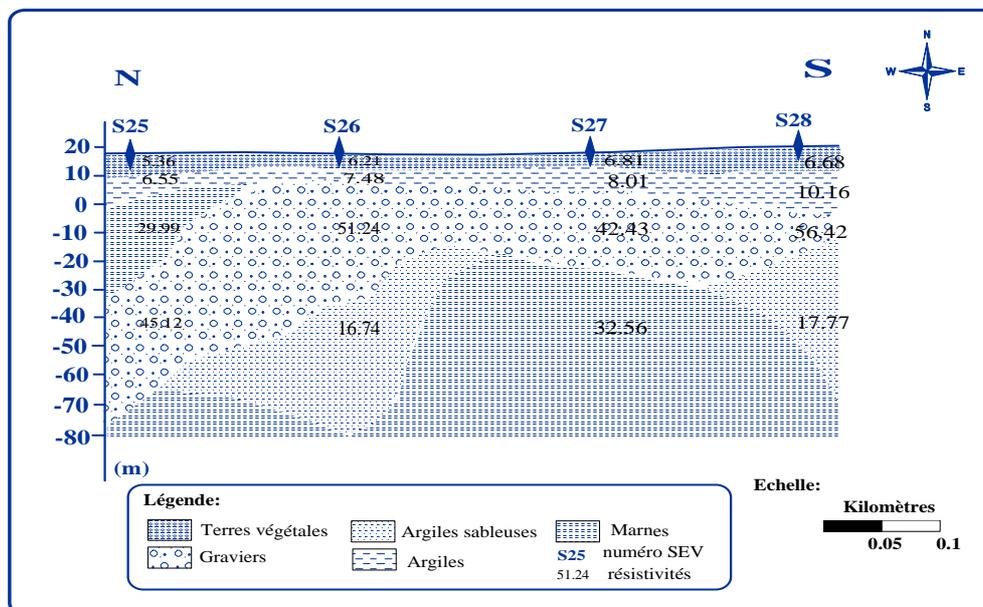
2.2.5. Interprétation des coupes géoélectriques

L'interprétation quantitative des SEV nous a permis alors de dresser des coupes géoélectriques à échelle horizontale et verticale de 1/50 000. Toutes les coupes ont une orientation **Nord-Sud**.

### 2.2.5.1. La coupe géoélectrique le long du profil S (Fig. 15) :

Cette coupe établie suivant le profil S à partir de 4 SEV a une allure simple et se caractérise par une alternance de terrains conducteurs et résistants ; elle met en évidence les formations suivantes :

- A la surface, un terrain conducteur (5-6,1 Ohm m) que l'on associe aux terres végétales.
- Sous les terres végétales, on a des argiles ou marnes non salées (6-10 Ohms m).
- Plus bas dans la coupe, on rencontre un troisième terrain. Il s'agit de formations relativement résistantes (56 ohms m) et épaisses (175 m) que l'on associe aisément aux sables, galets et graviers.
- Enfin, un substratum marneux, parfois argiles sableuses.



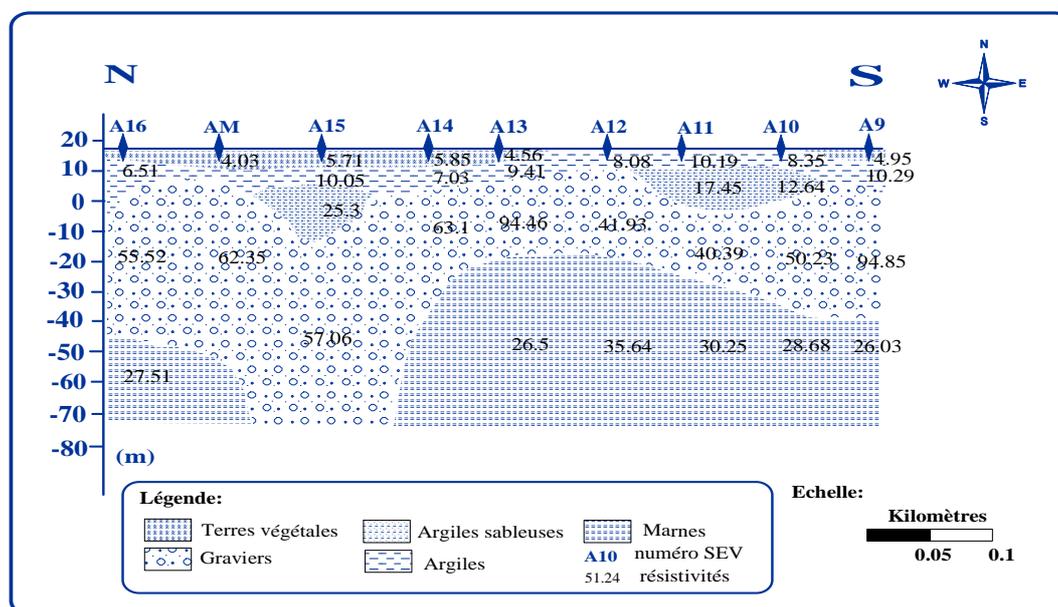
**Figure 15** : Coupe géoélectrique selon le profil S

### 2.2.5.2. La coupe géoélectrique le long du profil A (Fig. 16) :

Cette coupe a été établie le long du profil A à partir de 9 SEV, elle est constituée de trois terrains :

- A la surface, affleure une couverture relativement conductrice (4-10 Ohms m) pouvant atteindre les 29 m d'épaisseur que l'on associe aux argiles non salées parfois à des terres végétales.
- Sous cette couverture, vient une couche assez résistante (50-100 Ohm m) et d'épaisseur variable que l'on rattache aux formations hétérogènes (sables, galets et graviers). Cette couche contient des lentilles argilo - sableuses.
- Enfin un substratum conducteur marneux ou argileux.

De l'analyse de cette coupe, on peut en conclure que la nappe aquifère de la partie Sud de la zone d'étude est libre.



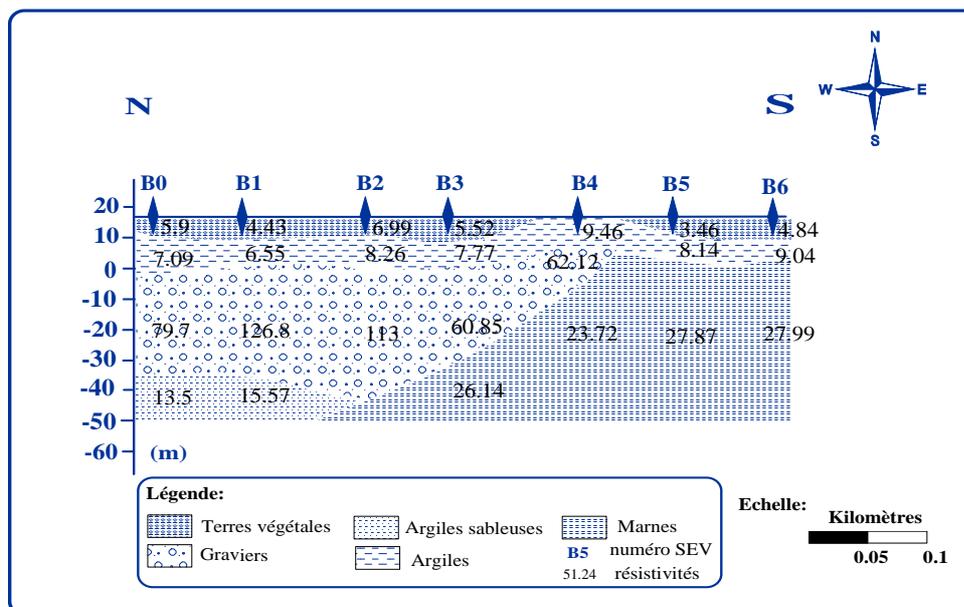
**Figure 16** : Coupe géoélectrique selon le profil A.

### 2.2.5.3. La coupe géoélectrique le long du profil B (Fig. 17) :

Cette coupe présente une allure simple et est établie à partir de 7 SEV suivant le profil B.

On y observe de haut en bas :

- Une couverture mince et très conductrice (3 - 7 Ohm m) attribuée aux argiles riches en eau minéralisée
- Sous la couverture argileuse, on a un toujours un horizon conducteur (9-11 Ohm m), il s'agit là probablement de formations argileuses non salées.
- Puis on observe un terrain très résistant (70-113 Ohm m) d'épaisseur variable pouvant atteindre 60 m au SEV<sub>2</sub>. Cet horizon peut présenter un intérêt aquifère dans la mesure où les résistivités des formations rencontrées sont plus élevées que celles des autres formations.
- Enfin, un substratum argileux ou marneux de faible résistivité (4-28 Ohm m) termine la série.



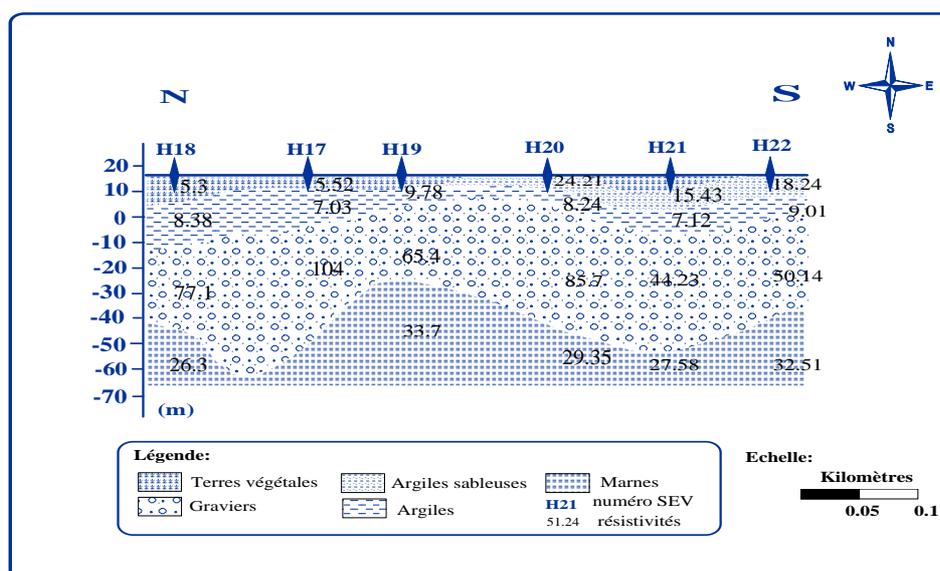
**Figure 17** : Coupe géoélectrique selon le profil B.

#### 2.2.5.4. La coupe géoélectrique le long du profil H (Fig. 18) :

Cette coupe est établie à partir de 6 SEV suivant le profil H d'orientation Nord-Sud.

On y observe de haut en bas :

- A la surface, un premier terrain de faible résistivité (3 - 7 Ohm m) correspondant aux terres végétales
- Sous la couverture argileuse, on a toujours un horizon conducteur (9-11 Ohm m), il s'agit de formations argilo - marneuses non salées.
- Puis, plus bas dans la coupe, on y observe un terrain très résistant (35-104 Ohm m) d'épaisseur variable correspondant aux formations meubles (sables, galets et graviers).
- Enfin un substratum de faible résistivité (1-26 Ohm m) qui peut être marneux et parfois argilo - sableux.



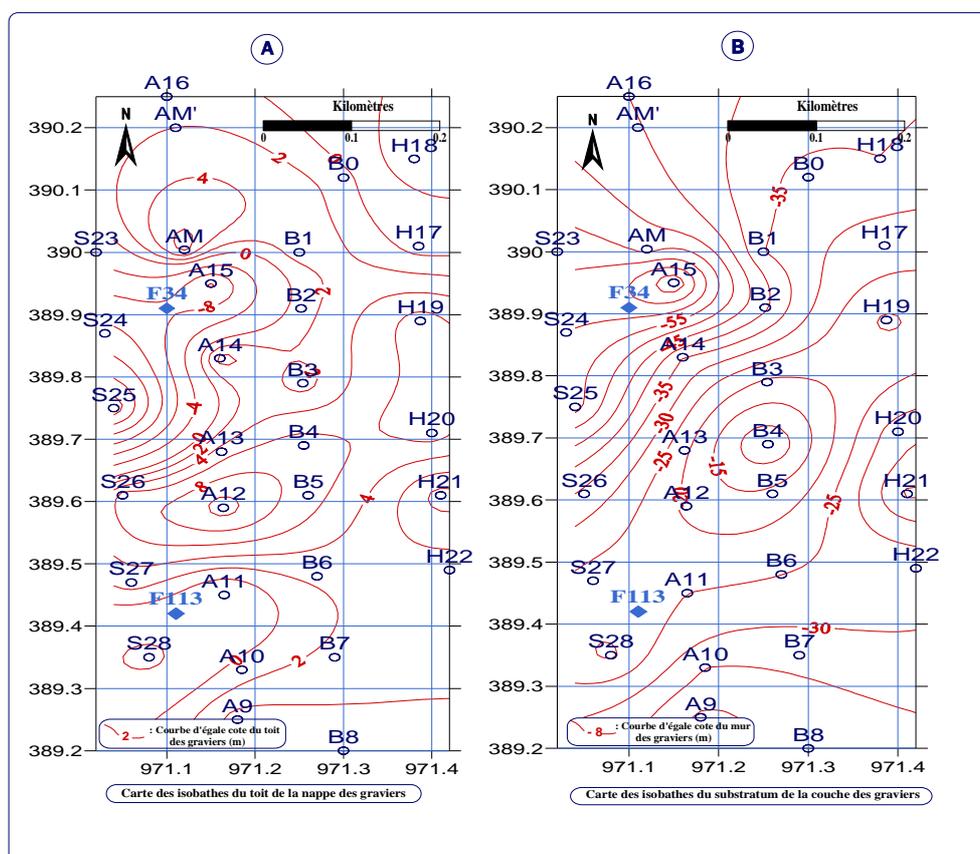
**Figure 18** : Coupe géoélectrique selon le profil H.

## 2.6. La géométrie du système aquifère

Les logs lithologiques des forages et les coupes géoélectriques montrent l'existence de plusieurs phases sédimentaires marquées par une alternance de couches argilo-sableuses et de couches grossières de graviers et de galets.

D'après les données géophysiques de la partie étudiée, les courbes d'égalité cote du toit (Fig.19A), et du mur (Fig.19B), révèlent un affleurement des niveaux graveleux du Nord-Ouest vers le Sud-Est.

A partir des données obtenues par sondages électrique, des coupes géoélectrique et des données du forage, nous avons tracé la carte des isohypses du toit et du mur de l'horizon supposé aquifère (Fig.19).



**Figure 19:** La carte d'égalité cote de la nappe des graviers

L'examen de cette carte révèle l'existence :

**a)** De deux dépression localisé sur les profils A et S.

La première dépression se trouve dans sa partie Nord, à une direction Nord-Sud. La profondeur maximum se situer au S<sub>25</sub>.

La deuxième dépression ne se marque que faiblement se localise dans la partie Sud avec une profondeur maximum au S<sub>28</sub>.

Les deux dépressions sont oblitérées à la suite d'un bombement tectonique.

En effet selon l'allure des courbes et leur resserrement (fort gradient) suggèrent alors la présence d'une faille d'orientation NE-SW au niveau des SEV S<sub>27</sub>-A<sub>13</sub>.

**b)** Deux autres dépressions s'observent sur les profils B et H aux niveaux respectivement (H<sub>18</sub>-H<sub>19</sub>) et (H<sub>20</sub>-H<sub>22</sub>) mais de moins importante que les précédents et qui s'étirent à des profondeurs plus faibles. Là, on ignore tout de leur relation avec les précédents dépressions. Toutefois, d'après l'allure des courbes et leur fort gradient ; un faible d'orientation N-S semble les séparer

### **2.6.1. Epaisseur de la nappe des graviers**

Etant donné que le problème à résoudre était essentiellement de nature hydrogéologique ; il s'agissait de déterminer l'endroit où deuxième horizon supposé aquifère est maximum pour recouvrant un forage d'exploitation.

Cette carte fait ressortir, de manière très nette, les variations des épaisseurs de l'horizon susceptible d'être productifs (Fig. 20).

### **2.6.2. Zonation des résistances transversales des formations aquifères**

La résistance transversale d'un horizon est le produit de la résistivité par son épaisseur.

$$RT = h \cdot \rho \quad ; \text{ (en Ohms.m}^2\text{)}$$

Comme sa perméabilité varie comme sa résistivité, on conçoit que les zones à RT maximale peuvent coïncider avec les zones où l'aquifère si le mieux représenté (Figure .21).

Les zones intéressantes dégagées par la RT doivent impérativement correspondre aux zones dégagées par la carte iso épaisseur.

En effet ; si l'on admet que  $\rho$  reste constante dans l'horizon aquifère alors  $h = RT / \rho$

D'où les deux cartes doivent coïncider et se superpose ; c'est-à-dire plus la résistance transversale est grande plus l'épaisseur est grande et inversement.

## **2.7. Conclusion**

La synthèse des résultats obtenus à partir des coupes géoélectriques. Mis à notre disposition permet de reconstituer l'allure générale de la topographie au tracé des différents horizons.

Le recouvrement alluvionnaire de la zone prospectée présente en général une épaisseur moyenne de l'ordre de dix à quinze mètres.

L'épaisseur supposée aquifère atteint les 20 m dans la partie Nord ; où on a déduit que les différentes formations aquifères dans la zone d'étude (graviers, galets, les lentilles sablo argileuses) constituent le matériel de remplissage, leurs résistivités varient de 20-100 Ohms m. Ces formations affleurent dans la partie Sud, où la profondeur maximale du toit est de l'ordre de (7-10m).

Le substratum est en général constitué par des marnes et des argiles dans d'autres points.

Les bonnes qualités hydrauliques du matériel alluvionnaires ; nous amène à proposer une exploitation limitée au seul niveau supérieur. C'est-à-dire nous conseillons d'implanter des forages à 30m de profondeur au maximum.

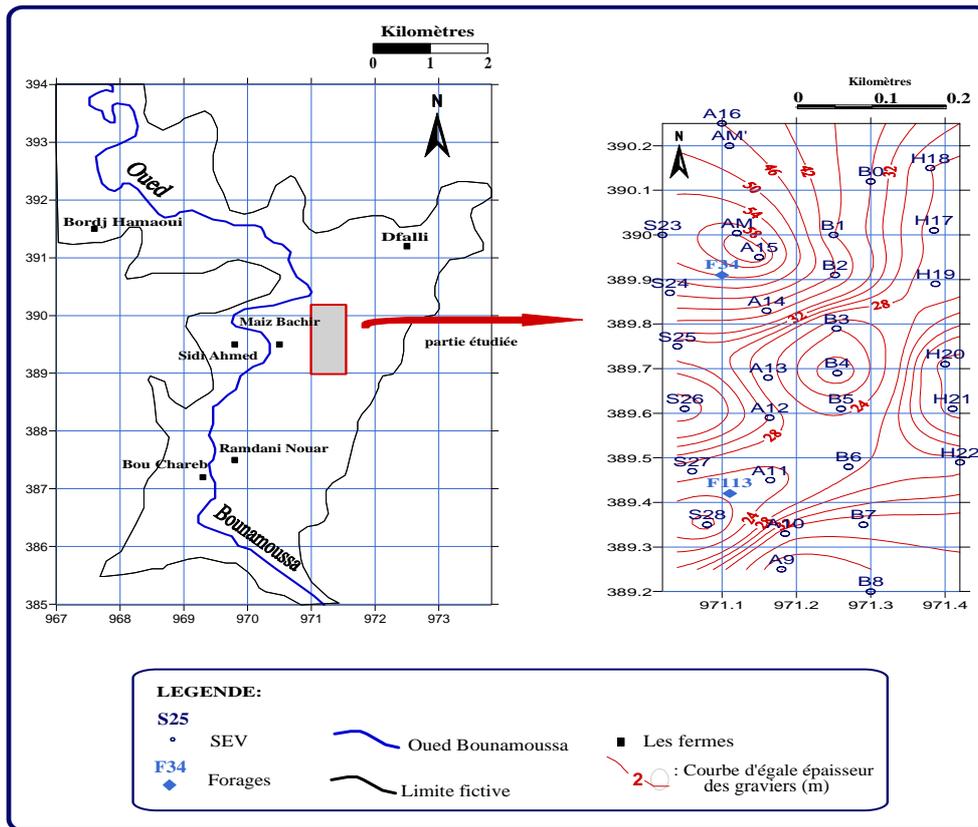


Figure 20 : Carte des isopaches des couches de graviers et galets

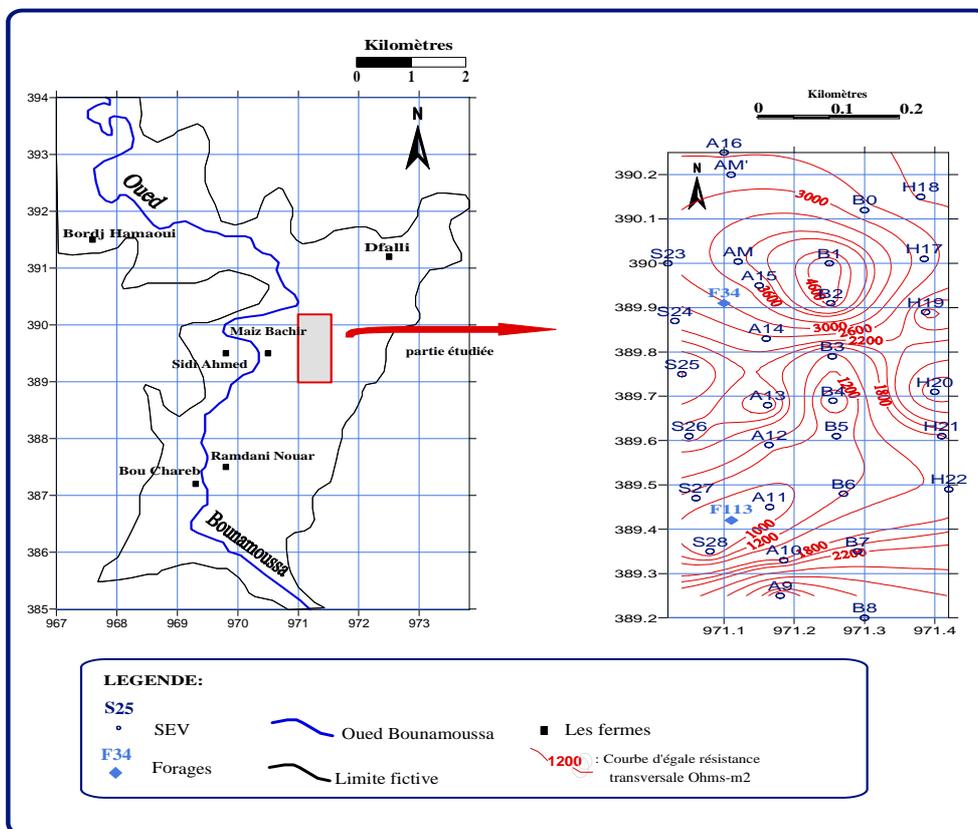


Figure 21 : Carte des résistances transversales de la nappe de graviers

### **3. L'outil hydrogéologique :**

L'étude hydrogéologique nous amène à la compréhension des processus d'alimentation des aquifères et la restitution des eaux souterraines. Ainsi que le sens d'écoulement, la variation du gradient hydraulique, les caractéristiques hydrodynamique et la répartition spatiale que se soit horizontale ou verticale des systèmes hydrogéologiques.

#### **3.1. Identification des nappes**

Le système hydrogéologique du bassin versant de la Mafragh est complexe du point de vue structural, lithologique et hydrodynamique .ce système pourrait être schématisé de la façon suivante :

- Des aquifères superficiels exploités en grande partie par des puits domestiques.
- Une nappe profonde reconnue par les forages profonds.

Le bassin d'El Asfour présente un fond parfaitement plat, il correspond à une plaine alluviale.

D'après La coupe hydrogéologique on peut distinguer deux types de nappes :

##### **3.1.1. La nappe superficielle**

Cette nappe est contenue dans des formations sablo-argileuses (Fig. 22) incluant des lentilles de sables, des argiles grises compactes en constituent le substratum (F<sub>102</sub>).

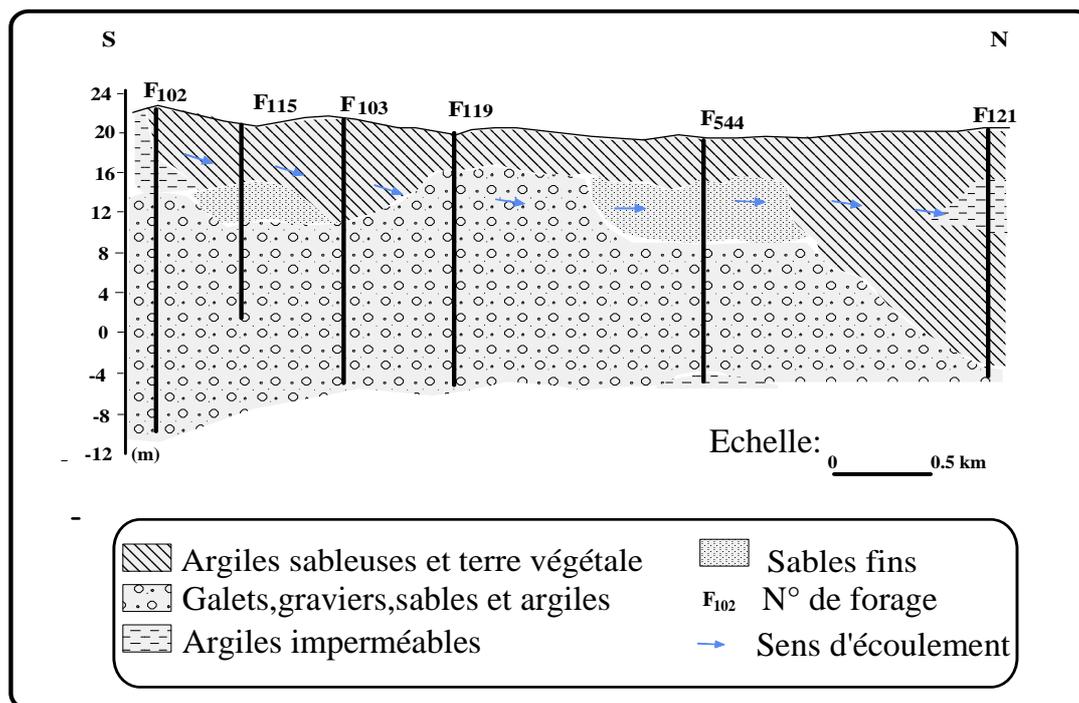
L'alimentation de la nappe se fait essentiellement par la bordure Nord et Nord-Est, ce que veut dire que dans cette partie on a une limite perméable « Alimentation » et que pour le reste de la plaine, la limite est supposée étanche ainsi que l'alimentation et le drainage de la nappe sont en étroite liaison avec l'oued Bounamoussa.

##### **3.1.2. La nappe captive ou semi-captive**

Elle est observée dans la partie Nord, au niveau des forages (F<sub>544</sub> et F<sub>121</sub>).

La nappe semi-captive repose sur un substratum argileux imperméable par endroits et limoneux par d'autre (Fig. 22), les sables argileux forment le toit semi-captif de la nappe. Les graviers constituant le réservoir de cette nappe avec épaisseur qui varie entre 15 et 50 m.

Les deux nappes sont isolées par des couches argileuses sur la majeure partie du système aquifère. Mais elles sont totalement confondues en une seule, à surface libre.



**Figure 22:** Coupe hydrogéologique au travers de la plaine d'El Asfour.  
(Khérici-Bousnoubra Houria 2002)

### 3.2. Détermination des paramètres hydrodynamiques de La nappe profonde

Les essais de pompages effectués dans les forages qui captent la nappe des graviers, ont permis de donner des valeurs de transmissivité de  $3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , et des valeurs de perméabilité de  $0,2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  et  $0,6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ , respectivement aux forages :

-F<sub>500</sub> (X=970.5 Km, Y=390.00 Km)

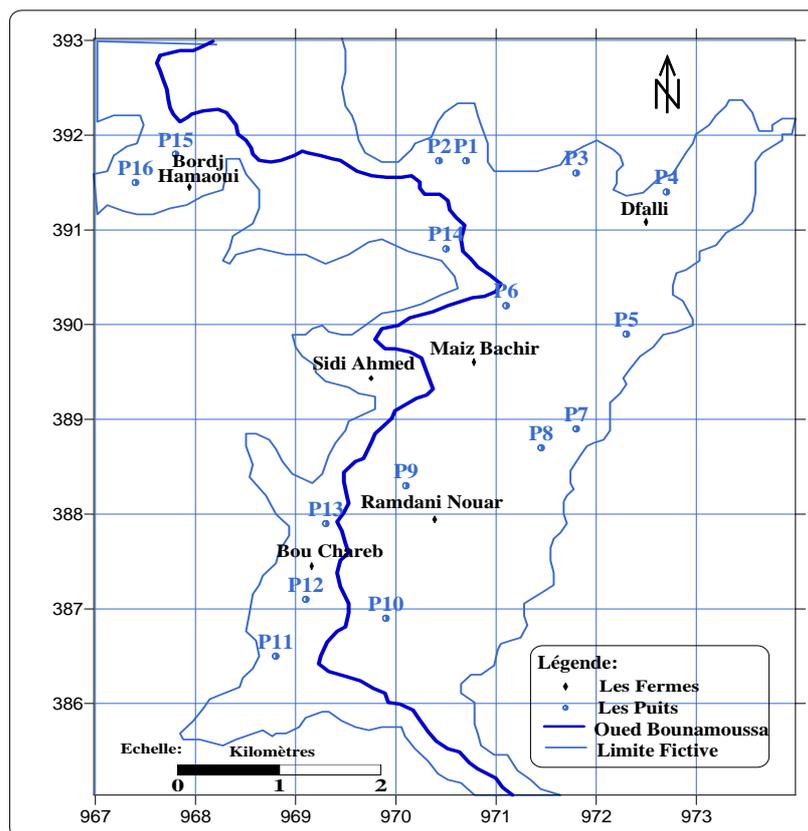
-F<sub>543</sub> (X=970.3 Km, Y=387.250 Km)

### 3.3. La piézométrie de l'aquifère

#### 3.3.1. Inventaire des points d'eau

Elle sera basée sur les relevés effectués sur 16 puits domestiques (Fig. 23).

Les mesures ont été réalisées au cours du mois de (Juillet 2006) et pendant le mois de (Mars 2007); pour avoir une idée sur la surface piézométriques, sur le sens d'écoulement des eaux souterraines, et connaître les zones d'alimentation et la relation entre la nappe et l'oued.



**Figure 23 :** Carte d'inventaire des points d'eau.

### 3.3.2. Etude de la piézométrie de la nappe superficielle

Deux cartes piézométriques ont été tracées pour caractériser l'écoulement des eaux souterraines dans la nappe superficielle : l'un pour la période des basses eaux (Juillet 2006) et l'autre pour la période des hautes eaux (Mars 2007). (Fig.24).

Les deux cartes piézométriques sont globalement identiques ; avec un petit changement dans l'allure des isopièzes entre basses et hautes eaux .ce ci nous amène à se contenter de l'interprétation d'une seule carte (Mars 2007).

L'examen des deux cartes montre un écoulement qui suit parfaitement la topographie de la plaine, elle est caractérisée par des lignes de courant de direction générale convergent vers l'oued Bounamoussa.

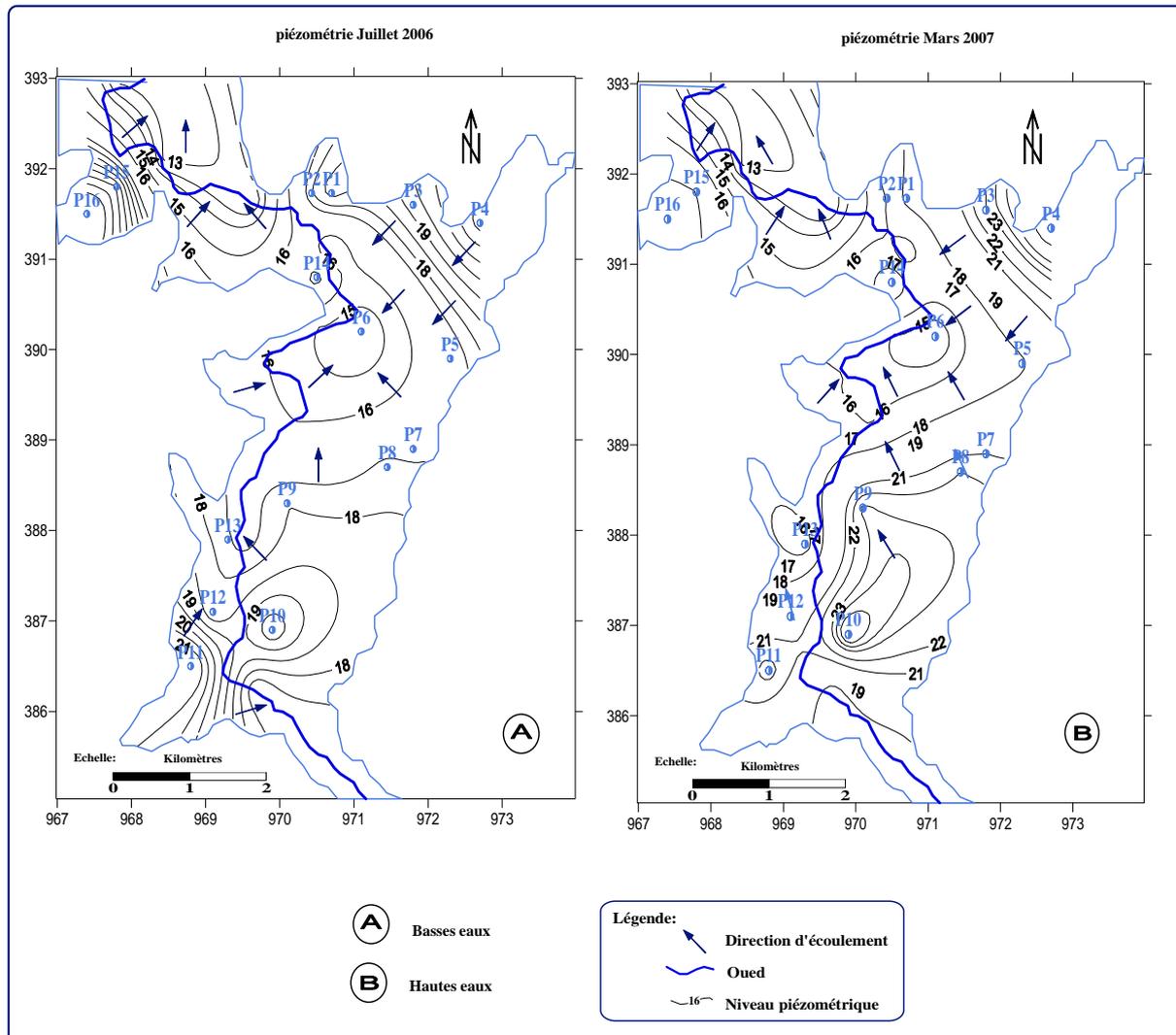
- dans la partie Nord de la plaine, l'écoulement se fait de Nord –Est vers le Sud-Ouest. Les courbes isopièzes sont très serrées avec un gradient hydraulique de l'ordre de  $6,66.10^{-3}$ . indique un écoulement rapide avec une faible perméabilité.

Les lignes de courants sont orientées vers l'oued exactement vers l'amont ce qui traduit une zone d'alimentation qui se fait par les bordures du relief Nord.

- Dans le centre, zone de Maiz Bachir, on note l'existence d'une dépression observée au niveau de puits (P<sub>6</sub>) ; peut être expliquer par l'existence d'une faille ; le terrain étant très tectonisé, on suppose que l'eau souterraine circule le long de cette faille pour se déverser vers la source de Bou Abed.

Les courbes isopièzes sont très espacées au centre, avec un gradient hydraulique très faible de l'ordre de  $10^{-3}$ , ce qui indique un écoulement lent avec une forte perméabilité.

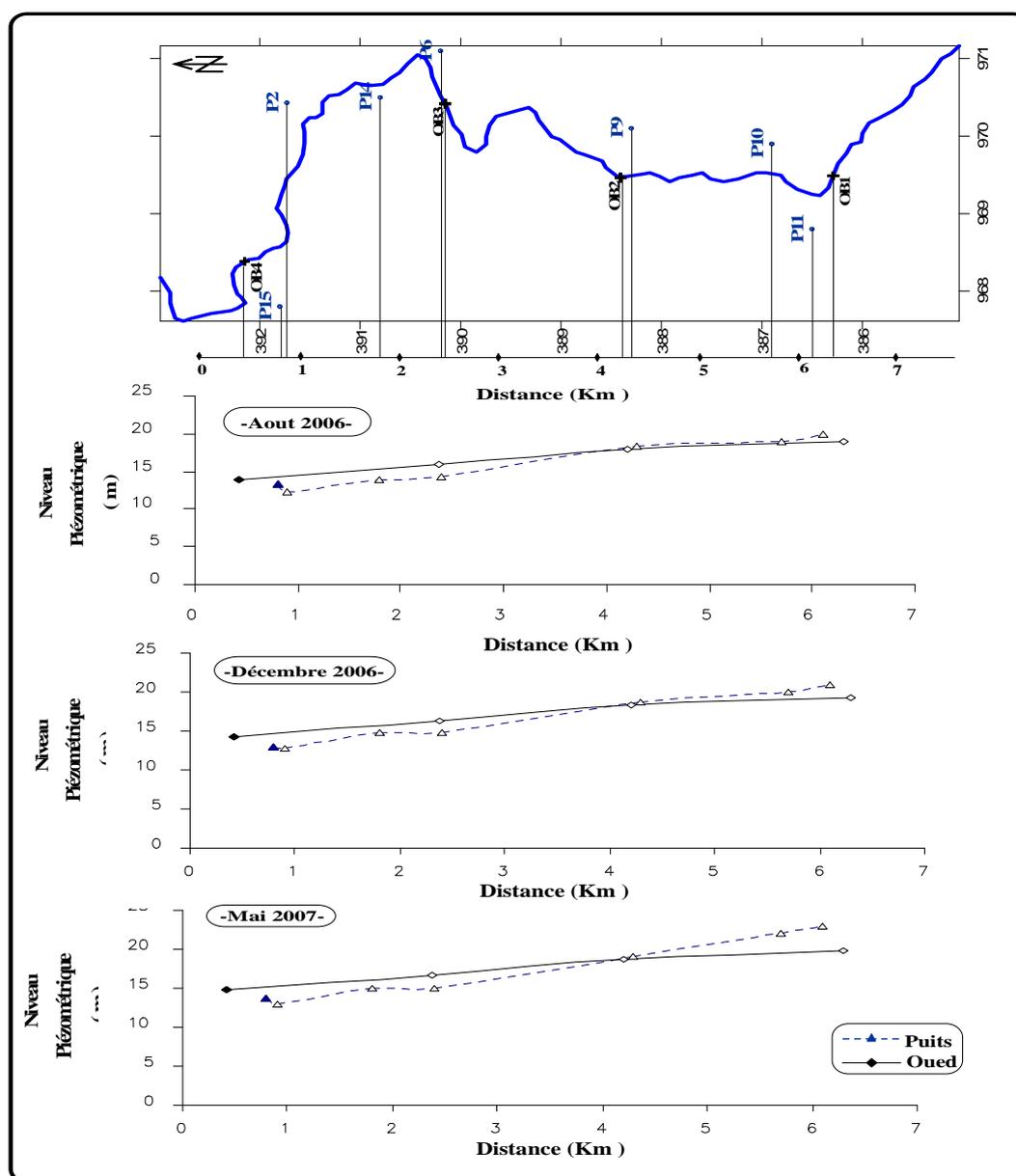
- Dans la partie Sud ; l'écoulement se fait de Sud-Est vers le Nord-Ouest, où les lignes de courants se dirigent vers l'aval (une zone de drainage). Le gradient hydraulique y est de l'ordre de  $5 \cdot 10^{-2}$  indique un écoulement rapide avec une faible perméabilité.
- Les cartes piézométriques (Fig.24A et Fig.24B) montrent à l'Ouest, que la nappe alimente l'Oued en tout point.



**Figure 24 :** Cartes piézométriques de la plaine d'El Asfour (Juillet 2006 et Mars 2007).

### 3.4. Relation hydrodynamique entre la nappe superficielle et l'Oued

La représentation graphique du niveau piézométrique de la nappe superficielle ainsi que la côte du niveau d'eau dans l'oued Bounamoussa, montre une relation nette entre les deux et qui est identique dans les trois graphiques (Fig. 25) correspondants à trois périodes différentes, (Août et Décembre 2006 et Mai 2007). Dans la partie amont, où la position des puits est caractérisée par une topographie élevée, le niveau piézométrique de la nappe est supérieur à celui de l'oued, on peut dire que ce dernier draine la nappe. Par contre, vers la partie aval, c'est le niveau de l'oued qui dépasse celui de la nappe, traduisant ainsi une alimentation descendante de l'Oued vers la nappe.



**Figure 25 :** Relation hydrodynamique entre la nappe superficielle et l'Oued.

### 3.5. Conclusion

Dans la plaine d'El Asfour on distingue deux types de nappes la nappe superficielle contenue dans les alluvions et les formations argilo-sableuses et la nappe des graviers. Ces nappes sont largement exploitées par des ouvrages de captage destinés à l'alimentation des populations et pour répondre surtout aux besoins de l'agriculture.

La nappe superficielle est la plus vulnérable de ces deux nappes ; elle présente une potentialité importante, vu son extension spatiale sur toute la plaine.

Les deux cartes piézométriques montrent un écoulement dirigé du Nord-Est vers le Sud-Ouest dans la partie Nord et un écoulement dirigé du Sud-Est vers le Nord-Ouest dans la partie Sud. Pour s'accumuler enfin au centre provoquant ainsi un problème d'inondation pendant la crue, conformément à la topographie de la région.

L'alimentation et le drainage de la nappe sont en étroite liaison avec l'oued Bounamoussa., d'une part, et la précipitation, d'autre part.

Elle est compensé par une alimentation provenant des bordures gréseuses d'âge aquitain qui est liée à la précipitation qui est de l'ordre de (600 -800 mm/an) dans cette région.

*« La combinaison de l'outil géologique, géophysique, et hydrogéologique a permis de déterminer la lithologie, la géométrie et les caractéristiques hydrodynamiques des différents réservoirs dont deux se présentent au niveau de la zone d'étude, possédant des potentiels hydrauliques importants dans la région ».*



*Puits dans la plaine d'El Asfour*

## **2<sup>ème</sup> Partie**

# **DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES HYDROCLIMATOLOGIQUES DU SITE**

## Chapitre I : Hydroclimatologie de la zone d'étude :

**Introduction :** Les conditions climatiques jouent un rôle primordial dans la connaissance du comportement hydrologique des cours d'eau. C'est ainsi que les facteurs climatiques (précipitation, température, évaporation, infiltration et ruissellement) permettent d'expliquer les variations des composantes du régime hydrologique et de déterminer le type de climat qui caractérise la région d'étude.

### 1. Les stations de mesures :

Les stations choisies dont les données sont le plus complètes et les plus représentatives de la région d'étude sont :

- ✦ Les Salines.
- ✦ La Chaffia.

Les coordonnées Lambert sont consignées au tableau 4.

**Tableau 4:** Coordonnées des stations Les Salines et La Chaffia (ANRH, Constantine)

Coordonnées	X	Y	Z (m)	Période
Station				
<b>Les Salines</b>	955,20	403,80	3	1975/2006
<b>La Chaffia</b>	977,85	380,75	171	1978/2006

### 2. Les facteurs climatiques :

#### 2.1. La température

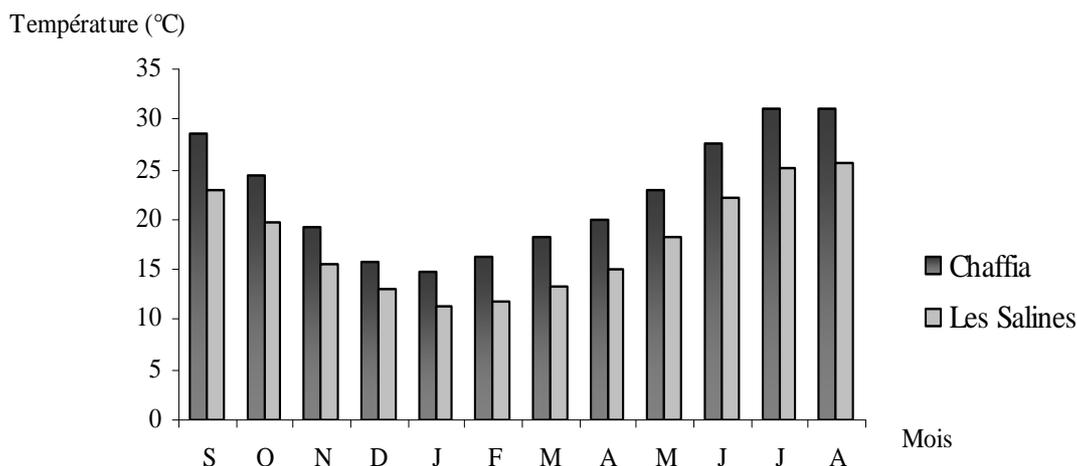
La température est un facteur important régissant le phénomène d'évapotranspiration et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier (Fig. 26).

**Tableau 5 :** Températures moyennes mensuelles.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy.
Station													
<b>Les Salines</b>	23,45	19,98	15,45	12,61	11,20	11,62	12,79	15,06	18,36	22,01	24,85	25,60	17,74
<b>La Chaffia</b>	28,70	24,40	19,30	15,70	14,72	16,24	18,21	20,07	22,85	27,68	31,02	31,05	22,49

D'après ce tableau, on peut distinguer deux saisons :

- *La saison froide* : où la température décroît à partir du mois de Septembre pour atteindre sa valeur minimale au mois de Janvier, c'est le mois le plus froid.
- *La saison chaude* : où la température croît progressivement du mois de Février pour atteindre sa valeur maximale au mois d'Août, c'est le mois le plus chaud.



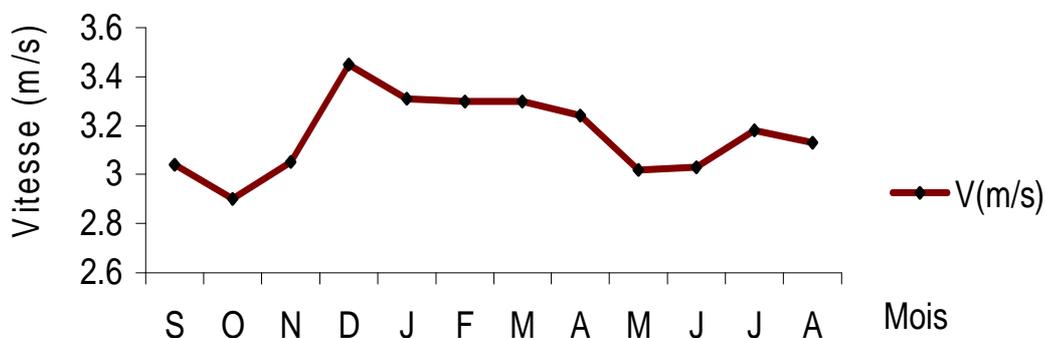
**Figure 26** : Histogramme des températures moyennes mensuelles.

## 2.2. Le vent

Le vent est l'un des facteurs les plus déterminants des régimes pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. L'absence de données dans la région étudiée, nous oblige à adopter celles de la station des Salines.

**Tableau 6** : Vitesses moyennes mensuelles des vents (1975 -2006).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>Vitesses (m/s)</b>	3,04	2,90	3,05	3,45	3,31	3,30	3,30	3,24	3,02	3,03	3,18	3,13



**Figure 27** : Courbe des vitesses moyennes mensuelles des vents en (m/s) à la Station des Salines (1975-2006).

D'après le tableau 6 et la Figure 27, les vents les plus violents se manifestent en hiver avec une direction NW-SE et les plus faible en été.

## 2.3. L'humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de vapeur saturante à la même température.

**Tableau 7 :** humidité relative moyennes mensuelles (1975 -2006).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Humidité en (%)	72,42	74,70	76,42	77,20	78,16	77,00	75,45	74,65	75,03	72,83	70,18	71,86

Le tableau ci après montre que la variation au cours de l'année est peu significative avec un maximum de 78,16 % en mois de Janvier, et un minimum de 70,18 % en mois de Juillet.

## 2.4. La précipitation

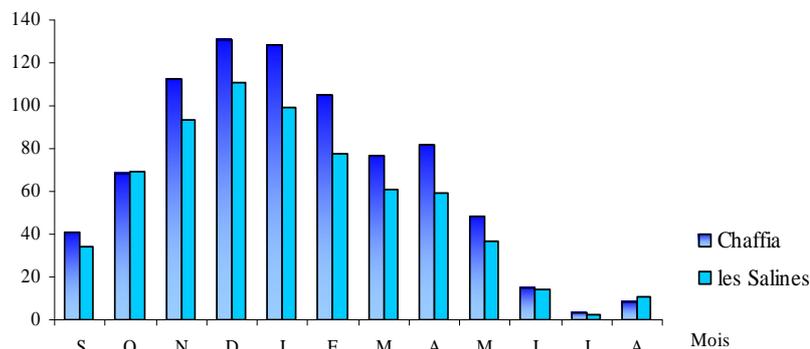
La précipitation est un facteur très important dans l'établissement du bilan hydrique. Elle joue un rôle primordial dans l'alimentation des nappes aquifères et aussi dans le comportement hydrologique des cours d'eau.

Les hauteurs des pluies enregistrées à la station : Les Salines-Chaffia ; sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 8:** Hauteurs moyennes mensuelles des précipitations.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy.
Stations													
Les salines	36,32	62,51	99,32	115,31	105,46	76,69	60,89	62,39	38,04	13,64	3,01	10,57	57,01
La Chaffia	41,25	68,58	112,38	130,52	128,07	104,77	76,65	81,57	48,46	14,80	3,40	8,05	68,20

Précipitation (mm)

**Figure 28:** Histogramme des précipitations moyennes mensuelles

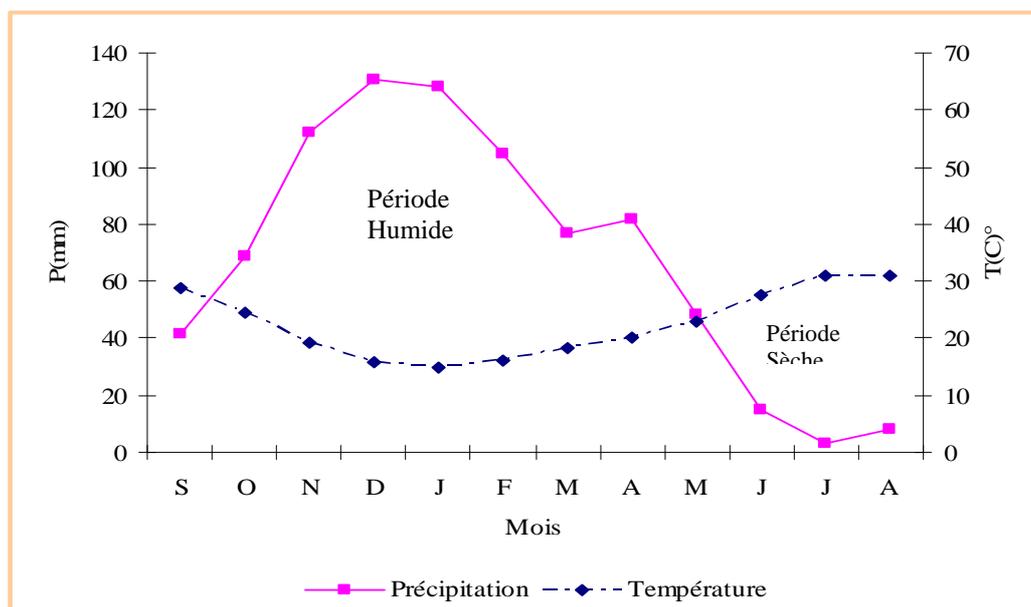
Notre région se situe dans une zone considérée comme la plus arrosée d'Algérie. Le tableau 8 et la figure 28 montrent une variation des précipitations mensuelles dans les deux stations, avec un maximum de l'ordre de 130,52 mm qui s'observe au mois de Décembre à la station de La Chaffia et un minimum de l'ordre de 3,01 mm pendant le mois de Juillet, à la station des Salines.

## 3. Diagramme ombrothermique : Courbe de Gaussen et de Bagnouls ( $P=2T$ )

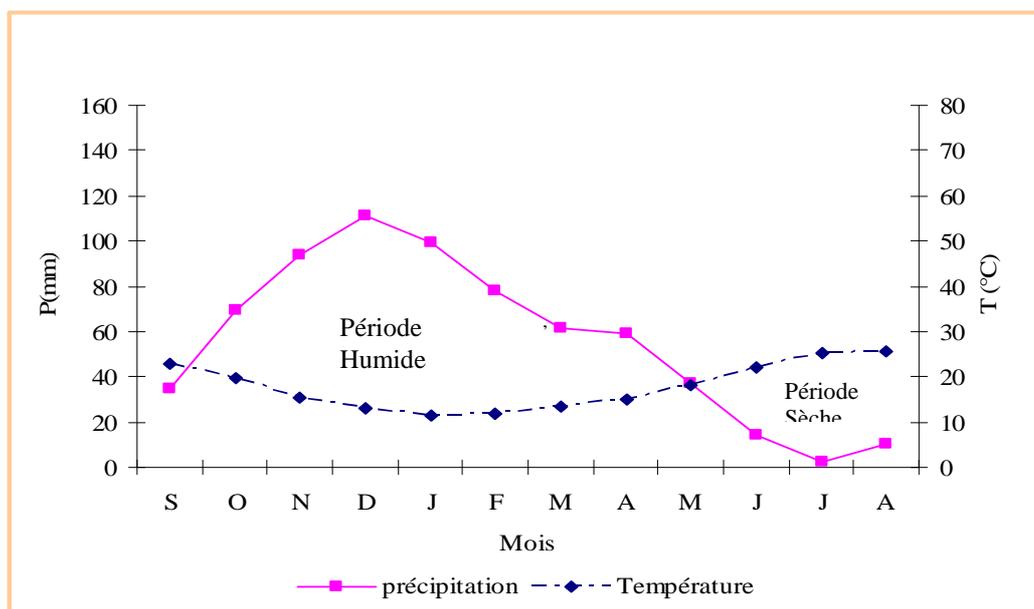
Le diagramme Pluviométrique résulte de la combinaison des températures et des précipitations mensuelles moyennes. Où :  $P=2T$

D'après les diagrammes des figures 29 et 30, deux saisons bien distinctes peuvent être déterminées :

- Une saison sèche : qui s'étend de la fin du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre.
- Une saison humide : qui s'étale du mois de Septembre jusqu'au mois de Février.



**Figure 29** : Diagramme Ombrothermique : Station La Chaffia (1978 – 2006).



**Figure 30** : Diagramme Ombrothermique : Station Les Salines (1975 – 2006).

#### 4. L'évapotranspiration :

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

On distingue :

➤ L'évapotranspiration potentielle (ETP).

➤ L'évapotranspiration réelle (ETR).

#### 4.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

##### 4.1.1. L'estimation de l'évapotranspiration potentielle

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle on a utilisé la formule « *Thornthwaite* ».

###### ○ Formule empirique de *Thornthwaite*

C.W.Thornthwaite a établi une correction entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration mensuelle, cet auteur définit d'abord un indice thermique mensuel (i), où :

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

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

Avec :

- ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.
- T : Température moyenne mensuelle en °C.
- i : Indice thermique mensuel.
- I : Indice thermique annuel.

K : Coefficient d'ajustement

**Tableau 9** : Les valeurs de l'ETP selon la formule de Thornthwaite

Station	ETP (mm/an)
<b>Les Salines</b>	911,57
<b>La Chaffia</b>	1126,41

#### 4.2. 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.

##### 4.2.1. Estimation de l'évapotranspiration réelle

On a essayé d'estimer l'évapotranspiration réelle par les formules suivantes :

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

##### **A) Formule de *Thornthwaite* (voir tableaux 15 et 16)**

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

**B) Formule de Turc**

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

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

Tel que :

- 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 10** : Résultats de l'ETR par la méthode de Turc

Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm/an)
<b>Les salines</b>	684,15	17,74	1022,64	589,35
<b>La Chaffia</b>	818,5	22,49	1431,02	738,64

**C) Formule de Coutagne**

Cette formule permet de calculer l'évapotranspiration réelle en faisant intervenir la pluviométrie et la température.

$$• \quad ETR = P - \lambda P^2$$

Avec :

ETR : évapotranspiration réelle, en (mm/an).

P : précipitation moyenne mensuelle, en (mm/an).

T : température moyenne annuelle, en (°C).

Où :  $\lambda = 1 / (0,8 + 0,14T)$ .

• Cette formule n'est valable que si les précipitations sont comprises entre :

$$• \quad 1 < 8\lambda < 1/2\lambda.$$

**Tableau 11**: Résultats de l'ETR par la formule de Coutagne

Station	P (mm)	T (°C)	$\lambda$	ETR (mm/an)
<b>Les salines</b>	684,15	17,74	0,30	543,73
<b>La Chaffia</b>	818,5	22,49	0,25	651,01

## 5. Comparaison :

- L'utilité de la comparaison réside dans les écarts décelés lors de l'application des trois méthodes (Tab. 12) pour enfin de compte aboutir à une meilleure approche à l'estimation de l'ETR. Ce qui par la suite fera ressortir la formule la mieux appropriée à notre région d'étude.
- Il est clair que la formule de Thornthwaite convient aux régions humides de la zone tempérée, contrairement à celle de Turc qui présente un caractère universel.
- L'ETR est surestimée pour tous les mois de l'année avec la méthode de Turc. Par ailleurs, Thornthwaite et Coutagne présentent des résultats assez convaincants (donnent des valeurs très proches pour l'ETR).
- Pour clore notre analogie, la méthode de Thornthwaite s'avère la plus efficace, en plus de la similitude des circonstances dans lesquelles elle a été émise, avec notre région d'étude, elle admet un coefficient de correction k.
- A noter qu'il n'y a pratiquement pas une grande différence entre les résultats des deux stations.

**Tableau 12:** Les résultats de l'ETR selon différentes méthodes

Méthode	Les salines	La Chaffia
Thornthwaite	460,14	505,51
Turc	589,35	738,64
Coutagne	543,73	651,01

## 6. Estimation de Ruissellement :

L'évaluation de ruissellement est dans le but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface de la terre (Lecberc 1992). Le coefficient de Ruissellement (R) est calculée selon deux formules :

- Tixeront Berkallof avec la condition de  $P > 600$  mm

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

- Tixeront Berkallof modifiée par Romantchouk (1974)  
Avec la condition de  $P < 600$  mm

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

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en (mm/an).

ETR : évapotranspiration potentielle annuelle en (mm).

R : ruissellement en (mm).

Les précipitations enregistrées dans la région d'étude dépassent 600 mm, la formule utilisée est celle de Tixeront (1)

$$R = P^3 / 3$$

**Tableau 13:** Les résultats des ruissellements « R »

Station	P (mm)	R (mm)	R (%)
<b>les salines</b>	684,15	106,74	15,60
<b>La Chaffia</b>	818,5	182,78	22,33

Le pourcentage du ruissellement montre que le ruissellement à la station de La Chaffia est supérieur à celui de la station des salines, et cela est dû à l'importance de la précipitation, ainsi que les reliefs favorisent le ruissellement, par contre, au niveau de la plaine des salines la forme plate permet un écoulement lent.

### 7. Estimation de l'infiltration :

L'équation du bilan hydrologique nous permet de déterminer l'infiltration efficace

On a le bilan global :

$$P = R + I + ETR \quad \text{donc : } I = P - R - ETR$$

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

R : ruissellement en (mm).

I : l'infiltration en (mm).

**Tableau 14 :** Estimation de l'infiltration

Station	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
<b>Les salines</b>	684.15	460.145	106,74	117.26
<b>Chaffia</b>	818,5	505,511	182,78	130.32

### 8. Calcul du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite :

La connaissance plus au moins parfaite des éléments du bilan hydrique d'un bassin versant, est une opération très importante en hydrologie car elle permet l'estimation des réserves naturelles des aquifères.

Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est totale, il y a un surplus d'eau accompagné par un écoulement et dès que la RFU diminue, il y a un épuisement du stock au point où la RFU sera complètement vide, il y aura un déficit agricole (DA).

**Tableau 15:** Bilan hydrique selon Thornthwaite, Station Les Salines (1975-2006)

ETR : évapotranspiration réelle annuelle en (mm).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Totaux
<b>P (mm)</b>	36,32	62,51	99,32	115,31	105,46	76,69	60,89	62,39	38,04	13,64	3,01	10,57	684,15
<b>T (°C)</b>	23,45	19,98	15,45	12,61	11,20	11,62	12,79	15,06	18,36	22,01	24,85	25,60	-
<b>i</b>	10,15	7,98	5,43	4,00	3,35	3,54	4,09	5,22	7,03	9,23	11,07	11,58	82,72
<b>k</b>	1,05	0,91	0,75	0,7	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	-
<b>ETP</b>	112,25	72,65	37,47	24,15	20,29	23,18	36,11	54,84	90,33	126,67	158,04	155,55	911,57
<b>ETR</b>	36,32	62,51	37,47	24,15	20,29	23,18	36,11	54,84	90,33	61,34	3,01	10,57	460,14
<b>RFU</b>	00	00	61,84	100	100	100	100	100	47,70	00	00	00	-
<b>EXD</b>	00	00	00	53,00	85,17	53,50	24,77	7,54	00	00	00	00	224,00
<b>DA</b>	75,93	10,14	00	00	00	00	00	00	00	65,33	155,03	144,98	451,41

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

**Tableau 16:** Bilan hydrique selon Thornthwaite, Station La Chaffia (1978-2006)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Totaux
<b>P (mm)</b>	41,25	68,58	112,38	130,52	128,07	104,77	76,65	81,57	48,46	14,80	3,40	8,05	818,5
<b>T(°C)</b>	28,70	24,40	19,30	15,70	14,72	16,24	18,21	20,07	22,85	27,68	31,02	31,05	-
<b>i</b>	13,75	11,78	7,58	5,56	5,05	5,85	6,95	8,04	9,76	13,02	15,45	15,47	117,29
<b>k</b>	1,05	0,91	0,75	0,7	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	-
<b>ETP</b>	140,80	82,98	39,17	22,39	20,03	27,03	46,40	65,92	102,98	163,65	214,53	200,47	1126,43
<b>ETR</b>	41,25	68,58	39,17	22,39	20,03	27,03	46,40	65,92	102,98	60,27	3,40	8,05	505,51
<b>RFU</b>	00	00	73,20	100	100	100	100	100	45,47	00	00	00	-
<b>EXD</b>	00	00	00	81,33	108,03	77,73	30,24	15,64	00	00	00	00	312,98
<b>DA</b>	99,55	14,40	00	00	00	00	00	00	00	103,38	211,13	192,42	620,90

**Avec :**

- **T** : Température mensuelle C<sup>0</sup>
- **P** : Précipitation mensuelle (mm)
- **i** : Indice thermique
- **RFU**: Réserve facilement utilisable (mm)
- **K** : Coefficient de latitude
- **ETR** : Evapotranspiration réelle (mm)
- **ETP** : Evapotranspiration potentielle (mm)
- **DA** : Déficit agricole (mm)
- **EXD** : Excédent (mm)

Formule de vérification

● Station des Salines

$$P = \sum ETR + \sum EX \quad P = 460,145 + 224,005 = 684,15 \text{ mm.}$$

● Station de Chaffia

$$P = \sum ETR + \sum EX \quad P = 505,511 + 312,989 = 818,5 \text{ mm.}$$

- Nous constatons que les résultats issus des bilans hydriques sont vérifiés.

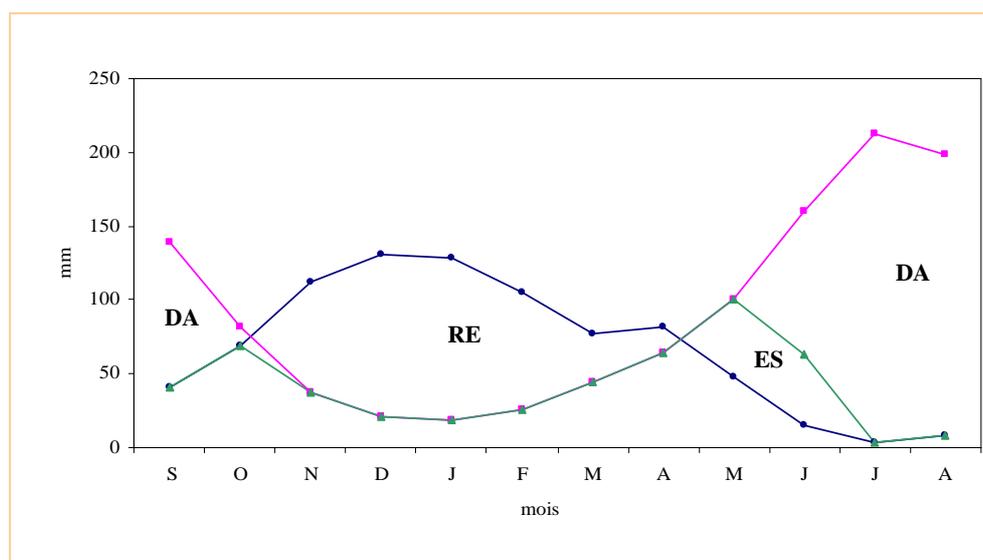
## 9. Interprétation du bilan hydrique :

### 9.1. Station de La Chaffia (Fig. 31)

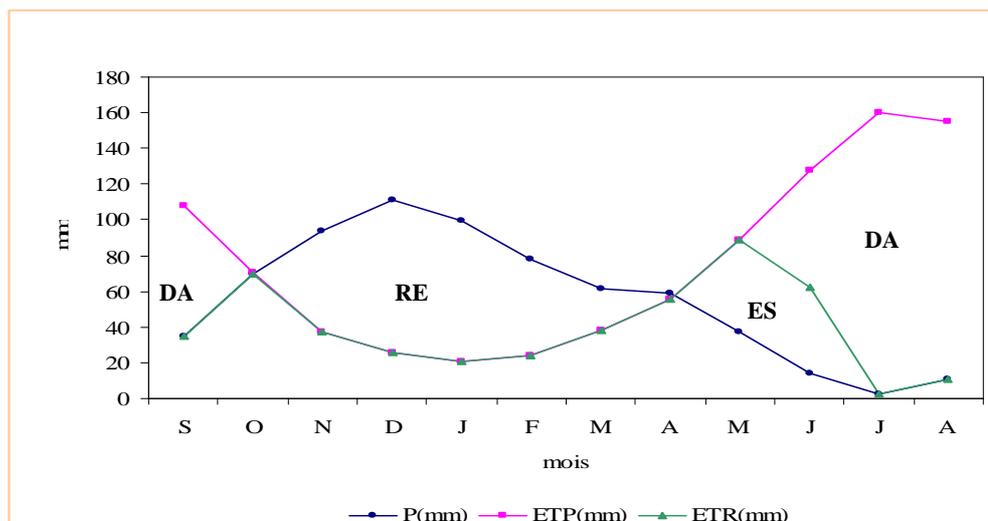
L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (214,533 mm) et son minimum au mois de Janvier (20,03mm), l'excédent (EXD) commence à partir du mois de Décembre et s'étale jusqu'au mois d'Avril avec un maximum au mois de Janvier (108,03mm), l'épuisement du stock commence au mois de Mai et se termine au mois de Juillet avec un déficit agricole maximum au mois de Juillet imposant une irrigation.

### 9.2. Station des Salines (Fig. 32)

L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (158,044mm/an) et son minimum au mois de Janvier (20,29 mm/an). Le déficit agricole (DA) débute au mois de mai et se poursuit au mois de Novembre. La reconstitution du stock s'observe au mois de Novembre avec un RFU=61,84 mm, La RFU atteint son maximum (100mm) au mois de Décembre et reste ainsi jusqu'au mois d'Avril, à partir du quel on assiste à un épuisement de stock.



**Figure 31:** Représentation graphique du bilan de Thornthwaite à la station de La Chaffia.



**Figure 32:** Représentation graphique du bilan de Thornthwaite à la station des Salines.

## 10. Conclusion :

Au terme de cette étude, nous retiendrons que la région est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par deux saisons distinctes ; l'une humide et fraîche, l'autre sèche et chaude.

Pour le calcul du Bilan, la valeur de la RFU a été choisie en fonction de la nature du terrain (RFU = 100 mm). Le bilan hydrologique est une façon de compter tous les éléments d'apport et de sortie d'eau au dessus d'une surface donnée.

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

## Chapitre II : Hydrologie de surface

La disponibilité potentielle de l'eau est étroitement liée au comportement hydrologique d'un cours d'eau ou au régime pluvial.

Dans ce chapitre, on se penche sur l'étude du fonctionnement du réseau hydrographique et le comportement du système d'écoulement du bassin versant à travers l'analyse des débits.

### 1. Station hydrométrique :

Afin d'avoir une idée de l'écoulement dans l'oued, on a pris les mesures de jaugeage effectuées à la station hydrométrique Boutayeb, dont les coordonnées Lambert sont reportées au tableau suivant :

**Tableau 17:** Station hydrométrique du bassin versant de la Mafragh (Oued Bounamoussa).

Oued	Station	X	Y	Z	Période
Bounamoussa	Boutayeb	970.82	385.00	35	1947-1988

### 2. Le réseau hydrographique :

Le bassin de l'Oued La Mafragh résulte de la jonction de deux principaux oueds, l'oued Bounamoussa et l'oued El Kebir (Fig. 33), drainant une superficie totale de 2898 Km<sup>2</sup>. La confluence forme l'Oued La Mafragh et lui donne la caractéristique d'exutoire du bassin vers la mer.

La région d'étude est parcourue par l'Oued Bounamoussa qui prend son origine à koudiat Ben Ahmed (1140m), la confluence des Oueds El Kebir et Bouhadjar donne naissance à cet Oued.

L'Oued Bounamoussa s'étend sur 93 Km de longueur et couvre une superficie de 575Km<sup>2</sup> à la station de La Chaffia avec une altitude moyenne de 790m et reçoit un apport annuel de 127 Hm<sup>3</sup>. Plus à l'Ouest, Le Bounamoussa draine la plaine d'El Asfour pour se jeter enfin, dans l'Oued La Mafragh.

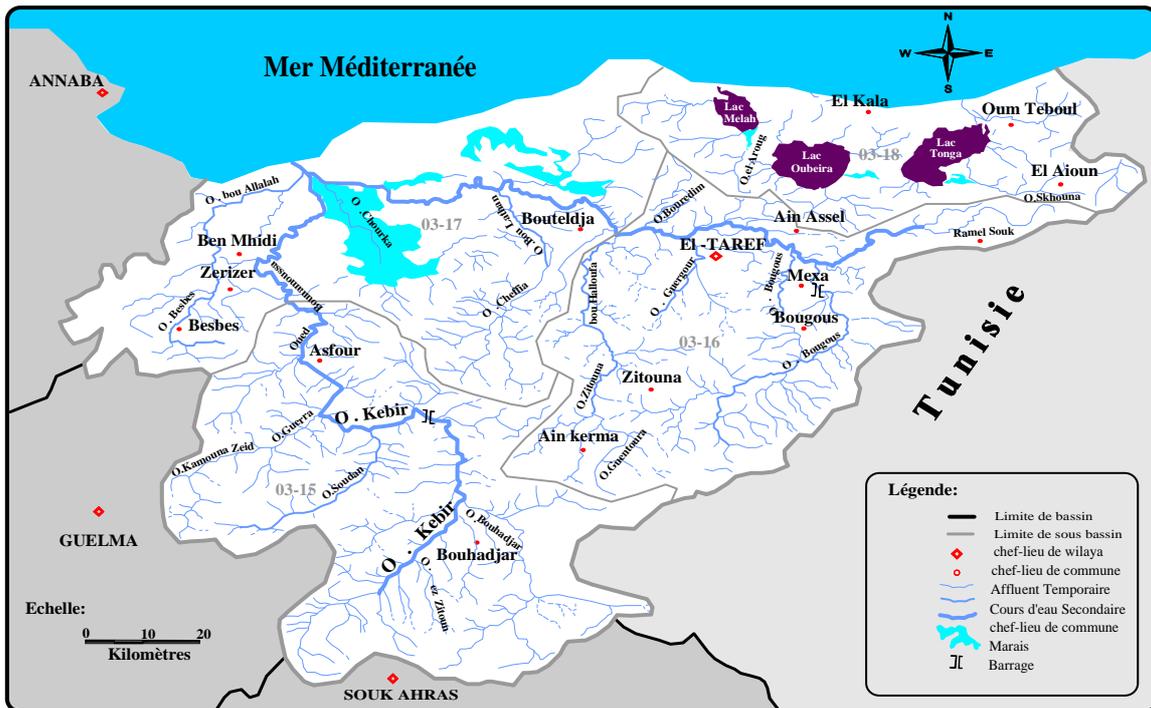


Figure 33: Chevelu hydrographique du bassin de la Mafragh.

### 3. Etude des débits :

Le régime des débits d'un cours d'eau durant une période déterminé est le seul paramètre du bilan hydrologique d'un bassin qui puisse être mesuré dans son ensemble avec une bonne précision. Les autres éléments de ce bilan tels que les précipitations, l'évapotranspiration (ETP, ETR),...etc., ne peuvent être qu'estimés à partir d'échantillons prélevés ou déduits des formules hydrologiques toujours approximatives. Dans l'intérêt d'un suivi garantissant un résultat satisfaisant, on s'est penché sur l'étude des débits (Tab. 18).

#### 3.1. Moyennes mensuelles interannuelles

On peut étudier les variations mensuelles des débits, en se basant sur les résultats des jaugeages sur une longue période d'observation (1947-1988).

Tableau 18: Variation mensuelle des débits en m<sup>3</sup>/s (Période : 1947 à 1988)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy.
Oued Bounamoussa (Station Boutayeb)	0.14	0.58	1.50	3.31	4.05	3.92	2.84	2.09	0.68	0.08	0.03	0.00	1.60

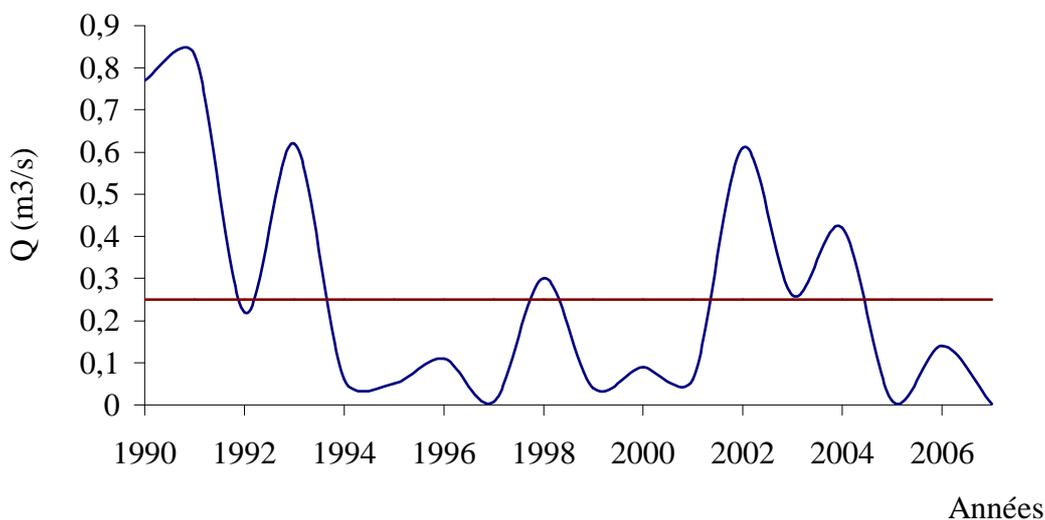
D'après le tableau ci-dessus (Source AGID-1994), il en résulte : Le fort débit de l'oued Bounamoussa est enregistré au mois de janvier avec une moyenne mensuelle de l'ordre de 4.05 m<sup>3</sup>/s, alors que le débit nul (0 m<sup>3</sup>/s) est enregistré au mois d'août.

### 3.2. Variation des débits moyens annuels

Pour montrer les années déficitaires et excédentaires au niveau de oued Bounamoussa, on a étudié les variations annuelles des débits de ce dernier, avec la représentation graphique de ces variations annuelles des débits (Fig. 34).

**Tableau 19** : Variation annuelle des débits (1990 - 2007)

Année	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	MOY
$Q$ $m^3/s$	0.77	0.83	0.22	0.62	0.06	0.05	0.11	0.007	0.3	0.25
Année	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
$Q$ $m^3/s$	0.04	0.09	0.06	0.61	0.26	0.42	0.01	0.14	0.003	



**Figure 34** : Variation des débits moyens annuel.

La série hydrométrique de 18 ans (1990-2007) de l'Oued Bounamoussa est représentée dans la figure 34. Ce graphe montre une importante variation d'une année à l'autre, d'où une alternance multiple d'années excédentaires et d'années déficitaires. Ainsi, le débit le plus élevé soit,  $Q=0.83 \text{ m}^3/s$ , a été observé au courant de l'année 1991, le plus faible a été observé durant l'année 2007, soit  $Q=0.003 \text{ m}^3/s$ . L'Oued Bounamoussa débite à la station de Boutayeb, avec une moyenne de  $0.25 \text{ m}^3/s$ .

### 3.3. Coefficient moyen des débits

Le régime d'un cours d'eau est défini par le coefficient moyen des débits correspondant aux rapports débits mensuels au module de la période considérée. Il s'exprime mathématiquement par :

$$CMD = \frac{Q_i}{Q} \quad \text{Avec :}$$

$Q_i$  : Débits moyens mensuels en m<sup>3</sup>/s.

$Q$  : La moyenne.

En effet, le coefficient moyen des débits (CMD) est, soit supérieur à la valeur 1 qui est le module, dans ce cas, il correspond à la période des hautes eaux. Et si le CMD est inférieur à 1, donc c'est la période des basses eaux.

Les valeurs du coefficient moyen des débits calculés à partir des données de l'Oued Bounamoussa sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 20** : Coefficients moyens des débits de l'Oued Bounamoussa

Mois	Débits moyens mensuels en m <sup>3</sup> /s	Coefficient moyen de débit
Septembre	0.001	0.001
Octobre	0.190	0.113
Novembre	1.260	0.755
Décembre	4.375	2.622
Janvier	3.839	2.301
Février	4.278	2.564
Mars	3.083	1.848
Avril	2.664	1.597
Mai	0.325	0.194
Juin	0.011	0.006
Juillet	0.001	0.001
Août	0.000	0.000
<b>La moyenne</b>	<b>1.670</b>	-

**Légende :**

 Basses eaux

 Hautes eaux

#### 4. Conclusion :

L'étude hydrologique a été abordée par la quantification des débits au niveau de la station de Boutayeb. On enregistre des débits considérables et on note également un accroissement de la lame d'eau d'amont en aval. Le régime d'écoulement de l'Oued Bounamoussa présente des particularités à système pluvial méditerranéen dans son ensemble, il est tributaire du régime pluvial dont les débits sont étroitement liés aux saisons (humides ou sèches).

Les débits sont régis par des modes d'alimentation, et des conditions de rétention - restitution qui sont à l'origine des écarts entre les impulsions de débits et les hauteurs de pluies.



*Niveau piézométrique proche de la surface du sol dans un puits de la plaine*

## **3<sup>ème</sup> Partie**

# **DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES HYDROCHIMIQUES DU SITE**

## Chapitre I : Analyse Agro-pédologique

**Introduction :** L'analyse agro pédologique est fondamentale dans la mesure où elle constitue la base essentielle des différentes opérations de mise en valeur pour une utilisation rationnelle des facteurs eau sol.

Elle vise à déterminer :

- ✦ les potentialités en sol.
- ✦ les actions à entreprendre pour améliorer les propriétés du sol en vue d'une bonne productivité agricole.

L'objectif est donc de faire ressortir les terres (sols) qui s'approprient le plus à l'irrigation compte tenu de leurs propriétés physique (structure, texture), chimiques et leurs aptitudes aux cultures en irrigué.

### 1. Les ressources en sols et leurs classifications :

L'étude pédologique concerne seulement la plaine. Ces sols sont bien connus grâce à l'enquête agro pédologique menée dans les années 1965 et 1969 par la direction du génie rural et l'hydraulique agricole de Annaba. Ce sont les conclusions essentielles de ce travail que je présente, dans les lignes suivantes et l'esquisse cartographique (Fig. 35).

La classification retenue s'inspire de celle qui a été établie par J. Philip (in F. Boudji, 1988) pour la plaine de la Bounammoussa, elle conduit à distinguer les deux classes suivantes :

- Les sols peu évolués.
- Les vertisols.

#### 1.1. Classe des sols peu évolués

Ce type de sols occupe la majeure partie de la plaine .Ils sont développés sur les alluvions que les divagations de l'oued Bounammoussa ont rendues particulièrement fréquentes.

Ces sols sont des alluvions et des colluvions originaires des massifs grésos-argileux numidiens à textures variables qu'on peut classer en 4 sous-classes :

**A-1 :** sols profonds non calcaires à texture moyenne convenant bien à toute les cultures : arbustives, industrielles, fourragères et céréalières. Ces sols ne présentent pas de facteurs limitants.

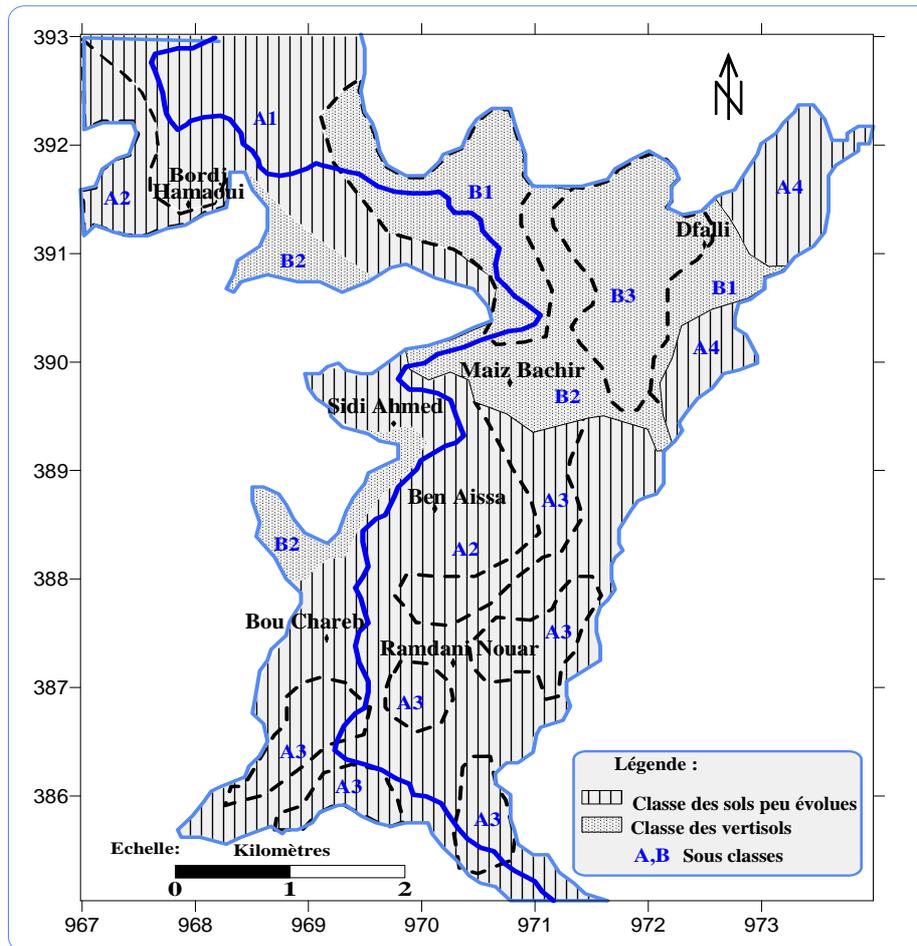
**A-2 :** sols profonds non calcaires à texture fine sur formation peu calcaire, à texture moyenne en profondeur. Ce type de sol convient bien aux cultures industrielles, maraîchères, fourragères et céréalières.

**A-3 :** sols profonds non calcaires à texture fine à très fine, sols convenant bien aux cultures industrielles, maraîchères, fourragères, céréalières.

L'importance de l'argile dans la texture donne une tendance à la compacité à moyenne profondeur, se présente un hydromorphe indiquant un risque de remontée de la nappe à 80 cm de profondeur.

**A-4 :** sols profonds non calcaires à texture moyenne sur formation à texture fine à moyenne profondeur.

Ce sont des sols convenant bien aux cultures maraîchères, fourragères, céréalières et au tabac.



**Figure 35 :** Carte des sols de la plaine d'El Asfour, dans le périmètre de Bounammoussa (Dressé par J. Philip, in F. Boudji, 1988).

### 1.2. Classe des vertisols

Ce sont des alluvions de l'oued Bounammoussa. On distingue 3 sous classes :

**B-1 :** sols profonds, non calcaire, à texture fine sur formation on peu calcaire à texture moyenne en profondeur.

**B-2 :** sols profonds, non calcaires à texture fine à très fine sur formation peu calcaire, à texture fine à très fine en profondeur.

**B-3 :** sols profonds, non calcaires à texture fine sur formation très peu calcaire, à texture fine à très fine en profondeur.

Ce type convenant aux cultures adaptées aux sols lourds, telles que les cultures fourragères, céréalières, betteraves à sucre, coton, tomates et artichauts.

L'importance de l'argile gonflante dans la texture hydromorphe de profondeur, empêche les travaux culturaux pendant les périodes pluvieuses.

En été, la forte ETP fait que ces sols se dessèchent et la remontée capillaire des eaux de la nappe chargées en sels dissous, se précipitent dans les horizons superficiels, provoquant ainsi une augmentation de la teneur en sels, surtout dans les zones à allomorphie permanente.

## **2. Les aptitudes culturales en irrigué :**

### **A- Les cultures arbustives**

Les sols qui conviennent le mieux pour toutes les cultures arbustives sont les sols peu évolués, du point de vue agronomique, ce sont les meilleurs sols du périmètre :

- ✦ Sols profonds
- ✦ Texture généralement moyenne
- ✦ Peu à non calcaire
- ✦ Hydromorphie nulle à très faible

### **B- Les cultures industrielles**

Les sols convenant bien pour toutes les cultures industrielles sont les sols peu évolués d'apport, des vertisols et des calcimanésiques. Ce sont des sols profonds à texture fine à très fine peu calcaires, avec faible hydromorphologie.

### **C- Les cultures céréalières et fourragères**

Les sols qui conviennent à l'ensemble de ces cultures sont des sols profonds, à texture fine à très fine, à moyenne, peu calcaire, avec hydromorphie nulle ou faible. C'est le cas des sols peu évolués d'apport, des vertisols et des hydromorphes de surface avec assainissement superficiel pour ces derniers.

### **D- Les cultures maraîchères**

Les sols qui conviennent mieux pour les cultures maraîchères sont les sols peu évolués à texture moyenne, profonds, et faible hydromorphie ; ensuite les sols à texture fine à très fine (vertisols hydromorphes) avec assainissement et drainage superficiel obligatoire ; ainsi que les sols calcimanésiques.

## **3. Importance socio-économique des cultures :**

### **3.1. Les cultures industrielles**

Les cultures industrielles ont l'avantage de fournir un revenu élevé à l'hectare et procurer un haut niveau d'emploi et semblent être pratiquées depuis plusieurs années dans la région.

La culture industrielle la plus rencontrée est la tomate industrielle, son importance est liée à : l'augmentation de la demande en tomate concentrée, une culture pour laquelle il existe des débouchés ou unités de transformation et limiter les importations de la tomate.

### **3.2. Les cultures maraîchères**

Les cultures maraîchères ont connu une nette augmentation, liée non seulement aux potentialités agronomique du périmètre mais surtout à la forte demande qui se fait sentir sur le marché local en particulier par sa diversification car les consommateurs des régions à passé cette évolution du niveau de vie et le changement dans les habitudes alimentaires qui donnent suivant préférence à des productions irriguées (légumes et fruits).

Les cultures maraîchères qui semblent les plus réparties sont : pomme de terre, piment, vert, aubergine, salade, haricot vert, pois pastèque...etc.

### **3.3. Les cultures céréalières**

Ce type de culture a été retenu en faible par sachant que les céréales présentent l'avantage d'être : produits de première nécessité facile à conserver, largement connu dans le périmètre, ne demande peu de travail dont les techniques culturales sont maîtrisée et un produits qui peu constituer l'alimentation de base du bétail.

### **3.4. Les cultures fourragères**

La production du lait en effet un facile écoulement vers Annaba tan disque le fumier produit contribuera à réduire le déficit en fumure organique des cultures maraîchères de même en vue de la production des protéines dont les besoins intérieurs vont en croissant et dont la carence et de plus en plus manifesté en irriguée les fourrages : Sorgho et Ray-grass.

L'introduction du fourrage en sec et en irriguée permet :

- une amélioration des rendements de l'exploitation.
- une augmentation de nombre de têtes laitier.
- par une diminution des surfaces labourées conduisant à une réduction de la main d'œuvre.
- alimentation régulière sans période creuse.

## **4. Conclusion :**

Le choix des cultures a mettre en évidence est dicté dans un première mesure par les caractéristiques du sol, l'enquête agro pédologique nous a permis de classer ces sols en deux classes, des sols peu évoluées et vertisols avec des textures généralement : sols profonds non calcaires à texture fine sur formation peu calcaire.

Donc on peu dire que les formation calcaires existent mais a des faibles teneurs, ça nous aide par la suite a comprendre l'origine de faciès carbonatée dans certain points de prélèvement.

## Chapitre II : Etude qualitative des eaux du site

**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.).

La chimie des eaux (eaux de surface, nappe superficielle et nappe des graviers) est souvent influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques, les rejets industriels et l'activité agricole [Nafaa (1985), Kherici (1993), Djabri (1996), Lauhi (1996), Zenati (1999)]. Et, en raison de l'utilisation multiple de ces eaux, cette partie a été menée afin de contrôler l'état actuel de la chimie des eaux d'El Asfour, son évolution dans le temps, dans l'espace et en fonction de la variation des paramètres physico-chimiques de l'eau.

De ce fait, il consiste au début à réaliser des prélèvements d'eau pour une analyse complète des paramètres physico-chimiques, pour expliquer l'origine et l'évolution de chaque élément. Et enfin, faire une étude détaillée de chaque cas de pollution dans notre site d'étude.

### 1. Stratégie et but de l'échantillonnage :

#### ➔ Analyse chimique

L'activité principale de la commune d'El Asfour est l'agriculture, dont l'irrigation des terres agricoles de cette plaine est assurée par le périmètre de Bounamoussa. Les secteurs irrigués qui font partie de cette plaine sont : le secteur de Maiz Bachir, Benaissa Ammar et le secteur de Ramdani Nouar (source APC d'El Asfour).

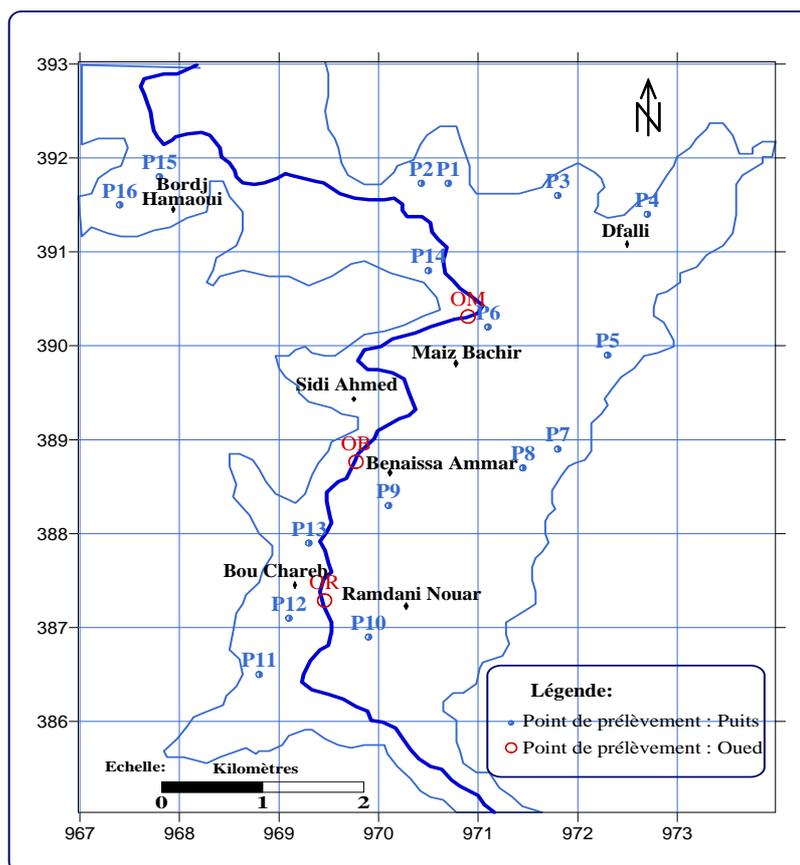
L'irrigation du périmètre se fait à partir d'une station de reprise située à El Asfour centre, puis se distribue par des conduites avec un diamètre de 800mm en fonte. Ces réseaux permettant la répartition, la prise en charge et la distribution de l'eau à chaque exploitation agricole au niveau des seuils d'irrigation. Le mode d'irrigation est par aspersion.

Le prélèvement s'est fait en deux périodes : au mois d'Août, après les lâchers du barrage de La Chaffia et au mois de Mai (début de la saison d'irrigation).

Les mesures physico-chimiques ont été réalisées :

- Centre hospitalo-universitaire, Annaba (Laboratoire de toxicologie).
- Laboratoire d'analyse physico-chimique, Chaffia barrage.
- Société nationale de pétrochimie (Skikda).

L'analyse chimique pour l'étude de la pollution des eaux d'irrigations et les eaux superficielles est basée sur 16 points de prélèvements au niveau des puits domestique et 3 points de prélèvements au niveau des seuils d'irrigation (Fig.36), dont la balance ionique présente une erreur inférieure à 10 %.



**Figure 36:** Position des points de prélèvement des eaux pour analyse physico-chimique

## 2. Résultats et interprétation des analyses chimiques :

### 2.1. Analyse statistique des paramètres physico-chimique

**a) Température (T) :** Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

**b) Conductivité électrique (CE) :** Elle est liée à la présence des espèces ioniques en solution. Les valeurs mesurées ont été corrigées par rapport à une température standard de 25°C.

**c) Potentiel d'Hydrogène (pH) :** C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques dans les diagrammes Eh-pH. La précision des mesures est de  $\pm 0,01$

**d) Potentiel d'oxydoréduction (Eh) :** Ce paramètre nous permet de prévoir l'état des ions chimiques dans l'eau et la direction des réactions chimiques (oxydation ou réduction).

**e) Oxygène dissous (O<sub>2</sub>) :** La quantité d'oxygène en solution dans une eau régit les réactions d'oxydoréduction et présente une évolution identique à celle du Eh.

Les résultats des analyses physico-chimiques sont résumés dans le tableau 21 où nous donnons un aperçu sur quelques paramètres statistiques des facteurs physiques mesurés.

**Tableau 21** : Statistique sommaire des paramètres physico-chimiques

Variable	Moyenne		Ecart-type		Minimum		Maximum		Normes
	Basses eaux	Hautes eaux							
Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1212.79	1176.89	729.28	728.93	163.00	146.00	2501.00	2400.00	<400 <20000*
Salinité (‰)	0.28	0.11	0.27	0.08	0.10	0.00	1.10	0.30	-
Température (°C)	19.64	16.06	4.83	3.13	0.20	11.10	25.00	20.10	<25°C
pH	6.79	7.01	0.66	0.64	6.00	6.01	8.00	8.02	6.5 < pH < 9.5
Eh (mV)	-35.83	-45.12	15..95	13..96	-70.00	-70.00	0.00	-7.05	-
O <sub>2</sub> dissous mg/l	2.54	2.99	0.55	0.46	2.00	2.00	3.69	3.89	-

(\*) Norme pour irrigation.

## 2.2. Faciès chimique

La représentation des analyses chimiques par la méthode triangulaire du PIPER et par la formule ionique montre les faciès chimiques suivants.

On nota la prédominance du faciès chloruré-sodique, suivi du faciès bicarbonaté-sodique.

### a) Formule ionique

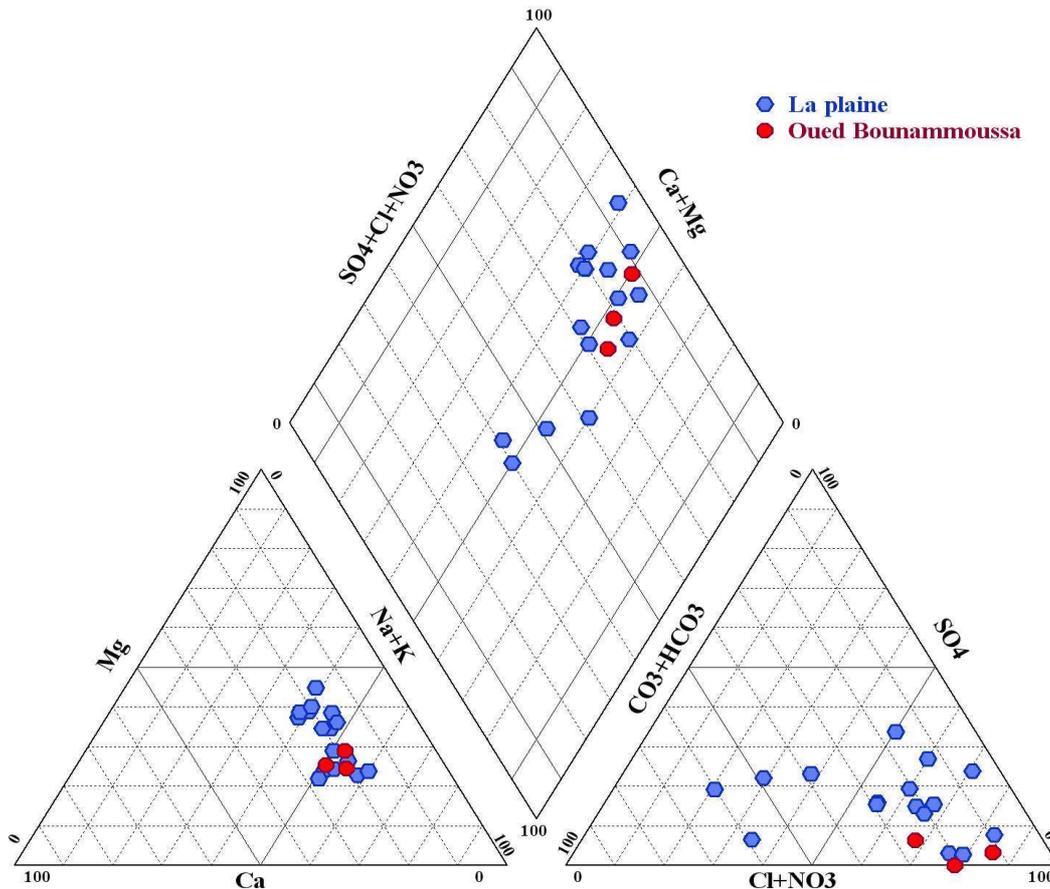
Cette formule à pour but de classer par ordre décroissant les quantités en réaction en (még/l) des groupes anion et cation. Elle permet de définir les caractéristiques physico-chimiques des eaux de l'aquifère en relation avec sa lithologie et de classer les eaux de même origine (Tab. 22).

**Tableau 22** : Détermination du faciès chimique des eaux de la nappe d'El Asfour et de l'Oued Bounammoussa (Août 2006) par la formule ionique.

Points d'eau	Formule ionique	Faciès chimique
P1	$rCl^{-}, rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rCa^{++}, rMg^{++}$	Chloruré sodique
P2	$rCl^{-}, rSO_4^{--}, rHCO_3^{-}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rMg^{++}, rCa^{++}$	Chloruré sodique
P3	$rCl^{-}, rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rMg^{++}, rCa^{++}$	Chloruré sodique
P4	$rCl^{-}, rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rMg^{++}, rCa^{++}$	Chloruré sodique
P5	$rHCO_3^{-}, rCl^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rCa^{++}, rMg^{++}$	Bicarbonaté sodique
P6	$rCl^{-}, rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rCa^{++}, rMg^{++}$	Chloruré sodique
P7	$rCl^{-}, rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rMg^{++}, rCa^{++}$	Chloruré sodique
P8	$rHCO_3^{-}, rCl^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rMg^{++}, rCa^{++}$	Bicarbonaté sodique
P9	$rCl^{-}, rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rCa^{++}, rMg^{++}$	Chloruré sodique
P10	$rCl^{-}, rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rMg^{++}, rCa^{++}$	Chloruré sodique
P11	$rCl^{-}, rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rCa^{++}, rMg^{++}$	Chloruré sodique
P12	$rCl^{-}, rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rMg^{++}, rCa^{++}$	Chloruré sodique
P13	$rCl^{-}, rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rMg^{++}, rCa^{++}$	Chloruré sodique
P14	$rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}, rCl^{-}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rCa^{++}, rMg^{++}$	Bicarbonaté sodique
P15	$rCl^{-}, rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rCa^{++}, rMg^{++}$	Chloruré sodique
P16	$rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}, rCl^{-}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rCa^{++}, rMg^{++}$	Bicarbonaté sodique
OM	$rCl^{-}, rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rCa^{++}, rMg^{++}$	Chloruré sodique
OB	$rCl^{-}, rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rCa^{++}, rMg^{++}$	Chloruré sodique
OR	$rCl^{-}, rHCO_3^{-}, rSO_4^{--}$ $r(Na^{+}+k^{+}), rCa^{++}, rMg^{++}$	Chloruré sodique

**b) Diagramme de Piper**

Le diagramme de Piper permet la visualisation d'un grand nombre d'analyse et de suivre l'évolution de chimisme de la nappe et des eaux superficielles (Fig.37).



**Figure 37:** Diagramme de Piper (Août 2006)

Le diagramme de Piper (Fig.37) permet de visualiser deux familles distinctes, mettant en évidence :

- Une famille assez riche en  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  ; définissant les eaux de la nappe.
- Une famille relativement pauvre en  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  ; définissant les eaux de l'Oued Bounammoussa.

### Interprétation :

Au mois de Juillet, les seuils de pompage, Maiz Bachir, Benaissa Ammar, Ramdani Nouar, présentent selon la formule ionique et l'allure générale du diagramme de Piper, un faciès chimique chloruré sodique où les teneurs en chlorure et sodium ont atteint 253.1 mg/l et 100.95 mg/l respectivement .dont l'origine est le lessivage des formations géologiques salifères (Tab. 22) .les chlorures peuvent provenir des marnes miocènes et les formation évaporitiques. Le sodium est probablement dû au lessivage des argiles sodiques.

Concernant les eaux de la nappe alluviale d'El Asfour, les résultats mettent en évidence deux familles d'eaux bien distinctes dont les faciès chimiques sont :

- Chloruré sodique.
- Bicarbonaté sodique.

Avec des teneurs en chlorure pouvant atteindre 495 mg/l, et cela dus essentiellement au lessivage des grès et aussi des marnes, qui forment le substratum de la nappe alluviale.

L'étude pédologique montre une présence des calcaires assez limités dans la région, mais suffisent pour être à l'origine des bicarbonates.

D'après les résultats des analyse, on note que les fortes teneurs en sulfate, et De magnésiums, s'expliquent avec une éventuelle pollution de surface (rejets de fermes, eaux usées) et d'ordre agricole (utilisation d'engrais) et la relation oued- nappe ; l'Oued étant le siège des eaux de ruissellement, riches en éléments dissout qui alimente la nappe en période des hautes eaux.

### 3. Statistiques monodimensionnelles :

Les paramètres statistiques des deux périodes basses (Août 2006) et hautes eaux (Mai 2007) sont calculés et résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 23:** Paramètres statistiques des paramètres physico-chimiques.

variables	Moyenne mg/l		Minimum mg/l		Maximum mg/l		Ecart type	
	Basses eaux	Hautes eaux	Basses eaux	Hautes eaux	Basses eaux	Hautes eaux	Basses eaux	Hautes eaux
<b>Na<sup>+</sup> mg/l</b>	90,55	113,73	22,89	51,32	276	315,13	53,81	61,91
<b>Mg<sup>+2</sup> mg/l</b>	38,91	37,11	20,14	16,30	75,10	113,10	15,37	21,00
<b>Ca<sup>+2</sup> mg/l</b>	52,13	41,95	21,21	25,18	104,51	90,30	25,11	19,39
<b>K<sup>+</sup> mg/l</b>	13,68	10,44	1,56	0,13	41,50	33,14	11,10	9,27
<b>Cl<sup>-</sup> mg/l</b>	210,22	199,40	43,10	38,15	495	697,50	104,42	141,51
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>mg/l</b>	81,99	54,70	0,12	0,01	300	207,51	77,17	47,60
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> mg/l</b>	148,64	120,15	30,14	27,78	501,42	412,73	99,91	82,66
<b>CE µS/cm</b>	1212,79	2015,16	163	157,00	2501	5210	729,28	1355,67
<b>pH</b>	6,79	7,01	6	6,01	8	8,02	0,66	0,64
<b>T</b>	19,64	16,06	0,20	11,10	25	20,10	4,83	3,13

Les teneurs en calcium, magnésium en potassium, en moyenne, sont inférieures aux normes internationales pour les deux périodes d'observations.

Par contre la teneur en chlorures dépasse la norme fixée par l'OMS. Quand à la conductivité électrique, elle dépasse largement la norme internationale tolérable pendant les hautes et les basses eaux.

#### 4. Analyse en Composantes Principales (ACP) :

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

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

Les droites et les plans issus d'une ACP ne seront pas réalisés avec les variables initiales : la méthode cherche d'abord l'indice pour lequel la variation des individus est maximale : cet indice est appelé première composante principale ou premier axe principal.

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

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

Ainsi, cette deuxième composante fournit la plus grande information non expliquée par la première.

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

#### 4.1. Période des basses eaux (Août 2006)

##### A -Corrélation linéaire

Avant d'entamer l'analyse des résultats par utilisation de l'ACP, il est intéressant d'avoir une idée sur les liaisons existantes entre les variables prises deux à deux (Tab. 24), il en ressort ce qui suit :

Les fortes corrélations entre les couples (Ca, HCO<sub>3</sub>), (Na, Cl), (K, T), prises deux à deux.

**Tableau 24:** Coefficient de corrélation entre les variables initiales.

	Na <sup>+</sup> mg/l	Mg <sup>+2</sup> mg/	Ca <sup>+2</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	CE μS/cm	pH	T
Na <sup>+</sup> mg/l	1,00									
Mg <sup>+2</sup> mg/l	0,69	1,00								
Ca <sup>+2</sup> mg/l	0,04	0,20	1,00							
K <sup>+</sup> mg/l	0,23	0,38	0,38	1,00						
Cl <sup>-</sup> mg/l	0,85	0,56	-0,10	0,24	1,00					
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/l	0,62	0,70	0,20	0,28	0,38	1,00				
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	-0,07	0,22	0,68	0,25	-0,03	0,00	1,00			
CE μS/cm	-0,23	-0,02	0,23	0,19	-0,21	0,08	0,14	1,00		
pH	-0,20	-0,13	-0,29	-0,06	0,07	-0,42	-0,08	-0,08	1,00	
T	-0,01	-0,40	-0,17	-0,61	0,00	-0,14	-0,19	-0,04	-0,11	1,00

## B -Valeurs propres

Une valeur propre représente la variation des individus sur l'axe correspondant. Dans un but de faciliter leur interprétation, ces valeurs sont exprimées en pourcentage des valeurs propre totales.

**Tableau 25:** Valeurs propres et pourcentages des axes principaux.

Numéro	Valeur propre	Pourcentage	Pourcentage cumulé
<b>1</b>	<b>3,3074</b>	<b>33,07</b>	<b>33,07</b>
<b>2</b>	<b>2,1648</b>	<b>21,65</b>	<b>54,72</b>
<b>3</b>	<b>1,3875</b>	<b>13,88</b>	<b>68,60</b>
4	1,0113	10,11	78,71
5	0,8124	8,12	86,83
6	0,5535	5,54	92,37
7	0,3378	3,38	95,75
8	0,2194	2,19	97,94
9	0,1380	1,38	99,32
10	0,0679	0,68	100,00

Le premier axe principal a une valeur propre égale à 3.30 il explique 33.07 % de la variation totale, la seconde composante égale à 2.16 explique 21.65 % de la variance totale.

Les Pourcentages de variation sont pas assez élevés pour les deux premiers axes avec un cumule de 54.72 %. Nous allons donc nous limiter à trois axes pour nos interprétations avec un cumule de 68.60 %.

## C- Etude des variables

La contribution de chaque variable dans la formation d'une composante principale est donnée par le coefficient de corrélation entre la variable et l'axe considéré ; autant que ce coefficient est important, autant que la variable contribue à la formation de l'axe.

Le tableau .26 montre que les variables seront mieux représentées avec l'axe 1.

Tandis que le Ca, HCO<sub>3</sub>, CE, ont une représentation médiocre sur l'axe 1, mais assez bien corrélées sur l'axe 2.

**Tableau 26:** Corrélations des variables aux axes principaux

Libellé de la variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
Na <sup>+</sup> mg/l	0,81	0,49	0,09	-0,12	-0,09
Mg <sup>+2</sup> mg/l	0,88	0,08	-0,08	0,02	-0,03
Ca <sup>+2</sup> mg/l	0,37	-0,73	0,26	-0,32	-0,01
K <sup>+</sup> mg/l	0,59	-0,43	-0,40	0,21	0,05
Cl <sup>-</sup> mg/l	0,68	0,52	-0,14	-0,23	-0,30
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/l	0,78	0,11	0,33	0,30	0,05
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	0,27	-0,68	0,06	-0,58	-0,11
CE µS/cm	-0,01	-0,51	0,17	0,52	-0,65
pH	-0,29	0,15	-0,76	-0,20	-0,40
T	-0,40	0,40	0,64	-0,25	-0,34

L'étude du cercle de corrélation permet de ressortir les variables corrélées entre elles et par conséquent les dissemblances et les ressemblances entre ces dernières.

➤ **La figure .38: Cercle F1-F2, plan F1-F2 :**

Montre que dans le plan principal formé de l'axe 1 et l'axe 2, fournit le maximum d'information 54.72 %.

L'observation du cercle F1-F2 (figure .38-a), montre que pour l'axe F1 les eaux sont fortement minéralisées, les fortes teneurs en chlorures sont bien marquées. On peut donc considéré l'axe F1 comme axe de minéralisation.

On note aussi, une opposition entre la température (période d'irrigation) et les eaux très chargée en potassium. , c'est la pollution due à l'agriculture et l'utilisation intensive des engrais (NPK).

Le deuxième axe, exprime 21.65 % de l'information, présente une faible minéralisation des eaux carbonaté. L'axe 2 représente donc le l'alcalinité des eaux dans certain endroits.

**D- Etude des individus, plan F1-F2**

La projection des individus (échantillons) sur le plan est en rapport avec la distance de rapprochement entre ceux-ci. Par cette relation de distance on essaye de repérer d'éventuels groupements qui forment des unités homogènes et cohérentes indiquant un même comportement.

Il apparaît alors qu'il y a une discrimination entre les individus essentiellement selon l'axe 1 avec toutefois une part non négligeable de l'axe 2. Cette évolution dans la représentation des individus est liée aux différents groupes de variables représentées dans le cercle de corrélation. On a tout de même pu faire ressortir trois groupes distincts (Fig. 38-b).

- Le premier groupe formé par les points (P<sub>6</sub>, P<sub>1</sub>, OM et OB) qui représente une dominance de Na, Cl, Mg, SO<sub>4</sub>. où la salinité est considérable. Cette minéralisation observée est engendrée par une contamination liée à la dissolution des minéraux des formations géologiques particulièrement les argiles, les dolomies et les lentilles gypseuses.
- Le deuxième groupe ; caractérisé par une concentration élevée en potassium pendant la période d'irrigation au niveau des puits (P<sub>11</sub>, P<sub>12</sub>) , dont leur présence dans les eaux superficielles est liées au rejets urbains ou a l'utilisation intensive des engrais (NPK) au niveau de ferme de Ramdani Nouar et à Bouchareb.

➤ **La figure 39 : Cercle F1-F3, plan F1-F3 :**

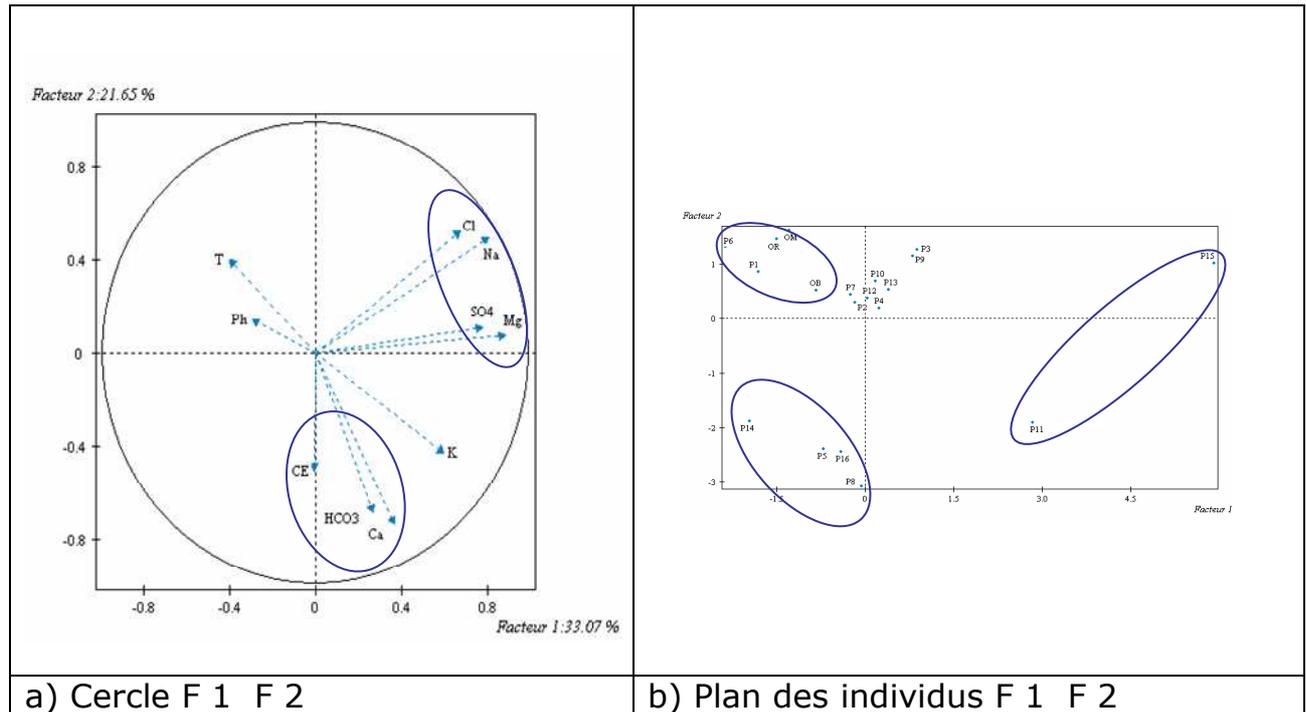
Montre que dans le plan principal formé de l'axe 1 et l'axe 3, fournit le maximum d'information 68,60 %. L'axe F1 montre toujours des fortes minéralisations due au forte lessivage des terrains (Fig. 39-a), Par contre les points du pole opposé représentent les sites peu minéralisés et moins dures. Le plan des individus (Fig. 39-b) montre que les points les plus minéralisés sont généralement à proximité des puits (P15, P3, P9...) opposés à une minéralisation faible marquée aux niveaux des eaux de surface (OM. OR..).

Les bicarbonates forment toujours, à eux seuls, un groupe aux points (P16, P5, P14...).

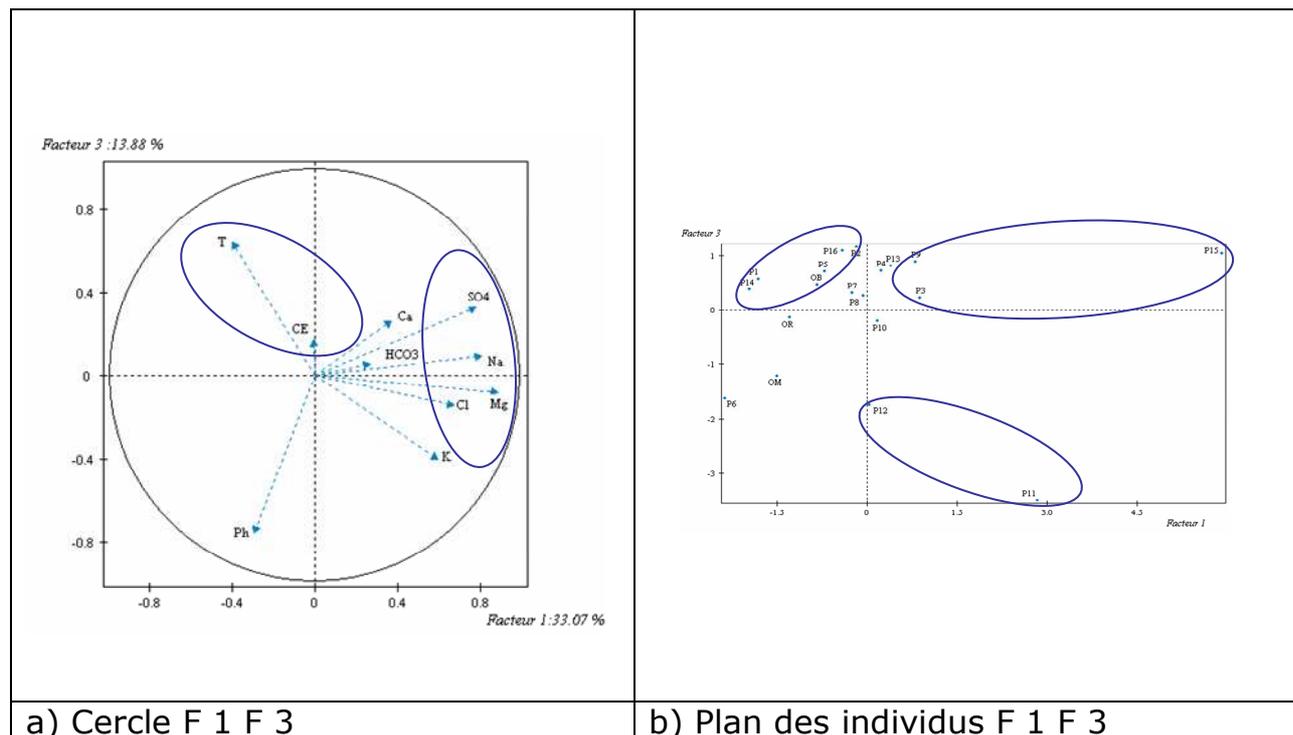
Des teneurs élevées en K peuvent être due aux origines géologiques correspond aux puits (P11, P12..).

L'axe FI peut être considéré comme un axe de minéralisation et de dureté des eaux.

L'axe F3, montre une forte salinité caractérisée dans les puits (P1, P16, P5, P14, OM...) marquée par une température très significative dans ces sites avec un pH basique en opposition d'une faible minéralisation et un pH acide au niveau des puits (P6, P8, OR...).



**Figure 38:** Représentation de l'ACP, 1<sup>ère</sup> campagne (Août 2006), selon les axes F1 et F2



**Figure 39:** Représentation de l'ACP, 1<sup>ère</sup> campagne (Août 2006) selon les axes F1 et F3

## 4.2. Période des Hautes eaux (Mai 2007)

### a) Corrélation linéaire :

Le tableau de corrélation entre les variables prises deux à deux révèle ce qui suit :

En plus de la corrélation entre les éléments régissant la salinité pendant la période des basses eaux, on remarque une corrélation entre les couples (Ca, Mg) et (Mg, SO<sub>4</sub>) ainsi qu'une corrélation positive entre le CE et Cl.

**Tableau 27:** Coefficient de corrélation entre les variables initiales.

	Na <sup>+</sup> mg/l	Mg <sup>+2</sup> mg/	Ca <sup>+2</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	CE μS/cm	pH	T
Na <sup>+</sup> mg/l	1,00									
Mg <sup>+2</sup> mg/l	0,18	1,00								
Ca <sup>+2</sup> mg/l	0,24	0,64	1,00							
K <sup>+</sup> mg/l	0,13	0,47	0,19	1,00						
Cl <sup>-</sup> mg/l	0,04	0,36	0,49	0,13	1,00					
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/l	0,22	0,84	0,56	0,42	0,39	1,00				
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	-0,04	0,28	0,58	0,16	-0,05	0,13	1,00			
CE μS/cm	-0,22	-0,05	0,13	0,06	-0,12	0,07	0,15	1,00		
pH	-0,16	0,04	-0,09	-0,05	-0,22	-0,34	0,01	-0,07	1,00	
T	0,05	0,08	0,19	-0,12	-0,13	0,16	0,25	0,11	-0,15	1,00

**b) Valeurs propres**

La valeur propre pour le premier axe principal est égale à 3.14 il explique 33.49 % de la variation totale, la seconde composante égale à 1.50 explique 46.54 % de la variance totale.

Nous allons donc nous limiter au quatre premiers axes (F1, F2, F3 et F4) pour les interprétations, ces axes totalisent un pourcentage d'inertie égale à 69.65 % de la variance totale.

**Tableau 28:** Valeurs propres et pourcentages des axes principaux.

N°	Valeur propre	Pourcentage	Pourcentage cumulé
<b>1</b>	<b>3,1488</b>	<b>31,49</b>	<b>31,49</b>
<b>2</b>	<b>1,5047</b>	<b>15,05</b>	<b>46,54</b>
<b>3</b>	<b>1,2234</b>	<b>12,23</b>	<b>58,77</b>
<b>4</b>	<b>1,0878</b>	<b>10,88</b>	<b>69,65</b>
5	0,9855	9,86	79,50
6	0,7544	7,54	87,05
7	0,6639	6,64	93,69
8	0,4545	4,55	98,23
9	0,1141	1,14	99,37
10	0,0628	0,63	100,00

**c) Etude des variables**

Le tableau 29, montre que la plupart des variables se corrént bien avec l'axe 1, ces variables seront les mieux représentées sur le plan, les corrélations sont négatives.

Par contre, les variables  $\text{HCO}_3^-$ , CE, pH et T, présentent une meilleure corrélation avec les autres axes.

**Tableau 29:** Corrélation des variables aux axes principaux

Libellé de la variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
$\text{Na}^+$ mg/l	-0,30	0,33	-0,37	0,55	-0,30
$\text{Mg}^{+2}$ mg/l	-0,87	0,09	0,26	0,09	-0,06
$\text{Ca}^{+2}$ mg/l	-0,84	-0,23	0,03	0,11	0,33
$\text{K}^+$ mg/l	-0,51	0,17	0,37	-0,12	-0,59
$\text{Cl}^-$ mg/l	-0,53	0,41	-0,05	-0,31	0,57
$\text{SO}_4^{-2}$ mg/l	-0,87	0,13	-0,11	-0,16	-0,16
$\text{HCO}_3^-$ mg/l	-0,44	-0,66	0,17	0,25	0,13
CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	-0,06	-0,59	0,05	-0,59	-0,24
Ph	0,26	-0,09	0,76	0,40	0,12
T	-0,19	-0,57	-0,51	0,25	-0,03

➤ **La figure 40 : Cercle F1-F2, plan F1-F2**

Le traitement a donné une inertie de 46.54 % pour les deux axes F1 et F2 (Tab. 8).

L'observation du cercle F1-F2 (Fig. 40-a), montre que pour l'axe F1 les eaux sont faiblement minéralisées, les faibles teneurs en  $SO_4$ , Ca et Mg sont bien marquées. Le plan des individus (Fig. 40-b) montre que le puits le moins minéralisés c'est le P15, en opposition des individus fortement minéralisés de l'autre pôle (P13, P14, P1, P6, OB...). On peut donc considéré l'axe FI comme axe de minéralisation. Cette minéralisation observée est engendrée par une contamination liée à la dissolution des minéraux des formations géologiques particulièrement les argiles, les marnes et les lentilles évaporitiques.

Par contre pour l'axe F2, on remarque que les eaux carbonatées sont faiblement minéralisées, les faibles teneurs en bicarbonates dans les puits P16 et P14 (Fig. 40-b) au mois de Mai, (fig. 40-a), en opposition négative avec une conductivité électrique importante. Les points du pôle opposés caractérisent les sites les plus minéralisés tels que (P4, P9, P7, P2...). Donc F2 représente l'axe de la salinité. La dominance des bicarbonates provenant essentiellement des formations carbonatés qui se trouve dans la région et qui explique clairement la présence d'un faciès bicarbonaté dans certains endroits, avec une teneur maximum en  $HCO_3$  (412.73 mg/l) au niveau de P<sub>8</sub>.

➤ **La figure 41 : Cercle F1-F3, plan F1-F3 :**

Le traitement a donné une inertie de 58.77 % pour les deux axes F1 et F3.

L'axe F1, représente toujours la minéralisation (axe de minéralisation), montre une faible minéralisation (Fig.41-a) correspondant, sur le plan des individus (Fig.41-b), au point (P5, P15 avec un pH acide, opposé une minéralisation forte et un pH basique (P10, P6, P1, P14, OB, OR...). On peut donc considéré l'axe FI comme axe de minéralisation et alcalinité/acidité.

Pour l'axe F3 (Fig. 41-a), les bicarbonates forment toujours un seul groupe avec faible minéralisation présentent les puits (P16, P14, P8) (Fig.41-b) pendant la période des hautes eaux (lessivage des roches carbonatés).

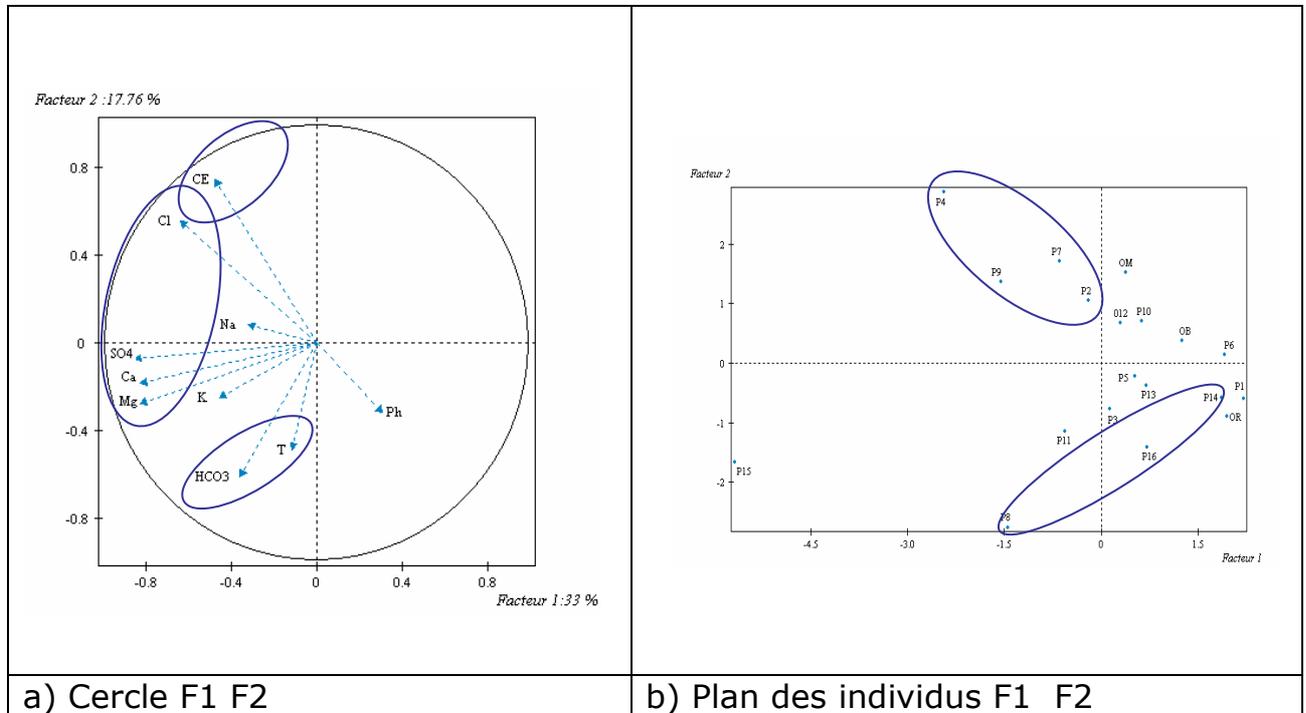
➤ **La figure 42 : Cercle F1-F4, plan F1-F4 :**

Le traitement a donné une inertie de 69.65 % pour les deux axes F1 et F4.

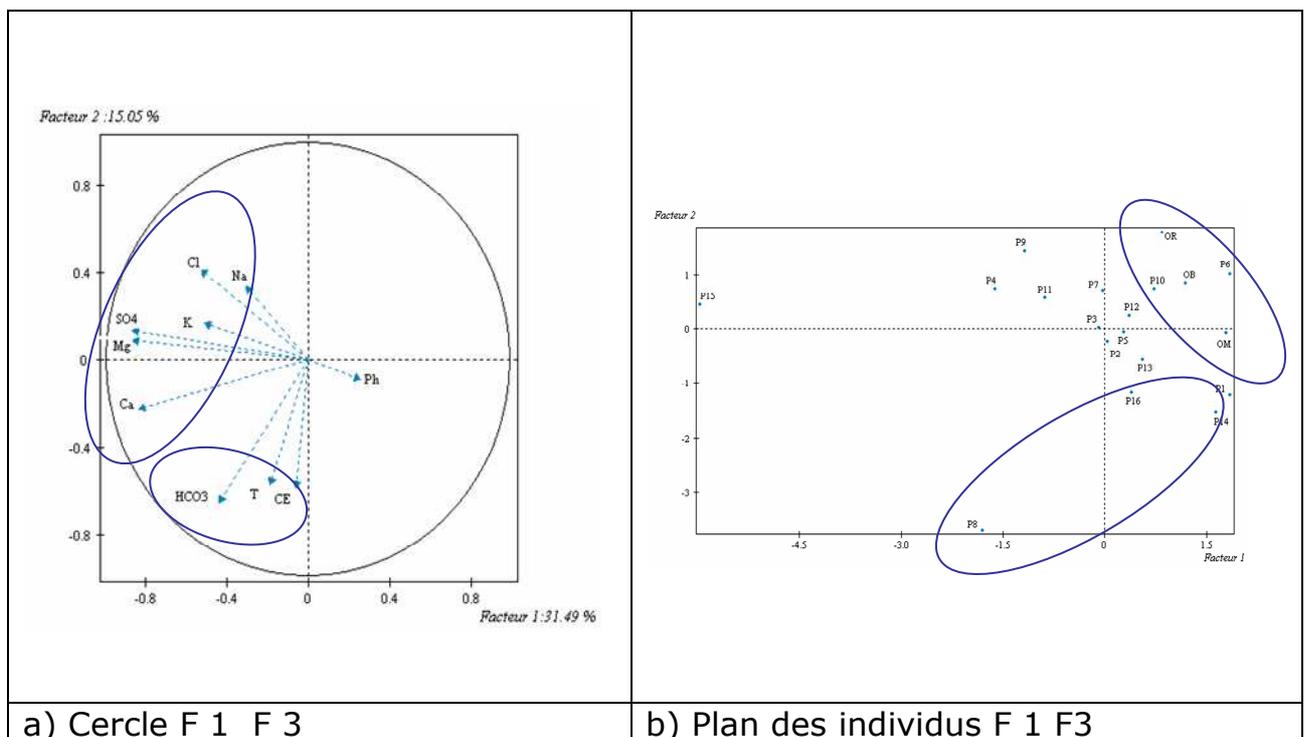
L'axe F1 montre une faible minéralisation (Fig.42-a) correspondant, sur le plan des individus (Fig.42-b), au point (P15), opposé une minéralisation forte, pour la plupart des points (P6, OM, P14, R1, OB...). On peut donc considéré l'axe FI comme axe de minéralisation.

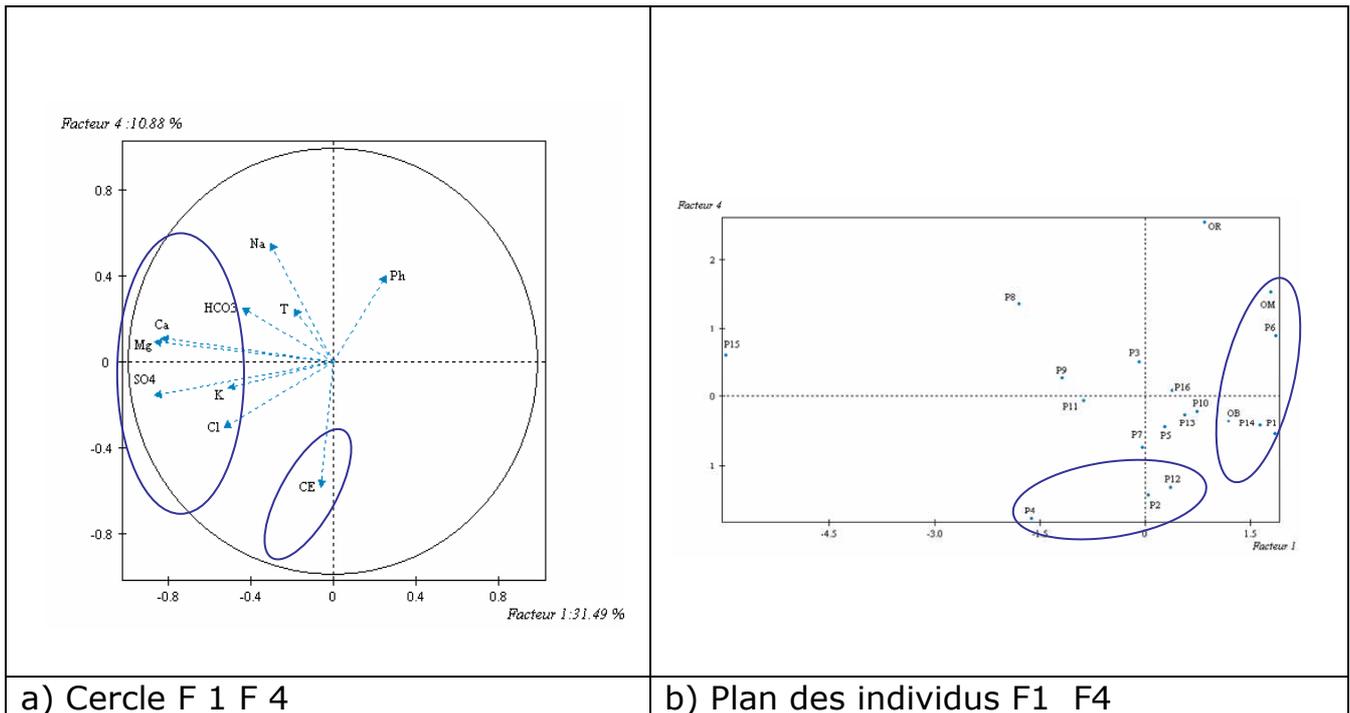
Pour l'axe F4, on remarque clairement des teneurs considérable en Na avec une conductivité faible (Fig.42-a), au points (P8, OR), (Fig.42-b),

en opposition avec conductivité électrique importante avec faible teneur en Na, l'axe F4 représente donc la salinité.  
 Cette minéralisation est liée à la dissolution des minéraux des formations géologiques, particulièrement les argiles, les dolomies et les lentilles gypseuses.



**Figure 40 :** Représentation de l'ACP, 2<sup>ème</sup> campagne (Mai 2007), selon les axes F1 et F2.



**Figure 41** : Représentation de l'ACP, 2<sup>ème</sup> campagne (Mai 2007), selon les axes F1 et F3.**Figure 42** : Représentation de l'ACP, 2<sup>ème</sup> campagne (Mai 2007), selon les axes F1 et F4.

**Interprétation :** Le regroupement de l'ensemble des résultats statistiques (matrice de corrélation linéaire, axes principaux, plan de projection des variables) exprime les mêmes résultats qui sont quelques fois complémentaires.

Il est donc clairement ressorti que les variables qui interviennent le plus dans la dégradation de la qualité des eaux de la nappe alluviale d'El Asfour sont tous de nature géologique l'analyse statistique a donné de forte corrélation entre ces variables prises deux à deux .

L'analyse en composantes principales montre que :

- ✦ Les chlorures, les sulfates, le sodium présentent des concentrations importantes, ce qui traduit la salinité des eaux superficielles et les eaux d'irrigation. Ceci peut être expliqué par le lessivage des sels pendant la période des hautes eaux et à l'évaporation pour les basses eaux.
- ✦ Les fortes teneurs en K peuvent être due au engrais pendant la période d'irrigation.
- ✦ Les bicarbonates présentent des teneurs importantes montrant ainsi l'effet des apports qui se font par les bordures calcaires, qui explique aussi bien la présence de faciès bicarbonaté sodique dans certain endroit.

## 5. Evolution des éléments chimiques des eaux d'El Asfour :

**Introduction :** Pour déterminer l'origine de ces éléments dans chaque points de prélèvement et son évolution en fonction des paramètres physico-chimiques des eaux de l'Oued et de la nappe, on a considéré deux types d'évolution : l'un dans l'espace et l'autre dans le temps.

### 5.1. Les cations (Fig. 43)

#### → Calcium

L'existence de cet élément dans les eaux a pour origine la dissolution des formations carbonatées et gypseuses. La teneur en calcium dans les eaux superficielles ne dépasse pas la norme admissible fixé par l'OMS (200mg/l), une teneur maximum observée dans le puits P<sub>16</sub>. Les eaux d'irrigation présentent des teneurs faibles en Ca ne dépassant pas les 50mg/l (Fig. 43 A et B).

#### → Magnésium

Présents dans l'eau, les cations Mg ont la même provenance que ceux du Ca (dissolution des formations carbonatées riches en Mg).

On remarque que tous les échantillons ont des teneurs de Mg inférieur à 150 mg/l qui est la teneur maximale admissible par l'OMS.

La teneur en magnésium est moins important au niveau des eaux d'irrigation, ceci est du probablement à la dilution des eaux par les eaux du barrage de La Chaffia (Fig. 43 A et B).

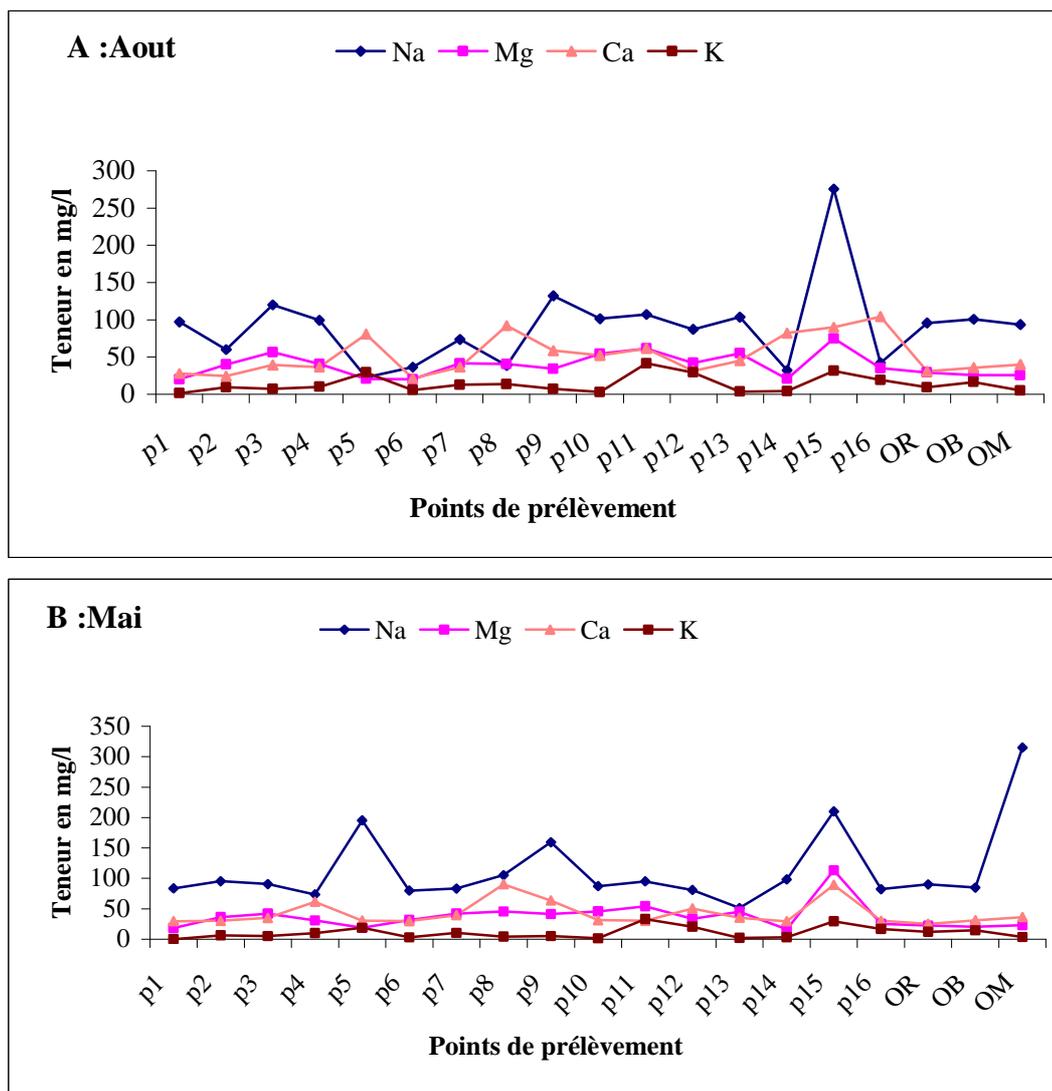
#### → Potassium

Les teneurs en potassium, ne varient pas de façon importante, la teneur la plus élevée est observée au P<sub>11</sub> (41.5 mg/l) au mois de Août (Fig. 43 A et B).

#### → Sodium

La teneur en Na dépasse énormément les normes de potabilité (150 mg/l), dans certains puits pour les eaux superficielles et aussi les eaux d'irrigation pendant les deux périodes de prélèvement.

L'origine de l'existence de cet élément dans les eaux serait liée à la dissolution des formations salifères riches en halite (Fig. 43 A et B).



**Figure 43 :** Evolution spatiale et temporelle des cations pendant les campagnes d'août 2006 (A) et de mai 2007 (B).

## 5.2. Les anions (Fig. 44)

### → Les Chlorures

Les Chlorures sont généralement très répandus dans la nature, leurs présences peuvent être attribuée à la nature des terrains traversés, à la pénétration de l'eau de mer dans les région côtières, à la pollution provenant des rejets urbains et industrielles, à la pollution par la lixiviation des décharges ; chacune de ces sources peut contaminer localement les eaux.

La teneur en Cl est très élevée dans la plupart des points de prélèvements, avec un maximum observé au P<sub>4</sub> (697.5 mg/l) ; (Fig. 44 C et D).

### → Les sulfates

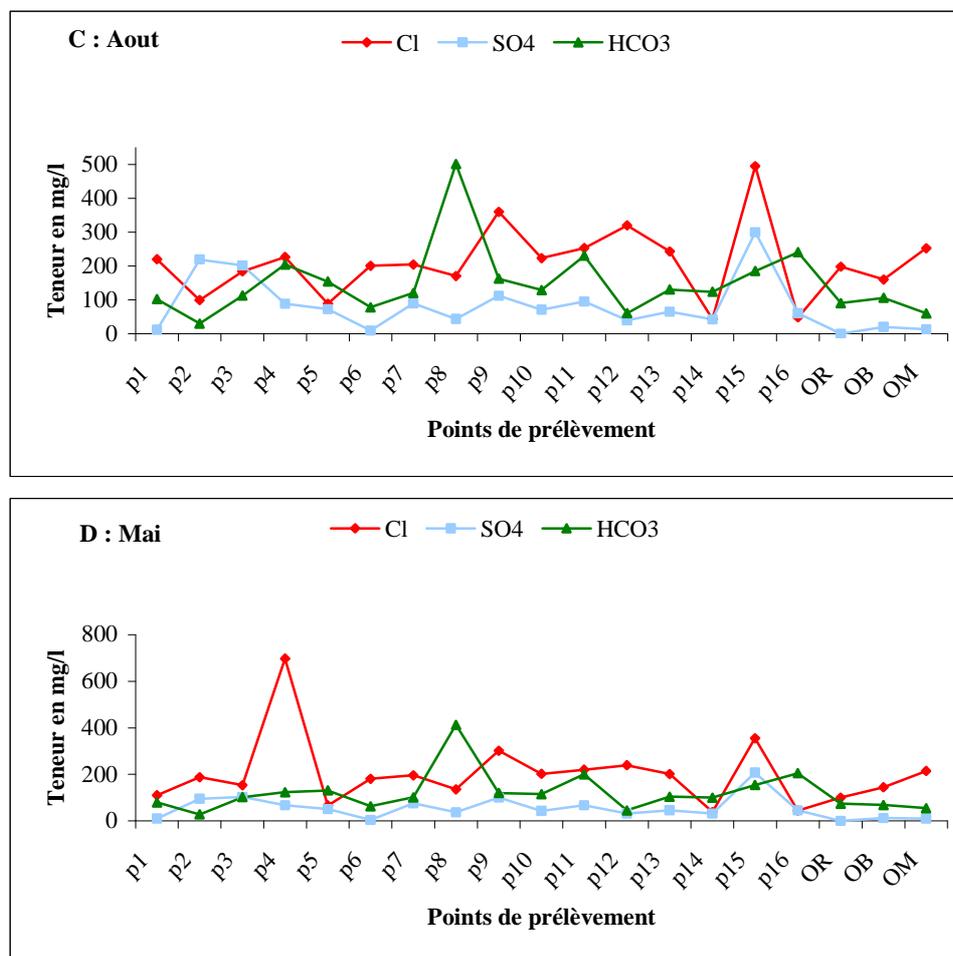
La présence des sulfates dans les eaux peut avoir pour origine la dissolution des formations gypseuses ,présent à des faibles concentrations dans les deux type d'eaux ,cet élément est en dessous des normes de potabilité (250 mg/l) sauf . La concentration la plus

élevée est de 300 mg/l dans le puits P<sub>15</sub> au mois de Août qui du probablement au eaux usées rejeter par les agglomérations de Bordj Hammaoui, ainsi l'alimentation par les bordures gréseuses. (Fig. 44 C et D).

#### ↳ Les bicarbonates

L'origine des bicarbonates est attribuée elle aussi à la dissolution des formations carbonatées (calcaire),quelque puits révèlent des teneurs assez élevée en HCO<sub>3</sub> au mois de Août , qui atteignent des valeurs (501.42 mg/l ) au P<sub>8</sub> et ( 241.3 mg/l ) au P<sub>16</sub>.

La teneur de bicarbonate diminue au mois de Mai, cette diminution peut être expliqué par les apports pluviométriques pendant la période de crus, (Fig. 44 C et D).



**Figure 44:** Evolution spatiale et temporelle des anions pendant les campagnes d'Août 2006 (C) et de Mai 2007 (D).

## **6. Conclusion :**

Les faciès chimiques de l'ensemble des points d'eau sont chlorurés sodiques et bicarbonatés sodiques. Les fortes teneurs des trois éléments (Cl, Na, HCO<sub>3</sub> ...), illustrent bien cette remarque.

Le regroupement de l'ensemble des résultats statistiques monodimensionnel et matrice de corrélation linéaire, axes principaux, plan de projection des variables exprime les mêmes résultats qui sont quelques fois complémentaires.

Il est donc clairement ressorti que les variables qui interviennent le plus dans la dégradation de la qualité des eaux de la nappe alluviale d'El Asfour sont tous de nature géologique.

Ce résultat est confirmé par les graphes, où on note des valeurs dépassant largement les normes admises par l'OMS qui sont les résultats d'une dissolution de matériaux hétérogènes comme les graviers, les grés et les argiles.

## **Chapitre III : Impact des eaux d'irrigation sur l'aquifère superficiel**

### **Introduction :**

L'organisation Mondiale de la santé estime, en effet que 80% des maladies qui affectent la population mondiale sont directement associées à l'eau (Sagik et Moore, 1992 cités par Hassen et al. 1999).

Cependant, l'utilisation des eaux de l'oued Bounammoussa pour l'irrigation des terres agricoles impose la prise en considération des risques sanitaires liés à la présence potentielle de composés chimiques toxiques et des germes infectieux, qui peuvent dégrader la qualité des sols et des eaux souterraines.

De ce fait, il est important de connaître la qualité de ces eaux d'irrigation et de chercher le degré de chaque type de pollution et de diagnostiquer les origines et les sources responsables de ces apports anthropiques, dans les limites de la région d'étude.

### **1. Qualité des eaux d'irrigation :**

#### **1.1. Aptitude des eaux de l'oued Bounammoussa à l'irrigation**

On définit généralement l'irrigation comme étant l'apport d'eau au sol dans le but d'assurer l'humidité nécessaire au développement des plantes.

Les eaux de surface sont menacées en permanence par des apports polluants étant donné qu'il est le milieu récepteur final de tous types de pollution, ce qui nous pousse à s'interroger si ces eaux de surface sont conformes ou non aux normes et est-ce qu'elles peuvent être utilisées pour l'irrigation des terres agricoles sans aucun risque pour les cultures, les sols, et les eaux souterraines ?

Il y'a quatre critères majeurs à considérer lors de l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation :

1. La concentration en sels dissous (risque de salinité).
2. La quantité de sodium dans l'eau comparé à d'autres cations (risque de sodicité).
3. La concentration des éléments toxiques qui inhibe la croissance des plantes où devient un danger environnemental.
4. Le bénéfice nutritionnel résultant de nutriments (nitrates, phosphates et sulfates).

#### **1. 2. Le risque de salinité**

La salinité a eu des effets sur l'agriculture de puis très longtemps. Les sels ont été reconnus comme un problème de puis des milliers d'années, particulièrement dans les régions arides et semi arides où il n'y a pas suffisamment de pluie pour lessiver les sels au-delà de la zone racinaire.

Les plantes et l'évaporation prélèvent l'eau du sol en y abandonnant une large part des sels apportés par l'eau d'arrosage, ce qui conduit à augmenter la salinité de l'eau du sol. La pression osmotique de l'eau du sol augmentant avec sa concentration en sels dissous, la plante consacre alors l'essentiel de son énergie non pas à se développer, mais à ajuster la concentration en sel de son tissu végétal de manière à pouvoir extraire du sol l'eau qui lui est nécessaire (Faby et al, 2000).

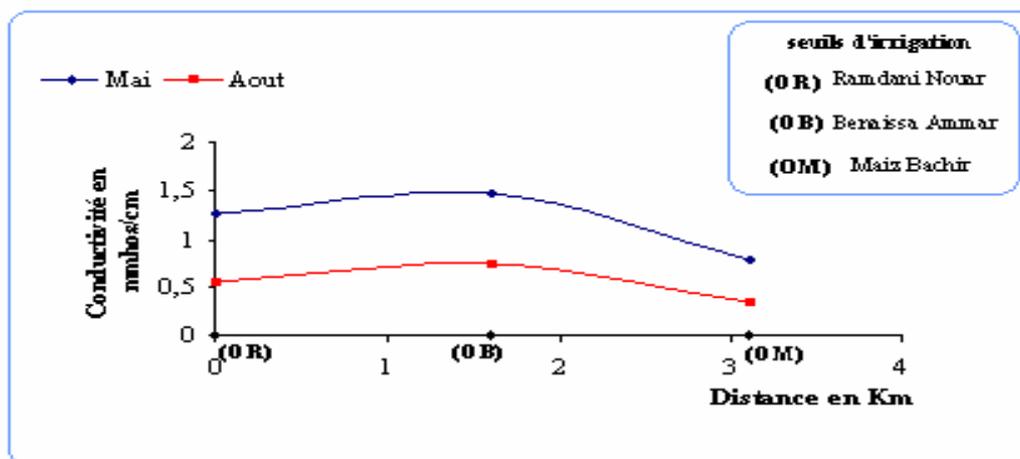
### 1.3. Evolution temporelle et spatiale de la salinité (Tab. 30)

En 1969, Richards a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité évaluée par leur conductivité électrique (Faby et al 2000).

**Tableau 30** : Classe de salinité selon Richards (Faby et al, 2000)

<b>Classes</b>	<b>Conductivité de l'eau (mmhos/cm à 25 °C)</b>	<b>Sels correspondants estimés en Na Cl (mg/l)</b>
<b>Excellente</b>	<0,25	<160
<b>Faible salinité</b>	0,25-0,75	160-500
<b>Forte salinité</b>	0,75-2,25	500-1500
<b>Très forte salinité</b>	2,25-5	1500-3600

- ✦ Au mois d'Août, on note la diminution de la salinité par rapport au mois de Mai, cela est dû aux eaux des lâchées du barrage de La Chaffia, dont les volumes apportés jouent le rôle de diluant. D'après le tableau .1, les eaux des seuils de d'irrigation présentent une faible salinité sauf le seuil de Benaissa Ammar qui présente une forte salinité.
- ✦ Au mois de Mai (période d'irrigation) : les eaux d'irrigation au niveau des seuils de pompage : montrent globalement la même conductivité. D'après le tableau .1, les trois seuils d'irrigation, Maiz Bachir, Benaissa Ammar, Ramdani Nouar. présentent une forte salinité où la plus élevée est observée à Benaissa Ammar (1,46 mmhos /cm), les sels solubles estimés en Na Cl correspondant sont compris entre 500 et 1500 mg/l.



**Figure 45 :** Evolution spatio-temporelle de la conductivité des eaux d'irrigation.

#### 1.4. Le risque de sodicité

L'accumulation du sodium sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols, leur capacité de drainage, donc leur perméabilité, conditionne la productivité des terres irriguées. Un excès de sodium par rapport aux alcalino-terreux (Ca, Mg...) dans le complexe adsorbant provoque la défloculation des argiles, une destruction du sol qui se traduit par une réduction de la perméabilité et de la porosité des couches superficielles du sol. L'eau d'irrigation stagne alors à la surface du sol et ne parvient plus jusqu'aux racines. D'autre part, à proportion égale de sodium et d'alcalino-terreux dans la solution, la tendance à la sodisation du sol est d'autant plus forte que la concentration en cations totaux dans la solution est plus élevée. Ainsi, le risque de sodisation relatif à une eau d'irrigation est caractérisé par deux paramètres : le SAR (Sodium Adsorption Ratio) qui rend compte du rapport entre la concentration en sodium et en alcalino-terreux, et la conductivité de l'eau appliquée (faby et al 2000).

##### ➤ Diagramme de Richards

Richards (1954) a élaboré une classification, en se basant sur les deux paramètres à savoir (SAR et conductivité électrique).

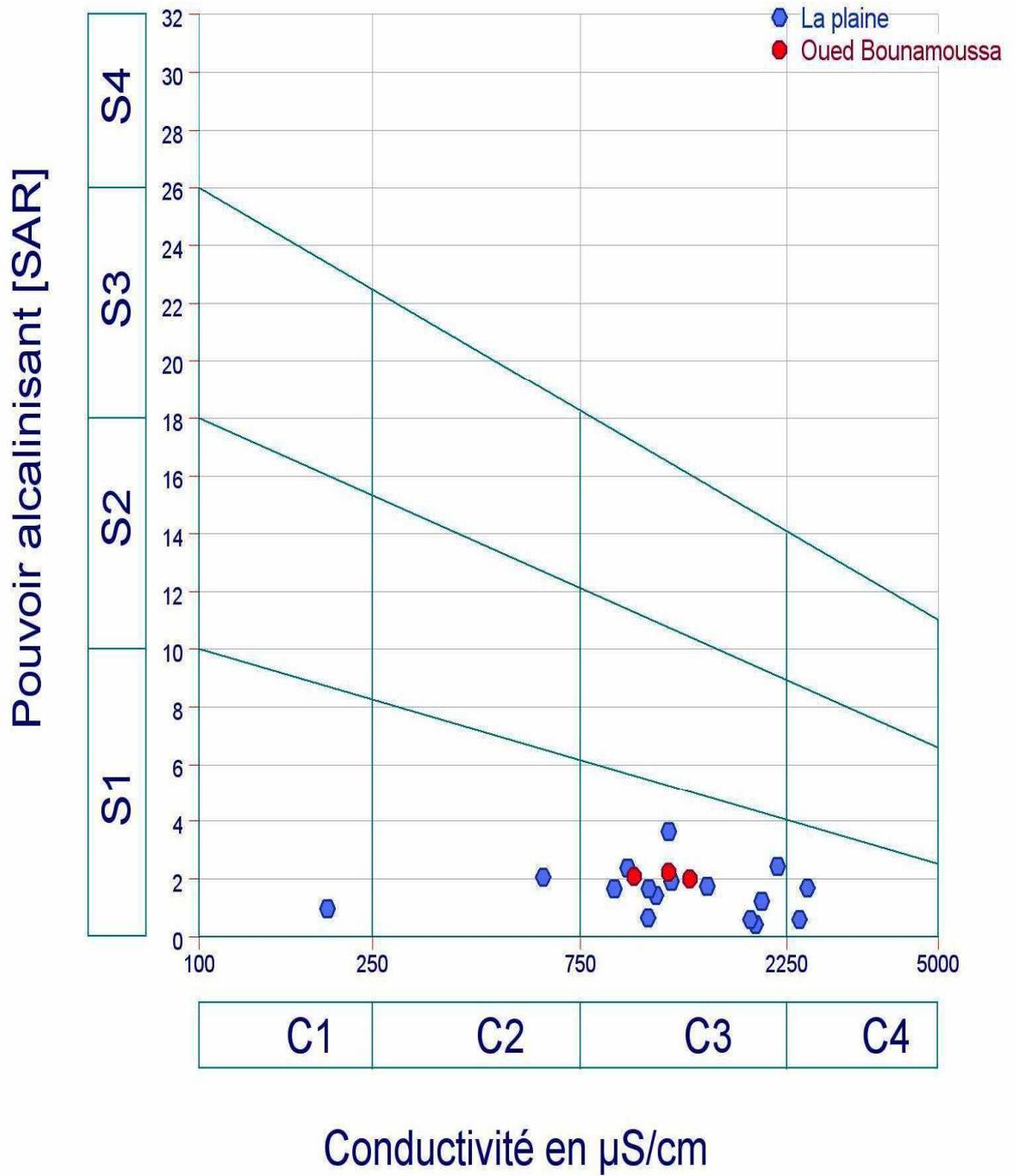
Le SAR défini comme égal à :

$$SAR = \frac{Na}{(Ca+Mg)^{1/2}} \times 1/2$$

D'après le diagramme de Richards (Fig. 46) on constate que les eaux d'irrigation appartiennent à la même classe d'aptitude à l'irrigation ; classe C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>, elles sont de qualité admissible. En générale, ces eaux conviennent à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés (Tab. 31).

L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

Les eaux des puits présentent généralement une qualité admissible à médiocre.



**Figure 46** : Diagramme de Richards (Août 2006).

**Tableau 31** : Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation (Méthode du SAR).

Degrés	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1	Excellente	C <sub>1</sub> -S <sub>1</sub>	Utilisation sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols.
2	Bonne	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>	Convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels, cependant son utilisation peut générer des problèmes pour les argiles.
3	Admissible	C <sub>3</sub> -S <sub>1, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub></sub>	La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérables aux sels sur des sols bien drainés.
4	Médiocre	C <sub>4</sub> -S <sub>1, S<sub>2</sub></sub>	Eau fortement minéralisée, utilisée uniquement pour des plantes très résistantes aux sels dont le sol présente une bonne perméabilité.
5	Inapte	C <sub>5</sub> -S <sub>1, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub></sub>	Inutilisable.

## 2. Pollution des eaux d'irrigation :

### ✦ les matières polluantes et leur origine

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique et biologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'homme et ses activités. Elle perturbe parfois considérablement la composition physico-chimique des eaux de surface, ces dernières sont le vecteur principal de transport de ces substances dans les souterraines. Elle change la condition de vie de la flore et de la faune aquatique cette perturbation provient :

- ✦ Des rejets domestiques, surtout constitués de matières organiques (graisses, déchets organiques divers), mais aussi de produits chimiques (poudres à laver, détergents) qui sont à l'origine d'apports de phosphates et de nitrates dans les eaux usées.
- ✦ Des rejets industriels, qui sont heureusement ; nulle dans la zone d'El Asfour due à l'absence des unités industrielles au niveau de ce secteur.
- ✦ Enfin des épandages d'engrais mettant en cause des terrains riches en nitrates, en phosphore, leur entraînement par les eaux pluviales provoque une contamination des eaux superficielles et souterraines.

Les rejets sont alors à l'origine de plusieurs types de pollution :

- La pollution physique : altération de la transparence de l'eau (présence de matières en suspension) ou de sa température.
- La pollution chimique : présence de substances chimiques indésirables ou toxiques, comme les nitrates ou les métaux qui provoquent des déséquilibres biologiques.
- La pollution organique : présence de matières organiques qui génèrent une surconsommation de dioxygène, nécessaire à leur dégradation et l'apparition de produits toxiques comme l'ammoniac.
- La pollution bactériologique : présence de microorganismes dont certains sont pathogènes susceptibles de provoquer des maladies.

## 2.1. Les eaux usées domestiques

La commune d'El Asfour est caractérisée par une croissance démographique importante. D'après les estimations, On prévoit qu'à l'horizon 2011, le nombre d'habitants, raccordés serait 13 331 habitants consommant un volume d'eau journalier de l'ordre de 22 150 m<sup>3</sup>. En l'absence de station d'épuration de ces eaux usées domestiques, l'Oued Bounamoussa est menacé en permanence par ces apports polluants étant donné qu'il est le milieu récepteur final de tous les rejets de la région. Le réseau d'assainissement de la commune d'El Asfour est un réseau unitaire.

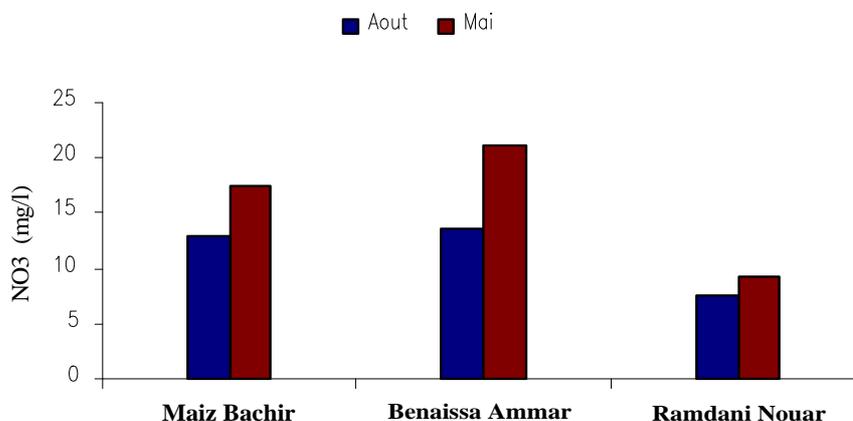
## 2.2. Pollution par les nutriments

### A-Les nitrates

Au mois d'août, la teneur en nitrate est inférieure à 50 mg/l (Norme OMS). Tous les seuils d'irrigation, Maiz Bachir, Benaissa Ammar et Ramdani Nouar montrent des teneurs faibles en nitrate (Fig. 47), malgré qu'ils soient l'exutoire des rejets urbains. Les teneurs ne dépassent pas 13 mg/l, ces faibles valeurs peuvent être dû aux lâchers du barrage

Au mois de Mai, les teneurs sont variables d'une station à l'autre, avec un maximum de 21.4 mg/l (Fig. 47).

L'excédent en nitrates des eaux de surface susceptibles est principalement dû à l'utilisation d'engrais azoté (Déjections animales et engrais de synthèse), mais elle est également imputable aux rejets d'eaux usées des ménages.



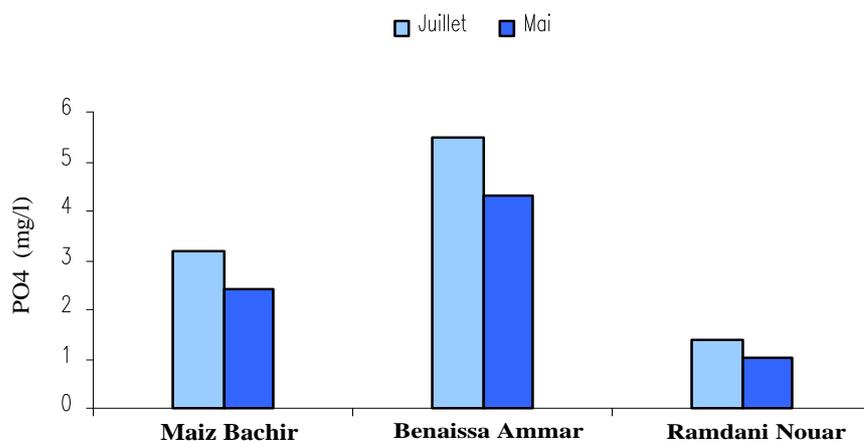
**Figure 47:** Variation du NO<sub>3</sub> dans les eaux d'irrigation (Août 2006, Mai 2007)

### B-les ortho phosphates

On a effectué des prélèvements en deux périodes :

Au mois de juillet (avant les lâchers du barrage), où on note des teneurs élevées en cet élément dans les seuils d'irrigation dépassant les normes de potabilité fixé par l'OMS (0.5mg/l). Les eaux usées domestiques sont la principale cause de l'enrichissement des eaux d'irrigation en PO<sub>4</sub>.

Au mois de Mai (période d'irrigation), les eaux d'irrigation ont des concentrations élevées en  $PO_4$  du à l'utilisation intensives des engrais (Fig. 48).

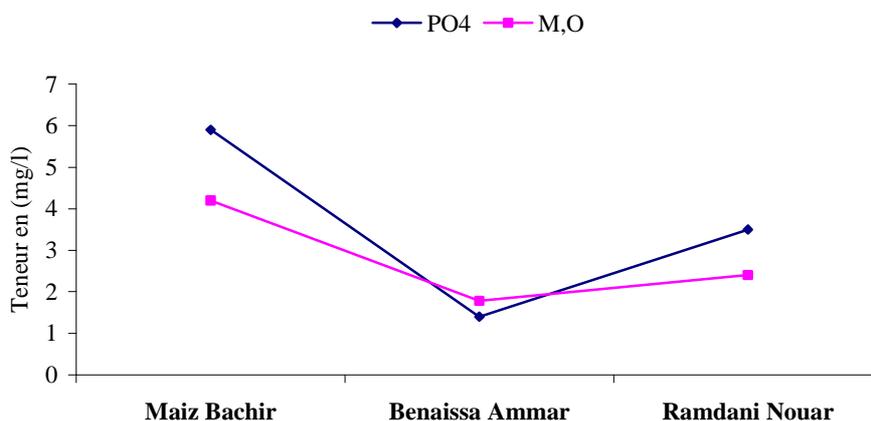


**Figure 48:** Variation du  $PO_4$  dans les eaux d'irrigation (Juillet 2006, Mai 2007)

### C-La matière organique

On note que les eaux d'irrigation sont riches en matière organique, dont l'origine le plus probable est la matière fécale des eaux usées domestiques.

La figure 49 montre que l'origine des ortho phosphates est la décomposition de la matière organique, d'où ce rapport direct entre ces deux paramètres.



**Figure 49:** Evolution de la teneur en matière organique et des ortho phosphates dans les eaux d'irrigation (juillet 2006).

## 2.3. Pollution bactériologique

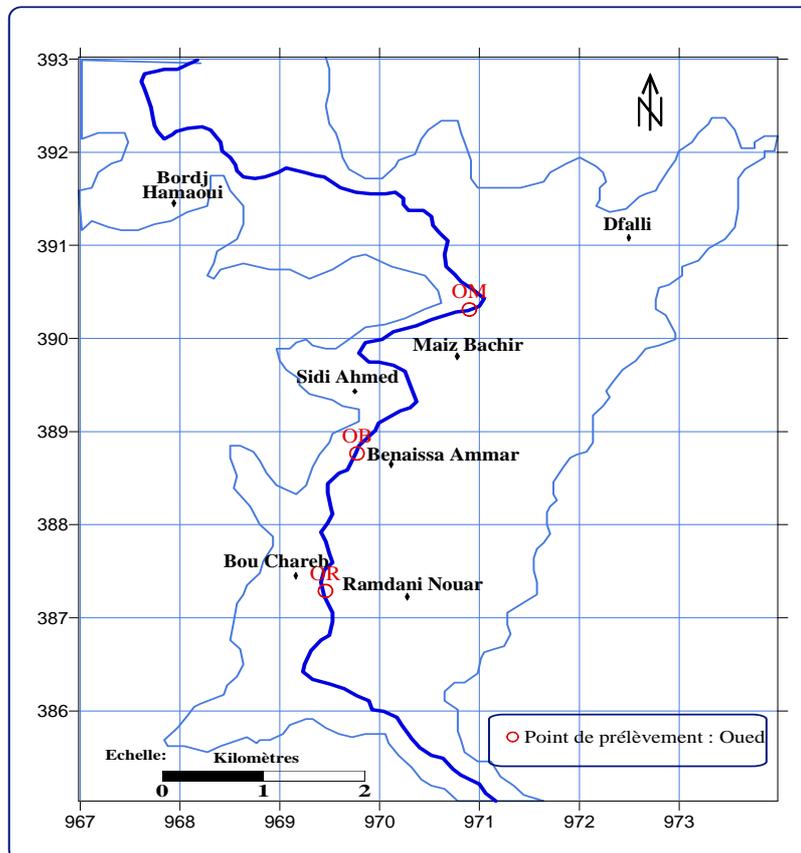
### 2.3.1. Qualité bactériologique des eaux d'irrigation

Dans cette partie de l'étude on se basant sur la qualité bactériologique des eaux de oued Bounammoussa et leur usage pour l'irrigation. On essaiera de connaître la charge bactérienne au niveau des seuils d'irrigation (les seuils de Maiz Bachir, Benaissa Ammar, RamdaniNouar) et

de préciser leur usage pour les cultures (Fig. 50) .Ceci d'une part, d'autre part, on essaiera de classer les eaux de l'oued par rapport aux eaux de surface selon les normes existantes.

Pour cela ; les prélèvements ont été faits en deux périodes :

- \* au mois de Juillet 2006 (avant les lâchers du barrage de La Chaffia).
- \* au mois d'Août 2006 (après les lâchers du barrage).



**Figure 50:** Position des points de prélèvement des eaux de surface (Analyse bactériologique)

### 2.3.2. Les indicateurs de la pollution bactériologique

L'analyse bactériologique permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau. Les organismes pathogènes sont très nombreux et très variés et ne peuvent donc faire l'objet d'une recherche spécifique. Ainsi, il est préférable de rechercher des germes qui sont dénommés « germes indicateurs de pollution fécale », qui sont les coliformes : coliformes totaux, coliformes thermo-tolérants, Escherichia Coli et aussi les streptocoques fécaux.

#### o **Les coliformes thermo-tolérants**

Tout les coliformes d'origine fécale sont thermo-tolérants. ce sont des indicateurs relativement faibles de contamination fécale.

#### o Escherichia Coli

C'est un excellent marqueur de contamination fécale, récente ou rapprochée.

#### o Les Streptocoques fécaux

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

### 2.3.3. Aptitude à l'irrigation

Pour connaître l'aptitude des eaux de l'oued Bounamoussa à l'irrigation de point de vue qualité microbiologique, ont affrontées ces eaux :

- Aux recommandations de l'OMS (1989) et à la réglementation californienne ; il s'agit des normes des eaux usées épurées utilisées à l'irrigation. cette comparaison est justifiée par le fait que l'oued Bounamoussa est l'exutoire des rejets domestiques (El Asfour centre, Bordj Hammaoui...) donc ces eaux peuvent être considérées comme des eaux usées.
- Aux norme canadiennes et celle des Etats-Unis (Enviromental Protection Agency) ;

Concernant les eaux de surface utilisées pour l'irrigation.

La réglementation de l'OMS (1989), pour la réutilisation des eaux usées épurées à l'irrigation,

Propose de retenir trois catégories de contraintes sanitaires C, B et A exprimant les risques croissant liés aux types d'utilisation projetés et aux modalités d'irrigation, elles ont étaient révisées en 2000 par Blumenthal et Coll.

La réglementation californienne, exprimée dans un document appelé « Title 22 » est une des plus sévères au monde .elle est basé sur une approche de haute technologie .c'est également une référence mondiale. Elle a servi de modèle aux réglementations d'Israël, de l'Italie, etc. (Faby et al 2000).

**Tableau 32** : Résumé des recommandations\* de l'Etat de Californie pour la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation.

Application	Technique d'irrigation	Coliformes fécaux totaux (Nombre/100 ml)
Cultures comestibles consommées crues	aspersion	<2,2
Cultures comestibles	Surface	<2,2
Arbres fruitiers et vignes	surface	Aucune limite
Production de fibres végétales et cultures de semences	Surface ou aspersion	<23
Pâturage pour animaux élevés pour leur lait	Surface ou aspersion	<23
Parcours de golfs, cimetières, bordures de routes et autres espaces avec un accès public similaire.	Surface	<23

\*Source : Faby et al, 2000.

**Tableau 33** : Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour les eaux usées, avant utilisation en agriculture (*Blumenthal et coll, 2000*).

Catégorie	Conditions de réutilisation	Groupes exposés	Technique d'irrigation	Coliformes Fécaux (Nombre/100 ml)	Nématodes intestinaux (œuf/l)
<b>A</b>	irrigation sans restriction <b>A<sub>1</sub></b> pour les cultures maraîchères consommées crues, les terrains de sports, parcs publics	Travailleurs Consommateurs publics	Toutes	$\leq 10^3$	$\leq 0,1$
<b>B</b>	Irrigation restreinte. Céréales, cultures industrielles, fourragères, Pâturage et forêts	<b>B<sub>1</sub></b> Travailleurs (mais pas les enfants <15 ans, populations alentour <b>B<sub>2</sub></b> comme <b>B<sub>1</sub></b> <b>B<sub>3</sub></b> Travailleurs dont les enfants <15 ans, populations alentours	Aspersion  Par rigole d'infiltration ou par gravité  Toutes	$\leq 10^3$  $\leq 10^3$  $\leq 10^3$	$\leq 1$  $\leq 1$  $\leq 0,1$
<b>C</b>	Irrigation localisée sur des cultures de la catégorie B s'il n'y a pas d'exposition des travailleurs ou des public	aucun	Goutte à goutte, micro jet, etc.	Pas de norme	Pas de norme

Selon les recommandations microbiologiques de l'OMS (1989), les eaux aux niveaux des seuils d'irrigation ne peuvent pas être utilisées pour l'irrigation des cultures maraîchères consommées crues, étant donnée que les teneurs en coliformes fécaux dans ces seuils d'irrigation, avant et même après les lâchers du barrage de Chaffia à l'exception de la seuil de Maiz Bachir au mois de juillet, sont supérieures à  $10^3$  germes pour 100ml. si la technique d'irrigation envisagée est l'aspersion, comme c'est la pratique au niveau du périmètre de Bounamoussa, les eaux des seuils d'irrigation, peuvent être utilisées, pour sans restriction, pour l'irrigation des céréales, cultures industrielles, fourragères, pâturages et forêts.

D'après la réglementation californienne «Title 22», les eaux d'irrigation au niveaux des seuils d'irrigation, dépassent largement les normes en coliformes fécaux ou totaux (<2,2 et <23), et ne peuvent être utilisées que pour l'irrigation des arbres fruitiers et vignes, en utilisant la technique de l'irrigation de surface.

Au Canada, les recommandations pour la qualité des eaux d'irrigation ne devraient pas contenir, plus de  $10^3$  /100ml pour les coliformes et  $10^2$  /100ml pour les coliformes fécaux.

Comparant les eaux de l'oued Bounamoussa, aux niveaux des seuils d'irrigation à ces recommandations, on s'aperçoit qu'elles ne sont pas conformes, et que leur charge bactérienne est très élevée, donc ne peuvent pas être utilisées à l'irrigation, à l'exception de la seuil de Maiz Bachir au mois de juillet.

Aux Etats-Unis, Environmental Protection Agency et l'Académie des Sciences ont déterminé, en 1973, que les eaux de surface naturelles, y compris les eaux de rivières, utilisées pour l'irrigation, ne devraient pas contenir, au total, plus de  $10^3$  coliformes par 100ml, de ce fait, les eaux des seuils d'irrigation de la plaine d'El Asfour ne peuvent être utilisées pour l'irrigation.

#### 2.3.4. Classification de la qualité microbiologique des eaux de l'Oued Bounamoussa

Etant donné que les eaux de l'oued Bounamoussa sont des eaux de surface, et dans le but de savoir leur degré de pollution bactériologique, on les a comparé aux normes canadiennes des eaux de surface (Tabl. 34).

**Tableau 34 :** Grille de la qualité bactériologique des eaux de surface (Normes canadiennes).

Coliformes fécaux (germes/100 ml)	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
	$\leq 20$	$20-2 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3-2 \cdot 10^4$	$> 2 \cdot 10^4$	-

L'évaluation des eaux de l'oued Bounamoussa par rapport à la classification canadienne, nous a permis d'obtenir les résultats suivants (Tab. 35).

Les eaux au niveau du seuil de Maiz Bachir, semble de bonne qualité comparées à celle des autres seuils. Les lâchers du barrage, ont amélioré la qualité des eaux des seuils de Benaissa Ammar et celle de Ramdani Nouar.

**Tableau 35 :** Qualité bactériologique des eaux de l'Oued Bounamoussa par rapport aux normes canadiennes pour les eaux de surface.

Seuil d'irrigation	Juillet (avant les lâchées du barrage)	Août (après les lâchées du barrage)
<b>Maiz Bachir</b>	bonne	bonne
<b>Benaissa Ammar</b>	mauvaise	moyenne
<b>Ramdani Nouar</b>	mauvaise	bonne

#### 2.3.5. Indice de qualité microbiologique (IQM)

Le calcul de l'indice de qualité microbiologique, se fait par le calcul de la moyenne des classes à partir du tableau des limites des classes, qui a été établie en 1980 par Bovesse et Depelchin (Leclercq, 1986), cette moyenne une fois obtenue, sera interprétée à partir du tableau où sont indiqués les degrés de contamination.

**Tableau 36 :** Limite des classes bactériologiques (Bovesse et Depelchin, 1980).

Classe n°	Bactérie tot./100ml	Coliformes fécaux/100 ml	Streptocoques Fécaux/100ml
5	<200000	<10000	<500
4	200000-900000	10000-50000	500-1000
3	900000-4500000	50000-250000	1000-5000
2	4500000-36000000	250000-2000000	5000-50000
1	>36000000	>2000000	>50000

**Tableau 37 :** Interprétation de la moyenne des classes

IQM	4,3-5,0	3,5-4,2	2,7-3,4	1,9-2,6	1,0-1,8
contamination	nulle	faible	modérée	forte	Très forte

Ce système de calcul de l'indice de qualité microbiologique a été appliqué aux eaux d'irrigation, dans les trois stations pour les deux périodes de prélèvement. Les résultats obtenus sont repris dans le tableau 38.

**Tableau 38 :** Degré de contamination des eaux d'irrigation de l'Oued Bounamoussa.

Seuil d'irrigation	Juillet (Avant les lâchers du barrage)		Août (Après les lâchers du barrage)	
	IQM	Contamination	IQM	Contamination
Maiz Bachir	4	faible	4	faible
Benaissa Ammar	2,5	<b>forte</b>	3,5	faible
Ramdani Nouar	3,4	<b>modéré</b>	4	faible

Généralement, la contamination au niveau du seuil de Maiz Bachir est faible pour les deux périodes de prélèvement.

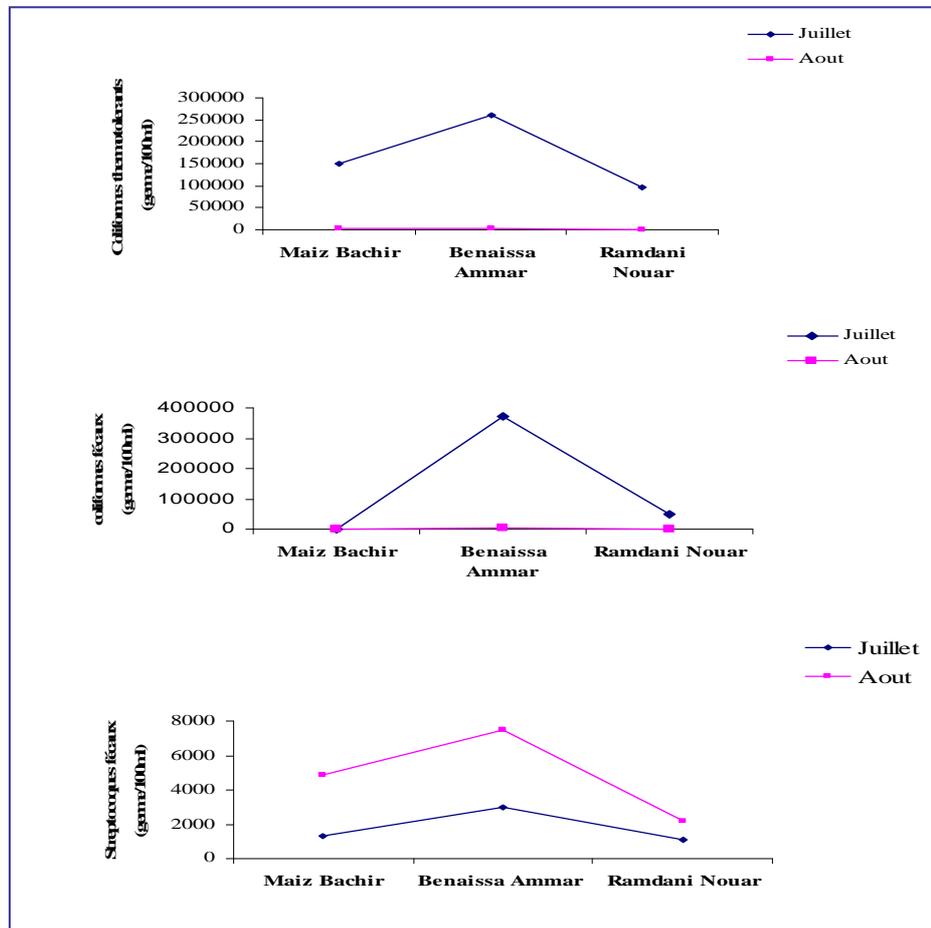
La contamination microbiologique des eaux de seuil de Ramdani Nouar est modérée, ce qui présente un risque pour les eaux d'irrigation, mais améliorée par les lâchers du barrage au mois d'Août.

Le plus remarquable, c'est la forte contamination de seuil de Benaissa Ammar, qui due d'une part, à l'importance des rejets provenant de réseau unitaire des eaux usées de Asfour centre et Benaissa Ammar et d'autre part au faible pouvoir épurateur de cet oued surtout la période d'étiage.

### 2.3.6. Evolution de la charge bactérienne des eaux d'irrigation

Avant les lâchers du barrage en juillet, le seuil Benaissa Ammar est le plus chargé en coliformes thermo-tolérants et en coliformes fécaux, que les autres seuils (Fig. 51). Cela est dû aux rejets des eaux usées non épurées.

Au seuil de Maiz Bachir, on note l'absence totale des coliformes fécaux. Les streptocoques fécaux, sont présents en grand nombre, après les lâchers du barrage, au niveau des seuils de Benaissa Ammar et Maiz Bachir (Fig. 51).



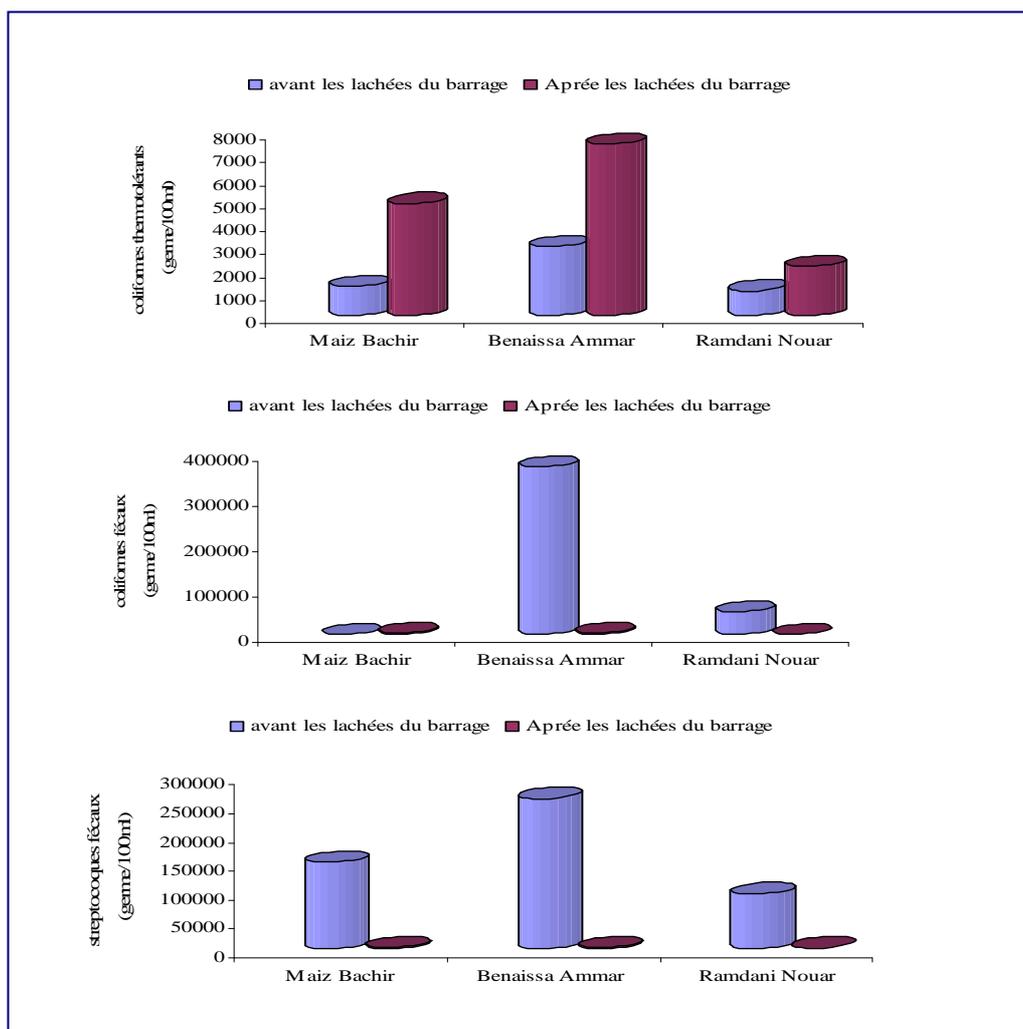
**Figure 51 :** Evolution spatio-temporelle de la charge bactérienne des eaux d'irrigation.

### 3. Effets des lâchers du barrage sur la qualité bactériologiques des eaux d'irrigation :

Le barrage de La Chaffia, fournit des volumes d'eau importants à l'Oued Bounammoussa pendant la période d'irrigation.

Au mois de Juillet, et avant les lâchers du barrage, la charge bactérienne la plus importante est observée au niveau du seuil de Benaissa Ammar. L'amélioration quantitative apportée aux eaux de l'Oued Bounammoussa est accompagnée à la fois par une amélioration qualitative (Fig. 52).

Après les lâchers du barrage au mois d'Août, on note une amélioration de la qualité des eaux au niveau des seuils les plus proches et on note aussi, la diminution des coliformes et streptocoques fécaux à l'endroit de Benaissa Ammar et Ramdani Nouar.



**Figure 52 :** Effet des lâchées du barrage sur la charge bactérienne des eaux d'irrigation.

#### 4. Qualité des eaux superficielles

Dans le précédent résultat, on s'est rendu compte du degré de la pollution des eaux de l'Oued Bounamoussa, utilisées pour l'irrigation des terres agricoles de la plaine de Asfour. De se fait, il était indispensable de chercher l'impact de cette pratique sur les eaux de la nappe superficielle, qui sont généralement les plus vulnérables à la pollution.

##### 4.1. Les éléments de la pollution

Etant donné les grands flux d'eaux usées produites par les agglomérations urbaines, rejetées dans l'oued, l'activité agricole intense. Les eaux superficielles sont menacées en permanence par différents polluants.

##### 4.1.1. Pollution bactériologique

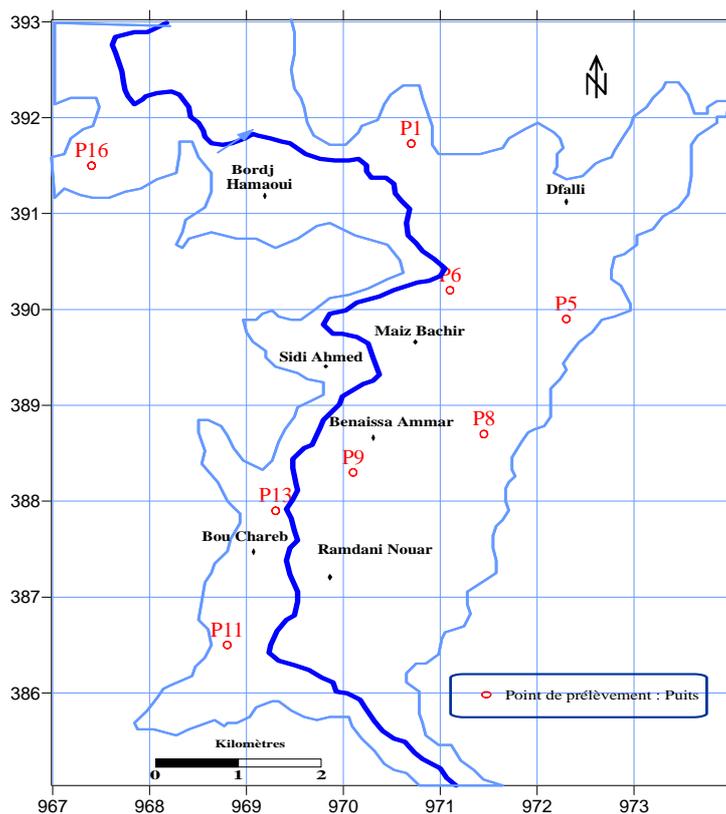
**\*Choix des points de prélèvement :** Le prélèvement des points d'eau se fait durant la saison d'irrigation. Ces points sont localisés dans ou à proximité des parcelles irriguées.

On a évité ceux qui sont à ciel ouvert, car leur pollution bactériologique peut avoir d'autres origines combinées avec la pollution engendrée par les eaux d'irrigation. Les prélèvements ont été effectués dans des bouteilles en verre préalablement stérilisées et conservés dans une glacière jusqu'au laboratoire.

### Résultats et discussion :

Deux campagnes de prélèvement, ont été faites, en Juillets 2006 et Août 2006, au niveau de 8 puits domestiques bien espacés dans la zone d'étude (Fig. 53).

- ✦ Pour la première campagne, l'analyse a été faite au niveau du laboratoire Hygiène (Centre de santé, Annaba). L'analyse a porté sur les indicateurs de pollution fécale (coliformes thermotolérants, coliformes fécaux ou *Escherichia Coli*). Les résultats sont représentés dans le tableau 39.
- ✦ Pour la deuxième campagne, l'analyse a porté sur les indicateur de pollution fécale (coliformes totaux et des coliformes fécaux, a été faite par filtration par membrane et par fermentation en tube multiple, les streptocoques fécaux par fermentation en tube multiple, les résultats sont comparés aux recommandation de l'OMS (1994) et aux normes algériennes pour l'eau de consommation.



**Figure 53:** Position des points de prélèvement des eaux superficielles pour analyse bactériologique

**Tableau 39** : Résultats d'analyse bactériologique des eaux superficielles.

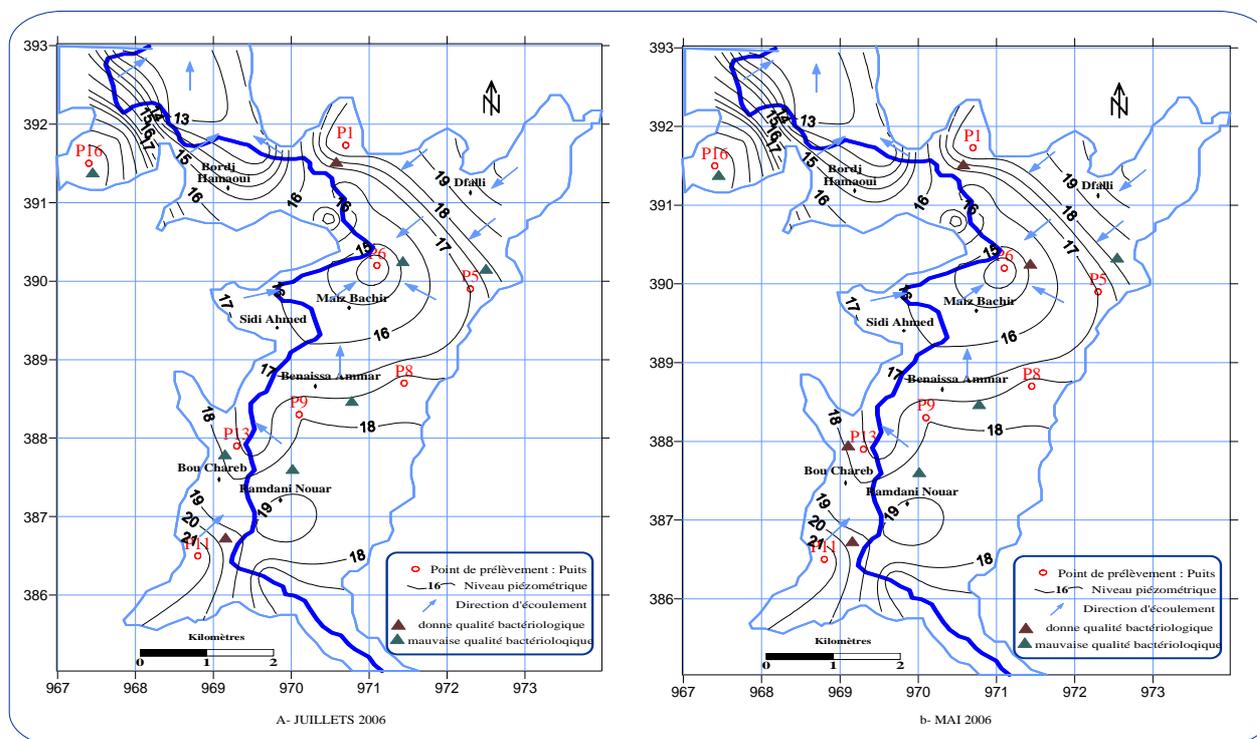
Période de prélèvement	Nombre des puits	Qualité bactériologique	
		Bonne	Mauvaise
Juillet 2006	8	1	7
Août 2006	8	3	5

➤ Pour la première campagne (Fig. A-54), avant les lâchées du barrage la pollution fécale de la nappe est signalée par la présence des coliformes thermo tolérants dans les puits (P<sub>5</sub>, P<sub>6</sub>, P<sub>8</sub>, P<sub>9</sub>, P<sub>16</sub>). même si leur nombre diminue dans ces derniers, après les lâchers du barrage.

La présence de coliformes thermo tolérants dans 87.5% des échantillons prélevés, qui sont impropre à la consommation selon les recommandations de l'OMS et les normes algériennes, est due à l'infiltration des eaux d'irrigation.

La plupart des puits qui captent la nappe superficielle sont tout de mauvaise qualité bactériologique, ce qui représente un risque pour la santé publique, car la lithologie grossière des terrains de la nappe ont favorisé l'infiltration des germes pathogènes, et d'autre parts ces points se situent dans des terres agricoles irriguées.

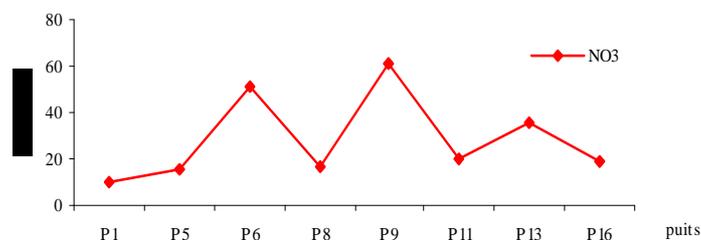
➤ Pour la deuxième campagne (Fig. b-54), après les lâchées du barrage on note que les puits (P<sub>5</sub>, P<sub>9</sub>, P<sub>16</sub>), sont pour la plupart de mauvaise qualité bactériologique, avec un pourcentage de 62.5%. du fait que cette zone est de forte vulnérabilité à la pollution à cause du remplissage alluvionnaire grossier et de la faible profondeur d'eau.

**Figure 54:** Qualité bactériologique des eaux superficielles de la nappe d'El Asfour

### 4.1.2. Pollution agricole

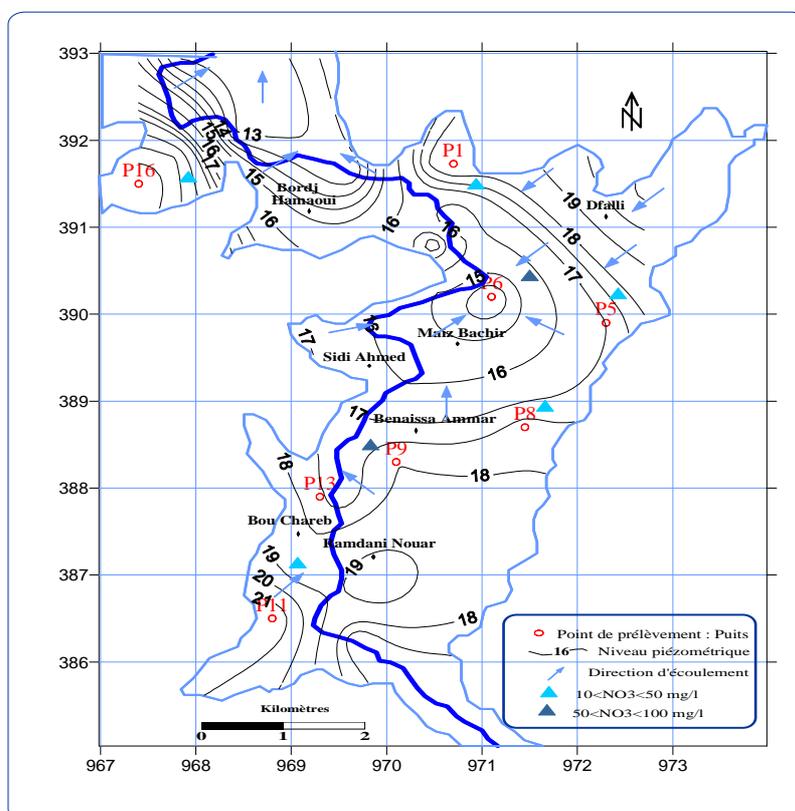
#### A-les nitrates

Dans notre région les eaux superficielles ne pose généralement pas de problème au niveau de nitrates, car tous les points de prélèvement ont données des valeurs inférieures à 50mg/l (valeur indicative par l'OMS (Fig. 55). La nappe d'El Asfour peut contenir des teneurs élevées en nitrates (>50mg/l) du fait de l'agriculture intensive et les eaux usées.



**Figure 55 :** Variation des nitrates dans les eaux de puits (Juillets 2006).

La carte de répartition spatiale des nitrates, montre que les zone les plus exposées à la pollution par les nitrates se situées au alentours du trajet actuel de l'Oued Bounamoussa où les alluvions sont grossières favorisant leur lessivage vers la nappe, cela est combiné à la faible profondeur de l'eau (Fig. 56). Il faut rappeler que les activités agricoles locales, sont souvent observées aux alentours des puits où on note les teneurs les plus élevées, respectivement 61.02 mg/l, 51.02 mg/l.



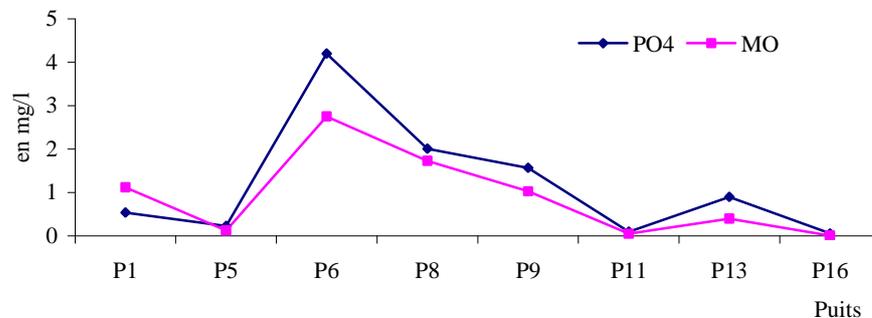
**Figure 56 :** Répartition des teneurs en nitrates dans les eaux superficielles (Juillets 2006)

## B-les ortho phosphates

Plus de 50 % des points prélevés, présentent des teneurs élevées, supérieures à la norme de potabilité (0.5 mg/l).

La figure 57, montre la relation entre les ortho phosphates et la matière organique, où on note une légère corrélation entre ces deux éléments dans les eaux des puits. Ceci peut suggérer une origine organique des ortho phosphates dans certains points de prélèvement. Il est important de rappeler que les eaux d'irrigation sont très chargées en cet élément respectivement 3.2 ,5.5 ,1.4 mg/l au niveau des seuils d'irrigation (Maiz Bachir, Benaissa Ammar, Ramdani Nouar), au mois de Juillet 2006.

La plupart des puits sont pollués par cet élément dont l'origine est les engrais chimiques, la dégradation de la matière organique et l'infiltration des eaux d'irrigation chargées en  $PO_4$ .



**Figure 57:** Variation des ortho phosphates et de la matière organique dans les eaux de puits (Juillet 2006).

### Conclusion

- ✦ L'enquête agro-pédologique menée dans les années 1965 et 1969 par la direction du génie rural et l'hydraulique agricole de Annaba, présente une classification qui s'inspire de celle qui a été établie par J. Philip pour la plaine du Bounammoussa, conduit à distinguer les deux classes suivantes :
  - Les sols peu évolués.
  - Les vertisols.
- ✦ Concernant les eaux de la nappe alluviale d'El Asfour, les résultats mettent en évidence deux familles d'eaux bien distinctes dont les faciès chimiques sont :
  - Chloruré sodique.
  - Bicarbonaté sodique.
- ✦ les eaux qui assurent l'irrigation de la plaine d'El Asfour, sont menacées en permanence par la pollution, étant donné que l'Oued Bounammoussa est un milieu récepteur de tous les rejets, déversés à l'état brut en l'absence de station d'épuration, ces rejets représentent un danger majeur pour la qualité des eaux, vu les

fortes concentrations en polluants chimiques et bactériologiques issues de débits assez élevés des différents rejets.

- ✦ Les analyses chimiques des eaux d'irrigation, au niveau des seuils d'irrigation ont montrées que :  
Au mois d'Août et au mois de Mai, ces eaux sont de forte salinité. D'après le diagramme de Richards (1954), les eaux de Maiz Bachir, Benaissa Ammar et Ramdani Nouar, sont de qualité *admissible* en générale, convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
- ✦ Concernant la qualité bactériologique des eaux d'irrigation, et selon les recommandations microbiologiques de l'OMS (1989), les eaux d'irrigation au niveau des seuils de pompage ne peuvent pas être utilisées pour l'irrigation des cultures maraîchères consommées crues, cela avant et même après les lâchers du barrage de Bounamoussa, à l'exception de la station de Maiz Bachir au mois de Juillet.
- ✦ D'après la réglementation californienne « Title 22 » pour les eaux usées épurées utilisées pour l'irrigation, les eaux des seuils d'irrigation, dépassent largement les normes en coliformes fécaux ou totaux, et ne peuvent être utilisées que pour l'irrigation des arbres fruitiers et vignes. Selon Environnement Protection Agency (Etats-Unis), et l'Académie des sciences (1973), les eaux des seuils d'irrigation, autant que les eaux de surface, ne peuvent être utilisées pour l'irrigation. Aussi, en comparant ces eaux aux recommandations canadiennes, pour la qualité des eaux d'irrigation, les eaux de oued Bounamoussa, aux niveaux des seuils d'irrigation, ne sont pas conformes à ces normes, et par conséquent ne devraient pas être utilisées à cet usage .
- ✦ Les lâchers du barrage de Bounamoussa, arrivent à diluer les eaux d'irrigation et par conséquent réduire la charge bactérienne (coliformes fécaux), au niveau des seuils d'irrigation, donc il serait plus prudent d'effectuer des lâchers avec le début de chaque saison d'irrigation.
- ✦ Pour voir l'impact des eaux d'irrigation sur la nappe, le prélèvement des échantillons d'eau s'est fait durant la période d'irrigation. les points d'eau choisis, sont localisés soit dans des parcelles irriguées ou bien, au voisinage de celles-ci.
- ✦ Les analyses bactériologiques ont montrées la présence de coliformes fécaux thermo- tolérants, pour 70% des échantillons, et sont donc impropre à la consommation. Cette pollution est due à l'infiltration des eaux d'irrigation polluées vers les eaux superficielles de la nappe. Les puits situés pour la plupart dans l'actuelle vallée de l'Oued Bounamoussa, présentent une pollution fécale, à cause de la faible profondeur du niveau de l'eau par rapport à la surface du sol. Pour les nitrates, les eaux des puits sont contaminées, les teneurs dépassent parfois la norme de potabilité. Les eaux d'irrigation ne sont pas trop chargées en nitrates et présentent des teneurs

inférieures à la norme de potabilité des eaux de surface, ce qui confirme que l'origine des nitrates dans la nappe est les engrais chimiques, qui ont pollués seulement les eaux de puits.

- ✦ Concernant les ortho phosphates, les eaux d'irrigation sont chargées en cet élément, dont l'origine est certainement les eaux usées urbaines, en contre partie, les eaux de puits de la nappe ont des concentrations supérieures à la norme de potabilité. Cette contamination est causée à la fois par les engrais chimiques et les eaux d'irrigation.

**Pour conclure, nous emprunterons ces quelques lignes à Faby (1997) :**

«La réutilisation des eaux usées épurées n'est pas assez exploitée comme pratique d'assainissement et de sauvegarde de la qualité sanitaire et écologique des milieux récepteurs ordinaires. Les exigences croissantes relatives à la qualité des milieux récepteurs sensibles devraient être l'occasion de montrer qu'il y a souvent avantage à trouver d'autres destins aux eaux usées que leur rejet dans le milieu récepteur».

## Chapitre IV : Evolution de la pollution organique

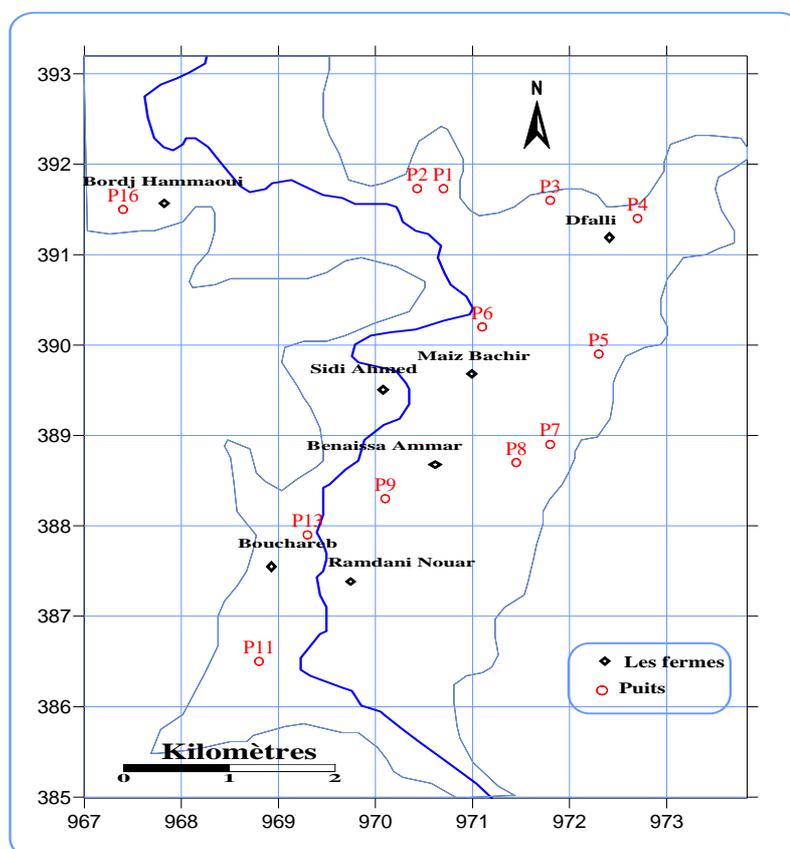
### Introduction :

Le travail qui a été fait en 2004/2005 et 2005/2006 dans le cadre des mémoires d'ingénieur, sous la direction de M. H. CHAFFAI, avait pour objectif d'évaluer l'évolution des polluants organiques au niveau des eaux souterraines dans la plaine d'El Asfour.

Un suivi a été assuré par une campagne d'analyse en Février 2007. Cette dernière campagne avait pour but d'évaluer le degré de pollution sur une période de trois années successives, en préservant les mêmes puits de prélèvements, en plus de trois nouveaux puits par rapport à l'inventaire de 2004/2006 et situés dans l'autre rive de l'Oued Bounamoussa.

### 1. Carte d'inventaire des points d'eau (Fig. 58) :

Le suivi de l'évolution de la pollution organique est fait à partir des puits situés dans des zones agricoles pendant les trois années successives (2004/2005, 2005/2006 et 2006/2007); en deux périodes (basses eaux et hautes eaux) .



**Figure 58:** Carte d'inventaire des points d'eau

## 2. Evolution des éléments chimiques (Période 2004 à 2007) :

### 2.1. Les Nitrates

#### 2.1.1. Période des basses eaux

Les Nitrates sont généralement très répons dans la nature, la teneur en  $\text{NO}_3$  est très faible pour la plupart des puits, mais parfois dépasse la norme admise (50mg/l) dans certain puits, avec un maximum de 61.2 au mois de juillet 2006.

D'après la figure 59, on note une augmentation remarquable des teneurs en nitrates d'une année à l'autre, leur présence peut être attribuée à la nature des terrains traversés, à la pollution provenant des rejets urbains et à la pollution par la lixiviation des décharges; chacune de ces sources peut contaminer localement les eaux.

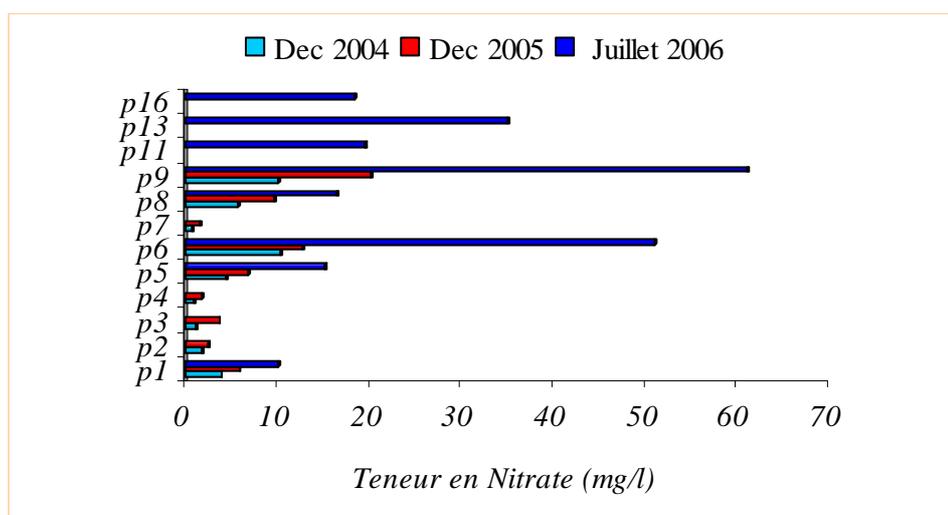
#### 2.1.2. Période des hautes eaux

Généralement, les concentrations en nitrates au mois de février sont très faibles par rapport aux normes admises (Fig. 60). Cependant, il faut noter une augmentation des teneurs en nitrates depuis le début des prélèvements en Décembre 2004 jusqu'au mois de Février 2007.

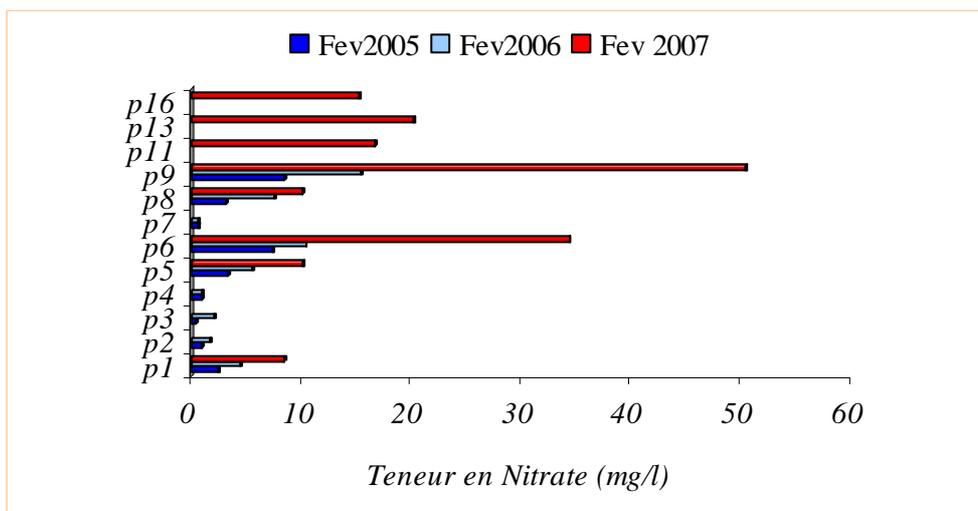
D'après ces résultats, on peut dire que les nitrates présents dans le sol proviennent soit de l'épandage d'engrais minéraux ou des fermes, soit de la dégradation bactérienne des substances organiques. Un sol riche en racines et couvert de végétation retient mieux les nitrates.

Le lessivage des nitrates est donc moins marqué sous une prairie que sous des grandes cultures. La période de l'épandage s'avère tout aussi important que la couverture végétale.

Le risque de lessivage est le plus élevé si les engrais sont épandus en automne (avant la période de repos de la végétation) ou avant le début de la période de végétation au printemps. Une teneur élevée en nitrates dans l'eau résulte donc d'une exploitation agricole du sol inadaptée aux conditions locales. Ainsi au volume important des rejets urbain et au faible apports météorique.



**Figure 59** : Evolution spatio-temporelle des teneurs en Nitrates (Période de basses eaux)

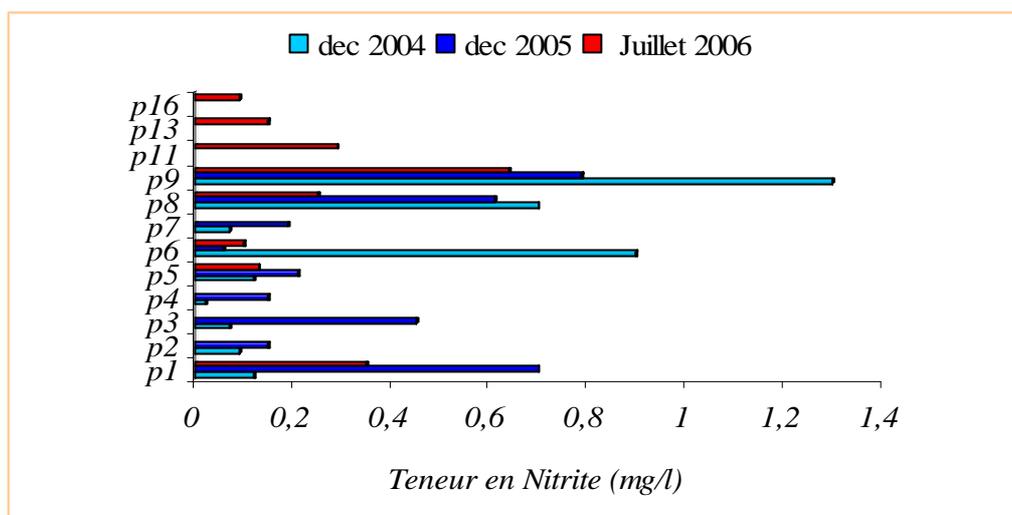


**Figure 60** : Evolution spatio-temporelle des teneurs en Nitrates (Période de hautes eaux)

## 2.2. Les Nitrites

### 2.2.1. Période des basses eaux

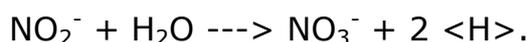
Les nitrites  $\text{NO}_2^-$  sont extrêmement toxiques et leur toxicité ne dépend pas du pH du milieu. Les nitrites proviennent en générale de l'utilisation des engrais agricoles. Dans la figure 61, on remarque que les teneurs en nitrites pendant les trois années sont supérieures à la norme fixée par l'OMS. Ceci est dû à l'existence des terrains agricoles, d'où l'infiltration des différents engrais dans la nappe aquifère.



**Figure 61** : Evolution spatio-temporelle des teneurs en Nitrites (Période de basses eaux)

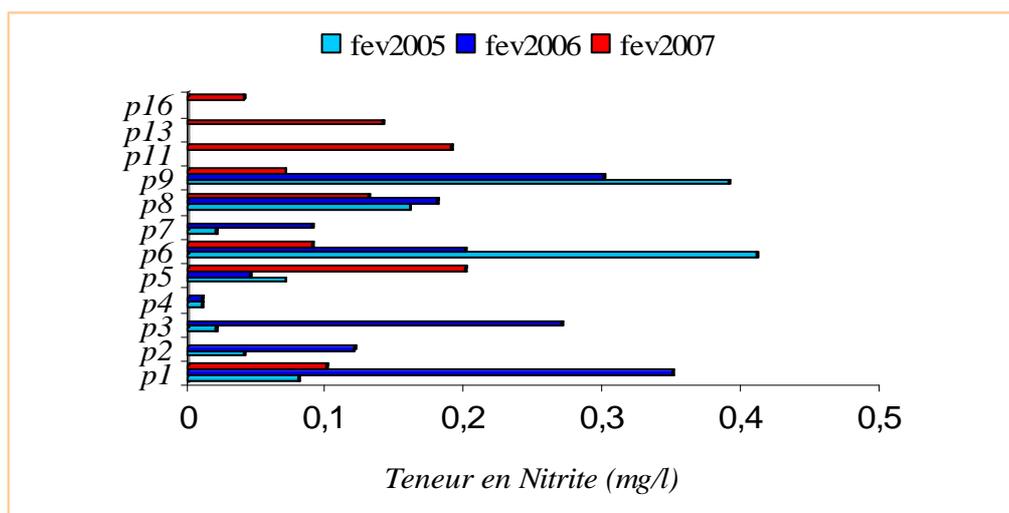
### 2.2.2. Période des Hautes eaux

D'après la figure 62, on constate que les teneurs en Nitrites dépassent largement la norme admise, malgré le volume d'eau considérable pendant la période de crue. Ces teneurs peuvent être diminuées dans certains endroits où le nitrite est oxydé en nitrate par les bactéries dites nitrifiantes en présence de l'eau. C'est le phénomène de *la nitrification*.



➤ Donc, ces fortes teneurs peuvent être attribuées à l'activité biologique, l'inexistence d'un réseau d'évacuation des eaux usées et beaucoup plus la vocation agricole de la région d'étude.

➤ Généralement le nitrite se trouve sous état instable, il se transforme rapidement en nitrate par l'intermédiaire des bactéries nitrifiantes.



**Figure 62 :** Evolution spatio-temporelle des teneurs en Nitrites (Période des hautes eaux)

### 2.3. L'Ammonium

L'ammonium des eaux peut avoir pour origine la matière végétale des cours d'eau. La matière organique animal ou humaine, les rejets industriels et les engrais. Il n'est pas directement toxique pour les communautés animales et végétales des milieux aquatiques. Mais par des réactions chimiques dans l'eau.

Les résultats obtenus pendant les deux période (Figures 63 et 64) et selon les trois années, montrent des concentrations inférieure aux normes admises par l'OMS (0.5mg/l) à cause de la dilution par l'apport météorique où on note un teneur maximum en décembre 2004 (2.4mg/l) et faible teneur marquée en février 2005 (1.51mg/l).

La diminution de la teneur en ammonium est du à La **nitrification** est la conversion de l'ammonium en nitrate qui est réalisées par des bactéries spécialisées.

Cette réaction se fait en deux étapes et on ne connaît pas de bactérie capable d'oxyder directement l'ammoniaque en nitrate. L'ammonium est oxydé en nitrite par les bactéries dites nitreuses,

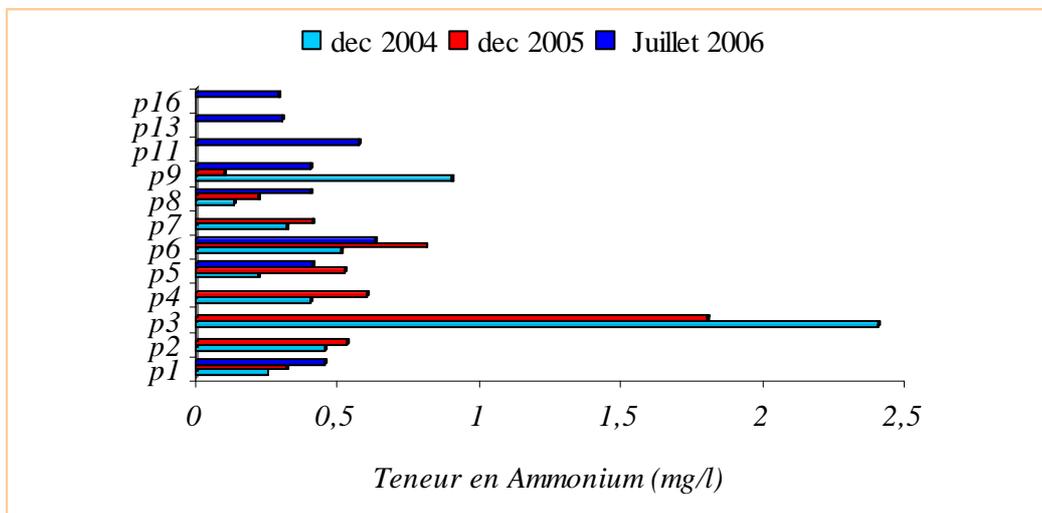


et le nitrite est oxydé en nitrate par les bactéries dites nitriques.

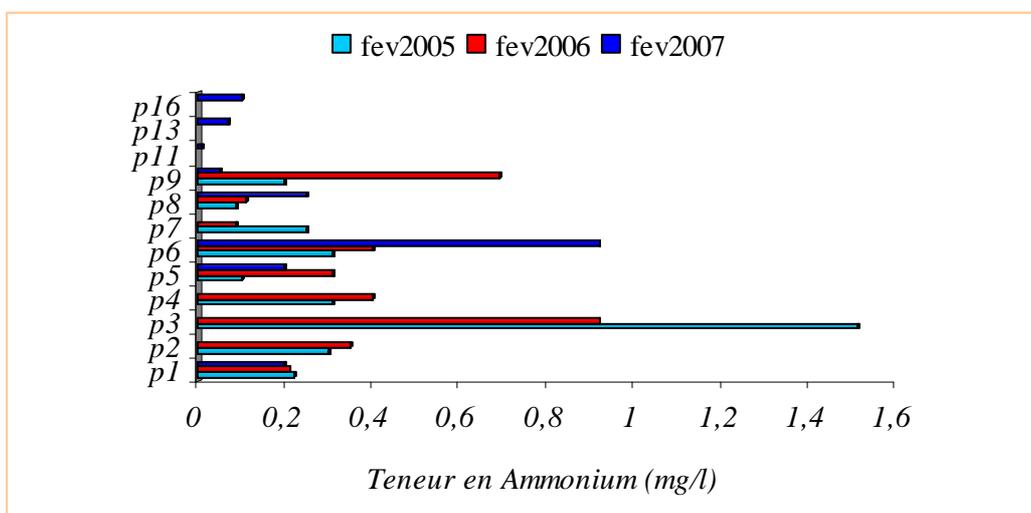


La nitrification ne peut se faire qu'en présence d'oxygène, qui est requis pour "brûler" les <H> et qui permet finalement aux bactéries de récupérer de l'énergie.

Au niveau des puits P3, P6, P9, on note des teneurs dépassant largement la norme admise et cela peut être due à la dégradation de l'azote organique qui libère de l'ammonium, aussi les engrais et le volume important des rejets urbains.



**Figure 63 :** Evolution spatio-temporelle des teneurs en Ammonium (Période des basses eaux)



**Figure 64 :** Evolution spatio-temporelle des teneurs en Ammonium (Période de hautes eaux)

**3. Conclusion :**

A l'issue de la présente étude, la plaine d'El Asfour se caractérise par une pollution organique intense et qui évolue dans le temps, ce qui suggère deux origines, l'une agricole et l'autre urbaine.

Dans les analyses réalisées sur 16 puits de la nappe, on note des excès en nitrate et ammonium résultant d'une possible réduction des nitrates qui peut être attribuée à une activité biologique intense et l'absence par endroit de réseaux d'évacuation des eaux usées.

Enfin, à la lumière de ces informations, il s'avère que les eaux de la plaine d'El Asfour présentent par endroit un degré de pollution inquiétant qui suggère les recommandations suivantes :

- Protection des ressources en eau par la réalisation de périmètres de protection aux abords des puits et des forages.
- L'assainissement des eaux usées, afin d'éviter la contamination directe de la nappe.
- L'utilisation rationnelle des engrais chimiques.
- Le suivi du chimisme des eaux, peu permettre la prévention d'une éventuelle évolution de la pollution.

**CONCLUSION GÉNÉRALE  
ET  
RECOMMANDATIONS**

## **CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS**

A l'issue de la présente étude, la plaine d'El Asfour se caractérise par un climat de type méditerranéen, avec deux saisons bien distinctes, l'une, chaude et sèche et l'autre, froide et humide.

La géologie de la région est simple, dominée par des alluvions quaternaires qui constituent l'aquifère principal de la région. Ces dépôts alluvionnaires sont bordés par des formations de grès numidiens qui forment les crêtes entourant la plaine d'El Asfour.

Trois formations principales de lithologie différentes caractérisent la région :

- ➔ des Formations perméables (dépôts alluvionnaires du quaternaire) qui constituent le siège des nappes aquifères.
- ➔ des formations imperméables des grès numidiens (Aquitaniens) donnent le siège d'alimentation des nappes par les flancs.
- ➔ enfin des formations imperméables (Argiles du Numidien), formant le substratum des aquifères.

La nappe aquifère constituée essentiellement de graviers et de sables, se présente comme étant libre (au Sud) sur les coupes hydrogéologiques. Elle devient captive ou semi-captive par endroit (au Nord) et n'est formée que de graviers.

L'impact de la pollution chimique et organique de l'Oued Bounamoussa sur la qualité des eaux superficielles de la nappe alluviale d'El Asfour (W. d'El Tarf) est évident, surtout que la région est à vocation agricole et reste une grande utilisatrice des eaux d'irrigation à partir du Bounamoussa, vulnérable à la pollution.

La partie géophysique confirme l'existence de formations aquifères, où la synthèse des résultats obtenus à partir des coupes géoélectriques et la topographie du tracé des différents horizons.

Le recouvrement alluvionnaire de la zone prospectée présente en général une épaisseur moyenne de l'ordre de dix à quinze mètres.

Les différentes formations aquifères dans la zone d'étude (graviers, galets, les lentilles sablo argileuses) constituent le matériel de remplissage de la nappe des graviers, leurs résistivités varient de 20-100 Ohms m. Ces formations affleurent dans la partie Sud, où la profondeur maximale du toit est de l'ordre de (7-10m) formant ainsi la nappe libre.

L'étude piézométrique montre que l'écoulement est dirigé du Nord-Est vers le Sud-Ouest dans la partie Nord, et un écoulement dirigé du Sud-Est vers le Nord-Ouest dans la partie Sud, conformément à la topographie de la région.

L'alimentation et le drainage de la nappe sont en étroite liaison avec l'Oued Bounamoussa., d'une part, et les précipitations, d'autre part.

L'étude hydroclimatologique montre un déficit agricole enregistré à partir du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre, ce qui correspond à la période des basses eaux et également la saison durant laquelle on irrigue. L'évapotranspiration atteint son maximum au mois de Juillet à la station de La Chaffia (214,533 mm) et à celle des Salines (158,044mm), période pendant laquelle, l'Oued Bounamoussa reçoit des lâchers du barrage.

Afin de rattraper ce déficit, les agriculteurs puisent de l'eau des Oueds souvent pollués et font contaminer non seulement leurs cultures, mais aussi les eaux superficielles ainsi que souterraines de la plaine.

Donc la connaissance de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation, est une étape très importante, dans l'étude de l'impact de cette pratique sur les eaux de la nappe alluviale d'El Asfour.

Les eaux d'irrigation, au niveau des seuils d'irrigation sont menacées en permanence par la pollution, étant donné que l'Oued Bounamoussa est un milieu récepteur de tous types de rejets déversés à l'état brut en absence de station d'épuration

Les analyses chimiques des eaux d'irrigation, au niveau des seuils d'irrigations ont montrées, que ces eaux sont de **forte salinité**, d'après le diagramme de Richards, les eaux des seuils d'irrigation (Maiz Bachir, Benaissa Ammar et Ramdani Nouar) sont de qualité admissible, en générale,

convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

Concernant la qualité bactériologique des eaux d'irrigation, et selon les recommandations microbiologiques de l'OMS pour les eaux usées épurées, les eaux d'irrigation aux niveau des seuils d'irrigation ne peuvent pas être utilisées pour l'irrigation des cultures *marâchères consommées crues*, cela avant et même après les lâchers du barrage de La Chaffia, à l'exception de la station de Benaissa Ammar au mois de Juillet.

D'après la réglementation californienne « Title 22 », concernant les eaux usées épurées utilisées pour l'irrigation, les eaux des seuils d'irrigation, ne peuvent être utilisées que pour l'irrigation *des arbres fruitiers et vignes*.

Selon Environmental Protection Agency (Etats-Unis), et l'Académie des sciences (1973), les eaux des seuils d'irrigation, autant que les eaux de surfaces, ne peuvent être utilisées pour l'irrigation, aussi d'après les recommandations canadiennes, pour la qualité des eaux d'irrigation, les eaux de l'Oued Bounamoussa au niveau des seuils ne sont pas conformes à ces normes, et par conséquent ne devraient pas être utilisées à cet usage.

Les lâchers du barrage de La Chaffia, arrivent à réduire la charge bactérienne (coliformes fécaux), au niveau des stations d'irrigation. Il serait donc, plus prudent d'effectuer ces lâchers avec le début de chaque saison d'irrigation.

Pour voir l'impact des eaux d'irrigation sur les eaux superficielles, on a comparé les teneurs en différents polluants dans les eaux d'irrigation et dans la nappe, les prélèvements se font durant la période d'irrigation.

Les analyses bactériologiques ont montrées que les puits dans la plupart située dans l'actuelle vallée de l'Oued Bounnamoussa, présentent une pollution fécale, à cause de la faible profondeur du niveau de l'eau de la nappe superficielle.

Pour les nitrates, les résultats obtenus montrent que les eaux de la nappe, pour la plupart des point prélevés, sont supérieures à la norme de

potabilité, comparées aux eaux d'irrigation, qui ont montrées de faibles teneurs en nitrates, ce qui confirme que l'origine des nitrates dans la nappe provient des engrais chimiques.

Pour les ortho phosphates, les eaux d'irrigation montrent des teneurs élevées, comparées à la norme des eaux de surface, en contre partie, les eaux de la nappe sont chargées en ortho phosphates et supérieures à la norme de potabilité. L'origine probable des ortho phosphates sont les engrais chimiques ainsi que l'infiltration des eaux d'irrigation.

De ce fait, il est impératif de pousser la recherche dans ce sens et de multiplier les analyses pour connaître les origines de la contamination des eaux de la plaine sous l'effet de l'impact des eaux de l'Oued Bounamoussa.

Enfin, à la lumière de ces informations il s'avère que les eaux de la plaine d'El Asfour présentent par endroit un degré de pollution inquiétant qui suggère les recommandations suivantes:

- Protection des ressources en eau par la réalisation de périmètres de protection aux abords des puits et des forages.
- L'assainissement des eaux usées, afin d'éviter la contamination directe de la nappe.
- L'utilisation rationnelle des engrais chimiques.
- Le suivi du chimisme des eaux, afin de prévenir d'une éventuelle évolution de la pollution.

**RÉFÉRENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**ABBES, M. (2007) :** Etude géophysique de la région BORDJ-SABATH-AIN REGADA, wilaya de Guelma (Essai de synthèse). Mémoire d'ingénieur .Université d'Annaba, 51p.

**ASTIER, J.L. (1971) :** « Géophysique appliquée à l'hydrogéologie » Edition –Madou – Paris.

**BAHLOUL, S. & SAIFI, A. (1989):** "Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de l'aquifère de Annaba". Mém. D'ing. IST, Univ. Annaba.

**BENRABAA, .K, & BOULGUERAGUER, Z. (2006) :** Etude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine d'El Asfour, W.Tarf.70p. Mém. D'ing. IST, Univ. Annaba.

**BENYOUCEF, S. & SEBTI, S. (2002):** "Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique des eaux de la plaine d'El Tarf. Mém. D'ing. IST, Univ. Annaba.

**BOUDJI, F. & MIZI, S. (1988):** "Approche à l'étude hydrogéologique de la plaine alluviale d'El Asfour. W. Tarf. Mém. D'ing. IST, Univ. Annaba.

**BOULAHIA F. (2004):** "Contribution à l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la plaine de Collo. W de Skikda". Mém. D'ing. Univ. Annaba.

**BOUMEDIRI, L. & CHADLIA, M. (2001):** "Impact des rejets de la levurerie de Bouchegouf sur l'altération de la qualité de l'eau". Mém. D'ing. IST, Univ Annaba.

**BOUNAB, S. (2006) :** Etat actuel des ressources en eau dans les wilayates d'Annaba-El Taref (Essai de synthèse). Bilan-qualité-perspective. Mémoire de Magister, Université d'Annaba, 179p.

**CABRIDENC, R. (1977) :** Les tests biologiques de laboratoire permettant l'évaluation des effets des substances chimiques dans l'environnement. In l'Eau, la Recherche, l'Environnement, journées de Montpellier, pp. 243-276. Collection Recherche Environnement n°8, documentation française.

**CABRIDENC, R. (1979) :** Les indicateurs de toxicité. In l'Eau, la Recherche, l'Environnement, journées de Limoges, pp. 103-121.

**CHAFFAI, H., DJABRI, L. & LAMROUS, S. (2005)** : Réserves hydriques de la Wilaya de Annaba. Inventaire, évaluation et besoins futurs en ressources en eaux. Larhyss Journal N° 4.

**CHAFFAI, H., RAZACK, M. & DROGUE, C. (1992)**: Application de l'Analyse en Composantes Principales [ACP] au système aquifère de Chéria [Algérie]. **Colloque International** : Hydrogéologie des milieux discontinus sous climat aride, 22-25 Avril 1992, Marrakech, Maroc. [Revue]

**CHAPELLIER, D. (1988)** : « De l'importance des cartes de résistivité » Eclogue géol.Melv .vol 74.3 pp 651-650.

**CHARLOTTE MARTIN (2004)**: "Mécanismes hydrologiques et hydrochimiques impliqués dans les variations saisonnières des teneurs en nitrates dans les bassins versants agricoles". (Thèse de doctorat. Univ. Rennes 1, France).

**CAHIERS DE L'AGENCE (2000)** : Cahier N°4 de Septembre, Bassin des côtiers constantinois, 75p.

**CASTANY, G. (1982)**: Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Ed. Dunod, 263 p.

**CASTANY, G. & MARGAT, J. (1977)**: Dictionnaire français d'hydrogéologie. Ed. BRGM, Orléans, 250 p.

**C. Meyer de Stadelhofen (1991)** : Application de la géophysique aux recherches d'eau. Edition Technique et documentation. LAVOISIER – Paris-Cedex 08.

**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 .Thèse de doctorat en hydrogéologie et environnement .Université de franche Compté, France. 235p.

**DERRADJI, F., KHERICI, N., ROMEO, M. & CARUBA, R. (2004)** : Aptitude des eaux de la vallée de la Seybouse à l'irrigation (Nord-Est algérien). Sécheresse n°4, vol. 15, 8p.

**DERRADJI. F & al, 2007** : Impact de la pollution organique sur la qualité des eaux superficielles dans le Nord-Est algérien. Sécheresse 18 (1) : 23-7.

**DJABRI, L. (1996)** : Mécanisme de pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse : Origine géologique, industrielles, agricoles et urbaines, thèse de doctorat d'état, Université d'Annaba, 259p.

**DJABRI, L., HANI, A., GUERFIA, S., SOUAG, M. & MANIA, J. (2001)**: La méthode DRASTIC, un moyen moderne pour l'étude de la vulnérabilité des nappes. Application aux nappes superficielles Guelma-Boucheougouf-Annaba. *Revue EDIL Inf-EAU* n°27, pp 4-9.

**DJABRI L., A. HANI, D. MESSADI & J. MUDRY (2001)**: Mise en évidence du processus de salinité des eaux superficielles. Vérification par les ACP dans le secteur Annaba-Boucheougouf-Guelma. *Tribune de l'eau*, vol. 54 - N° 610/2. pp: 29-43.

**DJABRI L., R. LAOUAR, A. HANI, J. MANIA & J. MUDRY, 2003A**. The origin of water salinity on the Annaba coast (NE Algeria). *IAHS Publ.* No 280. pp. 229-235

**DJABRI L., A. HANI, R. LAOUAR, J. MANIA, J. MUDRY & A. LOUHI, (2003)**: Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, north-eastern Algeria. *Environmental Geology*, vol 44, no 6. pp : 738-744 .

**DJABRI L., MANIA J., HANI A. & MESSADI D. (1997)** : Aptitude pour l'irrigation des eaux de la vallée de la Seybouse (régions de Guelma, Boucheougouf et Annaba ; Est Algérien). *Revue hydrogeologia* (Espagne), 14: 77-91,1997.

**DJABRI L., HANI A., MANIA J. & MUDRY J. (2000)** : Conséquences des pratiques agricoles sur la qualité des eaux du bassin de la Seybouse (Est Algérien). Actes du colloque « Eaux souterraines en région agricole », ESRA'2000, S3 - 39-42. Poitiers, Septembre 2000.

**DJAMAI, R. (1993)** : Contribution à l'étude de la salinité des sols et des eaux du lac Fetzara (Annaba). Mémoire Magister, INA. Alger.

**FABY, J.A. & BRISSAUD, F. (2000)** : Utilisation des eaux usées épurées en irrigation.

**GAUD, B. (1975)**: Etude hydrogéologique du système aquifère Annaba-Bouteldja. Synthèse des connaissances et recherche des conditions de modélisation. Rapport ANRH, Annaba, 2 vol., 10 planches, 230 p.

**HILLY, J. (1963):** Etude géologique du Massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est – Constantinois). Thèse, Fac. Sciences Nancy 1957, n° 125, 408 p.

**HOWELL, B.F. (1969) :** Introduction à la géophysique, (avec une présentation et des notes complémentaires par H. TAZIFF). Edition Masson & Cie, Paris.

**JOLEAUD, L. (1936):** Etude géologique de la région de Annaba et de la Calle. Bull. Serv. Carte Géol. Algérie, 2<sup>ème</sup> série, n° 12, 200 p.

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

**KABOUR ABDESSELAM (2004):** "Contribution à l'étude du bassin versant de Chéria (Est Algérien) et essai de modélisation de l'aquifère de la région sud". Mémoire de Magister, Département d'Hydraulique, Batna.

**KARDACHE, R. (1984):** Approche hydrogéologique de la plaine alluviale de l'Oued Boudouaou. Essai de synthèse. Rapport de DEA, USTL, Montpellier II, 76 p.

**KHERICI, N, (1985):** Aquifères sableux de bords de mer. Hydrodynamique et hydrochimie. Exemple de la nappe de Bouteldja (Nord-Est Algérien). Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, USTL, Montpellier II, 202 p.

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

**LASFARGUES, P. (1957) :** Prospection électrique par courants continus. Masson & Cie Editions. Paris VI.

**LEGRAND, L. et G. POIRIER (1976) :** Chimie des eaux naturelles. Eyrolles.

**MALLEM A. (2006) :** l'impact des lâchers du barrage de Bouhamadne sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse. Mém. Ing. Dpt. Géologie, Univ. Annaba (Données source : ANRH, DHW, ANB, ABH et ONIT Guelma).

**MANAHAN, S. E. (1979) :** Environmental Chemistry. Willard Grant Press, Boston, 3<sup>ème</sup> édition.

**MARIOTTI, A. (1994) :** Dénitrification in situ dans les eaux souterraines, processus naturels ou provoqués. Revue Hydrogéologie, n° 3, pp. 43-68.

**MARRE, A. (1980) :** Le tell oriental Algérien, du Collo a la frontière tunisienne. ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE, 624 p.

**MECHLER, P. (1982):** Les méthodes de la géophysique. Ed. Dunod, 200 p.

**MOUASSA, S. (2006) :** Impact du périmètre d'irrigation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale de Guelma et sur les sols. Mémoire de Magister. Université d'Annaba, 158p.

**NOUACER, R., HANI, A., DJABRI, L., MAJOUR, H. & CHAFFAI, H. (2004):** Vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvial de Bouchegouf. Détermination des périmètres de protection des ouvrages de captage. **Colloque International "Terre et Eau"**. 4, 5 et 6 Décembre 2004, **Annaba, Algérie**. [Proceeding]

**ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE (1993):** Directives de qualité pour l'eau de boisson. Recommandations de l'OMS. 2<sup>ème</sup> édition. Genève.

**PEGUY, C.P. (1961):** Précis de climatologie. Ed. Masson et Cie, 343 p.

**PIERRE CHEVALIER (2003) :** Les membres du groupe scientifique sur l'eau de l'Institut national de la santé publique du Québec. Coliformes fécaux, 3p.

**RAPPORT DE STAGE (2004-2006) :** Contribution de la géophysique à l'étude hydrogéologique de la plaine d'El Asfour. Département de Géologie, Univ. Annaba, 65p.

**RODIER, J. (1996) :** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8e édition Dunod, Paris, France.

**ROUABHIA, A. (2001):** Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine d'El Ma Labiod (Algérie). Mémoire de Magister, Université de Annaba, 80p.

**SALMI .S & ZENATI .W (2003):** "Contribution au développement agricole dans une commune rurale, cas de la commune d'El Asfour (W.Tarf). Mém. D'ing., IST,Univ. Annaba.

**SCHÖLLER, H. (1962):** Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, Exploitation et Evaluation des Ressources. Ed. Masson et C<sup>ie</sup>, 642 p.

**SCHÖLLER, H. (1955):** Essai de la qualité chimique de l'eau destinée à l'alimentation de l'homme dans les pays arides. Revue Terres et Eaux, Suppl. Sc. Alger, n° 24, pp. 4-11.

**SCHÖLLER, H. (1948):** Les modifications de la composition chimique de l'eau dans une même nappe. Les variations de la composition chimique de l'eau dans les nappes souterraines. Extrait des procès verbaux des séances de l'assemblée générale d'Oslo de l'union géodésique et géophysique internationale.

**SHERIFF, P. (1989):** Geophysicale Méthode. Hall. Moscow state University Geological Faculty DEPT- of Geophysics IPI2 Win v. 2.1 IPI – RES2, IPI-RES3: Interprétation of resistivity data, files for IPI2win program.

**TELEFORD, W.M. & AL (1975) :** Prospection géophysique Tome 3. (Prospection électrique ...). Cambridge University Press.

**UNETZ, G. (1996):** Principale of direct current Resistivity Prospecting-Bruder Brontrager, Berlin.

**VELLUCCI, B. (1984):** Les méthodes statistiques utilisées en hydrochimie, synthèse bibliographique, application à l'étude de la source thermominérale d'Allevard. Rapport de DEA, USTL, Montpellier II, 127 p.

**VILLA, J.M. (1980):** La chaîne alpine d'Algérie Orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse Sciences, Pierre et Marie Curie, Paris VI, 450 p.

**WILLIAMS, J. S., NEIL, C. D. & WEDDLE, T. K. (1987):** Influence of agricultural practices on groundwater quality in Maine. In Proc. Fourth Annual Eastern Regional Groundwater Conf., Burlington, Vermont. National Water Well Association, Dublin, OH. p. 329-341.

**ZAHY, F. & BOUBELLI, S. (2004) :** « Etude et mise en évidence d'une pollution des eaux de la nappe alluviale de la plaine d'el Asfour (w.Tarf) ». (Mém. D'ing, IST, Univ Annaba).

**ZARAIBI, K. & KLAMADJI, A. (2002):** "Caractéristiques des eaux de la plaine de Annaba". (Mém. D'ing, IST, Univ Annaba).

**ZENATI, N.E. (1999) :** Relation nappe-lac, confirmation par l'hydrochimie, cas de la nappe superficielle de la plaine ouest d'El Hadjar lac Fetzara ; nord-est Algérien. Mémoire de Magister. Université d'Annaba. 148p.

**ZOUGARI, H. (2004):** "Ressources et qualité des eaux dans le bassin versant de la Mafragh". Mém. D'ing, IST, Univ. Annaba.

**Cartes utilisées:**

- Carte topographique "Mondovi":1/25000 (N°:3-4) et (N°:7-8).
- Carte topographique "Mondovi" : 1/50000.