وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY

UIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA

جامعة باجي مختار – عنابة

Année 2007

Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie

MEMOIRE

En Vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

EN HYDROGEOLOGIE

THEME

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET ISOTOPIQUES DES EAUX SOUTERRAINES DANS LA REGION DE GUELMA (NE algérien)

Option : Hydrochimie

Présenté par : Mr BENMARCE Kaddour

Directeur du mémoire : R. LAOUAR MC Université Badji Mokhtar- Annaba

Devant le jury:

Président:	**-DJABRI L.**	**Professeur Université BADJI Mokhtar Annaba**
Examinateurs:	**-CHAAB S.**	**MC. Université BADJI Mokhtar Annaba**
	-HANI A.	**MC. Université BADJI Mokhtar Annaba**

Remerciements

Je tiens à exprimer ma grande reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont permis d'élaborer ce travail.

Je remercie tout particulièrement, Messieurs les membres du jury qui ont accepté de lire et de critiquer objectivement mon travail :

- Monsieur le Professeur Larbi DJABRI de l'université de BADJI Mokhtar d'Annaba qui est à l'origine du choix de ce thème de recherche.
- Monsieur Rabah LAOUAR, Maitre de conférence à l'université de BADJI Mokhtar d'Annaba, de m'avoir encadré et suivi de près avec sa rigueur scientifique.
- Monsieur : Azzedine HANI, Maitre de conférence à l'université de BADJI Mokhtar d'Annaba.
- Monsieur Salah CHAAB, Maitre de conférence à l'université de BADJI Mokhtar d'Annaba qui n'a ménagé aucun effort pour me faire partager son savoir faire en matière de manipulation de logiciels.

Mes remerciements aux enseignants du département de géologie et amis de toujours pour leur soutien moral, pour leurs conseils et orientations pendant toute la période de mon travail :

- Monsieur Abdelmadjid CHOUABBI, docteur d'état à l'université de BADJI Mokhtar d'Annaba.
- Monsieur Bachir SAAIDIA, docteur d'état à l'université de BADJI Mokhtar d'Annaba.

Mes remerciements vont également à mes collègues de travail à la D.H.W de Guelma.

Mes remerciements les plus sincères à tous les techniciens des différents laboratoires pour bien avoir voulu mettre à ma disposition tout le matériel nécessaire en réactifs et instruments pour les analyses physico chimiques dans les meilleures conditions :

- Monsieur le Professeur Mohamed GUENFOUD, directeur de laboratoire au département de génie civil de l'université du 8 Mai 45, de Guelma.
- Monsieur Amar NEMOUCHI, ingénieur de laboratoire au département de chimie de l'université du 8 Mai 45, de Guelma.
- Monsieur Salah AMRAOUI et son équipe de techniciens de la station de traitement de Hammam Débagh, Guelma.

خلاصـة:

تنتمي دائرة الدراسة إلى المناطق الخارجية لسلسلة جبال المغربية إلى الجهة الشرقية للجزائر. هي عبارة عن منخفض (منخفض قالمة) مملوء بالطمي البليو (كاتارنار و تحيط به أحواض متعددة من أصول مختلفة و تواريخ(Paléogéographique) متميزة. وتكون هذه الأحواض الجبال الحالية (ماونة، هوارة و دباغ) تتمركز المياه الجوفية للمنطقة في ثلاثة أحواض تنتمي إلى طبقات جيولوجية و أعمار مختلفة هي عبارة عن حوض الغرين (الطمي) و ينتمي إلى (Mio-Plio-Quaternaire) لوادي سيبوس، و حوض الكارستيكي المتمثل في الكلس النيريتيكي و السنيوني (منطقة هيليوبوليس) و كذا حوض التكوينات الفحمية المنتمية إلى الليبوسان (رأس العقبة و سلاوة). إن الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تصنيف المياه الجوفية للمنخفض.

و قد تم وضع عشرة (10) ينابيع ملتقطة موجهة للإستهلاك البشري قيد الدراسة، قصد تحديد مختلف العناصر الفيزايائية، و كذا معايرة العناصر الكيميائية الأساسية، لقد تم إستنباط أساليب التحاليل من الطرق الموحدة، و النتائج تم مقارنتها مع كل العناصر الخاضعة للمقاييس أو المراجع. إن متابعة التغيرات الشهرية للخاصيات الفيزيائية و الكيمائية للمياه حسب منسوب الينابيع، بدأ من أدني إلى أعلى المياه.

إن تفسير مختلف نتائج التحاليل سمح بتحديد الصور الكيميائية و تصنيف المياه الجوفية داخل الأحواض الثلاثية كما يلي:

1-على مستوى حوض الطمي، فإن المادة المارنية (Marneux) و عدسات الغضار للطبقات الثلاثة (العليا، الوسطى و الدنيا) يمنح للمياه ميزة كيميائية كلوريرية كلسية بالنسبة للجهة الشرقية لوادي زينبة ، أما (Travertins) المتواجدة في الجنوب و التي تمول الحوض، فإنها تمنح للمياه الجارية و التي تنبع في الجهة الغربية لنفس الوادي على مستوى الطبقة العليا،ميزة كلسية متفتحة.

2- بالنسبة لحوض هيليوبولس، فإن الكلس النيرتيكي و السيوني هما أصل تميز المياه الجوفية لتأخذ صفة فحمات الكلس.*

3- بالنسبة لحوض (رأس العقبة -سلاوة) فإن التكوينات الفحمية للإيوسان تمنح للمياه صفة فحمات الكلس، (ii) استكشاف بأن ذوبان المكونات الكيميائية للمياه الجوفية تتزايد بإرتفاع منسوب المياه، (iii) إثبات هذا التفسير بواسطة القيم (isotopique) للأكسجين و الهيدروجين للماء.

و أخيرا ملاحظة بأن محيط السقي و المنطقة التي تحتوي على كميات كبيرة من النيترات من أصل فلاحي هي دليل على التلوث.

Abstract

The study region is a part of the external zones of the Maghrebide Chain, east of Algeria. It is a depression (depression of Guelma) filled of plio-quaternary alluviums and surrounded by various aquifers of different origins and paleogeographic history. These aquifers form the actual mountains of Mahouna, Houara and Débar. The underground water of the region is concentrated in three aquifers of different lithology and age. We have the alluvial aquifer of the Mio-Plio-Quaternary formation of the Seybouse valley, the karstic aquifer of the Neritic and Sénonian limestone (region of Heliopolis) and the aquifers of the Eocene carbonate formations (Ras el Agba-Sellaoua). The main objective of this study is to characterize the underground water in the depression.

Ten (10) springs captured of daily use were the subject of analyses for the determination of the different physical parameters and for the dosage of the major chemical elements. The procedures of analyses have been deducted from the standard methods of analyses and the results have been compared to the set of parameters being the subject of norms or references. The monthly variations of the physico-chemical characteristics of water according to the discharges of the springs started from low to high water flows.

The interpretation of the different results has permitted to (i) determine the chemical facies and to classify the underground water in the three aquifers as follows: (1) in the alluvial aquifer, the marly substratum and the clay lenses of the three terraces (high, middle and low) confer to water a chlorinated calcic chemical facies to the East of wadi Zimba and the travertins of the southern part supplying the aquifer confer to water that flows and emerges to the west of the same wadi in the high terrace, a calcic bicarbonated facies; (2) in the aquifer of heliopolis, the Neritic and Senonian limestones have a calcic carbonated underground water origin and (3) in the aquifer of Ras el agba-sellaoua, the Eocene carbonated formations assign to water a calcic bicarbonated facies, (ii) to note a dilution of the chemical composition of the underground water with the increase of discharge, (iii) to confirm this interpretation by the isotopic values of oxygen and hydrogen in water and finally to notice that the perimeter of irrigation is the zone where the high contents in nitrates of agricultural origin are indicators of pollution.

Résumé :

La région d'étude fait partie des zones externes de la Chaîne des Maghrébides de l'Algérie orientale. Il s'agit d'une dépression (dépression de Guelma) remplie d'alluvions plio-quaternaires et entourée de diverses nappes de différentes origines et d'histoires paléogéographiques distinctes. Ces nappes forment les actuelles montagnes (Mahouna,Houara et Débar. Les eaux souterraines de la région sont concentrées dans trois aquifères de lithologie et d'âge différents. Il s'agit de la nappe alluvionnaire du Mio-Plio-Quaternaire de la vallée de l'Oued Seybouse, de l'aquifère karstique des calcaires néritiques et Sénoniens (région d'Héliopolis) et de la nappe des formations carbonatées de l'Eocène (Ras–el agba-sellaoua). L'objectif principal de cette étude est de caractériser les eaux souterraines dans la dépression.

Dix (10) sources captées d'usage quotidien ont fait l'objet d'analyses pour la détermination des différents paramètres physiques et pour le dosage des éléments chimiques majeurs. Les procédures d'analyses ont été déduites des méthodes standard d'analyses et les résultats ont été comparés à l'ensemble des paramètres faisant l'objet de normes ou de références. Le suivi des variations mensuelles des caractéristiques physico-chimiques des eaux en fonction des débits des sources a débuté depuis les basses eaux jusqu'aux hautes eaux.

L'interprétation des différents résultats d'analyses a permis de (i) déterminer les faciès chimiques et classer les eaux souterraines dans les trois aquifères de la manière suivante : (1) dans la nappe alluvionnaire, le substratum marneux et les lentilles d'argiles des trois terrasses (haute, moyenne et basse) confèrent aux eaux un faciès chimique chloruré calcique à l'Est de oued Zimba et les travertins du sud alimentant la nappe, confèrent aux eaux qui coulent et émergent à l'Ouest du même oued dans la haute terrasse, un faciès bicarbonaté calcique, (2) dans l'aquifère d'Héliopolis, les calcaires néritiques et sénoniens sont à l'origine du faciès bicarbonaté calcique des eaux souterraines et (3) dans l'aquifère de Ras el Agba - Sellaoua, les formations carbonatées éocènes attribuent aux eaux un faciès bicarbonaté calcique, (ii) de constater une dilution de la composition chimique des eaux souterraines avec l'augmentation des débits, (iii) de confirmer cette interprétation par les valeurs isotopiques de l'oxygène et l'hydrogène de l'eau et enfin remarquer que le périmètre d'irrigation est la zone où les fortes teneurs en nitrates d'origine agricole sont indices de pollution.

Sommaire

	Page
Résumé	
CHAPITRE - I INTRODUCTION GENERALE	1-30
Avant propos	1-3
I.1. But de l'étude	4
I.1.1. Aperçu général sur la zone d'étude	4
I.1.2. Géomorphologie et réseau hydrographique	6
I.2. Analyses des données climatiques	8
I.2.1. Les précipitations	9
I.2.1.1. Variabilité des précipitations annuelles	9
I.2.1.2. Répartition des pluies mensuelles	11
I.2.1.3. Variabilité des précipitations mensuelles	13
I.2.2. Les températures	14
I.2.2.1. Les températures moyennes mensuelles	14
I.2.2.2. Les températures extrêmes	16
I.2.3. Le rythme climatique	17
I.2.4. L'humidité relative de l'air	20
I.2.5. Le vent	22
I.2.6. Bilan hydrique	23
I.2.6.1. Etablissement du bilan hydrique : Selon Thornthwaite	23
I.2.6.1.1. Calcul de l'évapotranspiration réelle (l'ETR)	25
I.2.6.1.2. Calcul de l'ETR : Selon Turc	28
I.2.6.1.3. Estimation du ruissellement	28
I 2.6.1.4. Estimation de l'infiltration	29
Conclusion	30
CHAPITRE - II HYDROGEOLOGIE	31-57
II.1. Cadre géologique : Introduction	31
II.1.1. Stratigraphie des différentes unités structurales.	31
II.1.1.1. Les formations récentes	33
II.1.1.1.1. Quaternaire	33
II.1.1.2. Le Mio - Pliocène	33

	Page
II.1.1.3. La nappe numidienne	34
II.1.1.4. La nappe des flyshs	34
II.1.1.4.1. Flysch de type Guerrouch :	34
II.1.1.5. La nappe ultra-tellienne	35
II.1.1.5.1. La nappe ultra-tellienne de Djebel Houara	35
II.1.1.5.2. La nappe ultra-tellienne de Djebal Bousbaa	35
II.1.1.6. La nappe tellienne	35
II.1.1.6.1. La nappe tellienne de Hammam Ouled Ali	36
II.1.1.6.2. La nappe tellienne de la région de Ras El Agba – Sellaoua Announa	36
II.1.1.7. La nappe néritique Constantinoise	36
II.1.1.7.1. A L'Est du Djebal Débar	36
II.1.1.7.2. A Hammam Ouled Ali	37
II.1.1.7.3. A Douar Bouzitoune – Héliopolis	37
II.1.1.7.4. A la station de Nador	37
II.1.2. Schéma Structural	38
II.1.2.1. La phase éocène dite atlasique	38
II.1.2.2. La phase miocène inférieure	38
II.1.2.3. La phase tectonique Post nappe	38
II. 1.3. Reconstitution paléographique	39
Conclusion	40
II.2. Cadre hydrogéologie	41
INTRODUCTION	41
II.2.1. La nappe alluvionnaire de Guelma	41
II.2.1.1. La basse terrasse (terrasse actuelle)	43
II.2.1.2. La moyenne terrasse	43
II.2.1.3. La haute terrasse	43
II.2.1.4. La piézomètrie	48-50
II.2.2. La nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis	51-54
II.2.3. La nappe des calcaires éocènes de Ras-El-Agba-Sellaoua	54-57
CONCLUSION	57

Page

CHAPITRE - III HYDROCHIMIE- 58-106
Introduction 58
III.1. Méthodes analytiques 61
III .2. Résultats des analyses 61
III.2.1. Bilan ionique 62
II.2.2. Représentation graphique 62
III.3. Interprétation des résultats 62
III.3.1. Paramètres physiques 62
III.3.1.1. La température de l'eau 62
III.3.1.2. Le pH 62
III.3.1.3. La conductivité électrique 63
a. La nappe alluvionnaire de Guelma 63
b. La nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis 66
c. La nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua 68
III .3.1.4. Le degré hydrothimètrique (TH) 70
a. La nappe alluvionnaire de Guelma 70
b. La nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis 70
c. La nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua 71
III.4.1.5. L'alcalinité 71
a. La nappe alluvionnaire de Guelma 71
b. La nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis 74
c. La nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua 76
III.3.1.6. La minéralisation totale 77
a. La nappe alluvionnaire de Guelma 77
b. La nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis 78
c. La nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua 78
III.3.2. Les paramètres chimiques 79
a. La nappe alluvionnaire de Guelma 79
b. La nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis 85
c. La nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua 88

III.3.2.2. Reconstitution en sels dissous 90
a. Dans la nappe alluvionnaire de Guelma 91
b. Dans la nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis 94
c. Dans les calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua 97
III .3.2.3. Etude des rapports caractéristiques 97
a. La nappe alluvionnaire de Guelma 97
b. La nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis 98
c. La nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua 98
III.3.3. Les caractéristiques isotopiques des eaux souterraines 99
III.3.3.1. Généralités sur les isotopes de l'eau 100
II.3.3.2. Echantillonnage 104
III.3.3.3. Méthodologie 104
III.3.3.4. Résultats et discussions 104-106

CHAPITRE – IV Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution 107-122
Introduction 107
IV.1. Les paramètres de vulnérabilité des nappes 107
IV.2. Les principaux types et origines de pollution 108
IV.2.1. Pollution domestique 108
IV.2.2. Pollution industrielle 109
IV.2.3. Pollution d'origine agricole 111
IV.3. Interprétation de la carte de pollution 114
a. Zone à haut risque de pollution 114
b. Zone à moyen risque de pollution 117
c. Zone à faible risque de pollution 119
IV.4.Protection de la ressource en eau 121
a. La nappe alluvionnaire de Guelma. 121
b. La nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Hélipolis. 122
c. La nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba- Sellaoua. 122
Conclusion *122*

CHAPITRE - V Conclusions générales 123-126

Liste des tableaux :

	Page
Chapitre I : Introduction Générale.	**10-28**
Tableau 1 : Coefficient pluviométrique station de Guelma (47 / 48 – 04 / 05).	10
Tableau 2 : Précipitations moyennes mensuelles station de Guelma (47/48 – 04/05).	11
Tableau 3: Distributions inter annuelles des précipitations moyennes mensuelles (année la plus sèche 72 / 73 et l'année la plus humide 02 / 03).	12
Tableau 4: Variabilité des précipitations moyennes mensuelles station de Guelma (47/ 48 – 04/05).	13
Tableau 5: Températures moyennes mensuelles station de Guelma (86 / 87 - 04/05).	15
Tableau 6: Températures extrême moyennes mensuelles station de Guelma (86 / 87- 04 / 05).	16
Tableau 7: Moyenne mensuelle des températures et des précipitations station de Guelma (86 / 87 – 04 / 05).	17
Tableau 8: Humidité relative moyenne mensuelle station de Guelma (90 / 2000).	21
Tableau 9: Indice thermique mensuel station de Guelma.	24
Tableau 10 : Coefficient d'ajustement mensuel station Guelma.	25
Tableau 11: Bilan hydrique selon ThornthWaite station de Guelma (86 / 87 – 04 / 05).	26
Tableau 12: Estimation de l'ETR.	28

Chapitre - II : Hydrogéologie.	**47-48**
Tableau 13: Valeurs des transmissivités dans la plaine de Guelma	47
Tableau 14: Piézomètre de la nappe alluvionnaire de Guelma (Décembre 2005)	48

Chapitre - III : Hydrochimie.	**60-80**
Tableau 15: Normes OMS de potabilité d'eau destinée à l'alimentation	60
Tableau 16: Relation entre minéralisation et conductivité	63
Tableau 17: Degré de potabilité selon la dureté, O.M.S , 1972.	70
Tableau 18: Degré de potabilité servant le résidu sec	77
Tableau 19: Les variations spatiales temporelles des faciès des eaux souterraines dans la région d'étude.	80

Chapitre IV : Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution	**109-112**
Tableau 20: Caractéristiques chimiques des eaux usées domestiques dans la région de Guelma (Juillet 1993).	109
Tableau 21: Caractéristiques chimiques des eaux industrielles dans la région de Guelma (Juillet 1993).	110
Tableau 22: Types et qualités des fertilisants au niveau de la nappe alluviales (05 / 06).	112
Tableau 23: Identification des engrais dans la zone d'étude.	112

Liste des figures : *Page*

Chapitre I : Introduction Générale	**5-27**
Fig. 1: Situation Géographique.	5
Fig. 2 : Réseau Hydrographique.	7
Fig. 3 : Géomorphologie de la zone d'étude.	8
Fig. 4 : Précipitations moyennes mensuelles (47 / 78- 04 / 05).	12
Fig. 5 : Distribution interannuelle des précipitations moyennes mensuelles.	13
Fig. 6 : Variation du coefficient de variabilité station de Guelma (47 / 48-04 / 05).	14
Fig. 7 : Températures moyennes mensuelles station de Guelma (86 / 87– 04 / 05).	15
Fig. 8 : Oscillations thermiques station de Guelma (86 / 87 – 04 / 05).	16
Fig. 9 : Diagramme ombro – thermique.	18
Fig.10 : Diagramme d'Emberger.	20
Fig.11: Variation des moyennes mensuelles de l'humidité relative station de Guelma (90/2000).	21
Fig.12 : Bilan hydrique selon THORNTWAITE station de Guelma (86 / 87 – 04 / 05).	26-27

Chapitre II : Hydrogéologie	**32-56**
Fig.13 : Extrait de la carte géologique de Constantine (500 000 ème).	32
Fig. 14 : Plan de position des coupes dans la nappe alluvionnaire de Guelma.	42
Fig. 15 : Coupe géoélectrique DD'.	42
Fig. 16 : Coupe géoélectrique EE'.	43
Fig. 17 : Coupe hydrogéologique BB'.	44
Fig. 18 : Coupe hydrogéologique AA'.	45
Fig. 19 : Coupe hydrogéologique CC'.	46
Fig. 20 : Carte piézomètrique de la nappe alluvionnire de Guelma (Décembre 2005).	50
Fig. 21 : Plan de position des coupes dans la région d'Héliopolis.	51
Fig. 22 : Coupe hydrogéologique GG'(El fedjoudj -Hammam Bradaa)	52
Fig. 23 : Coupe hydrogéologique HH' (Bouzitoune).	53
Fig. 24 : Plan de position des coupes dans la région de Ras El Agba.	55
Fig. 25 : Coupe hydrogéologique JJ' (Ras el Agba - Sellaoua).	56

Chapitre III : Hydrochimie	**59-105**
Fig. 26 : Plan de position des sources pour les analyses physico chimiques	59
Fig. 27 - 31 : Variation de la conductivité dans la plaine alluvionnaire de Guelma 05/06	64-66
Fig. 32 - 34 : Variation de la conductivité dans la nappe des calcaires néritique et sénonien Héliopolis (05/06).	67-68
Fig. 35 - 36 : Variation de la conductivité dans la nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba - Sellaoua(05/06).	69

Fig. 37 - 41 : Variation spatio temporelle de l'alcalinité dans la nappe alluvionnaire de Guelma.	72-74
Fig. 42 - 44 : Variation spatio temporelle de l'alcalinité dans les calcaires néritique et sénonien d'Hélioplis	75-76
Fig. 45 - 46 : Variation spatio temporelle de l'alcalinité dans les calcaires éocènes de Ras El Agba – Sellaoua.	76-77
Fig. 47 -51: Représentation graphique par le diagramme de Stiff des eaux dans la plaine alluvionnaire.	81-85
Fig. 52 - 54: Représentation graphique par le diagramme de Stiff des eaux dans la région d'Héliopolis.	86-88
Fig. 55 - 56: Représentation graphique par le diagramme de Stiff des eaux dans la région de Ras El Agba – Sellaoua.	89-90
Fig. 57: Plan de position des sources pour les analyses isotopiques.	103
Fig. 58: Représentation graphique des valeurs isotopiques dans la région d'étude.	105

Chapitre IV : Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution	**112-120**
Fig. 59: Plan d'occupation du sol dans la région d'étude.	113
Fig. 60 - 64: Répartition spatio temporelle des nitrates dans la plaine alluvionnaire (05/06)	115-117
Fig. 65 - 67: Répartition spatio temporelle des nitrates dans la région d'Héliopolis (05 / 06).	118-119
Fig. 68 - 69: Répartition spatio temporelle des nitrates dans la région de Ras El Agba – Sellaoua (05 / 06).	120

Introduction :

La composition chimique d'une eau souterraine est très variée. Dans une nappe, l'eau peut subir les effets de plusieurs facteurs (concentration, échanges de base, réduction), qui sont capables de modifier partiellement ses caractéristiques chimiques. Dans une même nappe on observe presque toujours des variations de l'amont vers l'aval. L'eau circule en lessivant les terrains encaissants et il peut y avoir, une augmentation de la concentration totale en sels dissous et des variations des valeurs des rapports caractéristiques qui peuvent nous renseigner sur l'origine des eaux (Detay, 1993).

Ce chapitre s'articule particulièrement autour des variations physico-chimiques spatio-temporellesmensuelles des eaux souterraines dans de la région de Guelma. Pour cela, dix (10) sources captées (fig.26) représentant au mieux les trois aquifères différents ont été sélectionnéesétudiés dans les précédents chapitres, afin de mettre en évidence l'influence de la nature lithologique de chaque aquifère sur la composition chimique des eaux. Ces sources sont toutes situées sur les principaux axes routiers et près des agglomérations. Elles sont donc à usage quotidien d'où la nécessité d'un suivi rigoureux de leur composition chimique et leur degré de potabilité ou de pollution.

Le travail consiste donc à suivre ces variations, depuis les basses eaux (Août /2005), jusqu'aux hautes eaux (Mai /2006). Dans cette approche, la compagne d'analyses a concerné les éléments majeurs des eaux pour l'étude des paramètres chimiques et certains paramètres physiques. Les résultats d'analyses sont comparés à l'ensemble des paramètres qui font l'objet de norme ou de référence (Tableau 151).

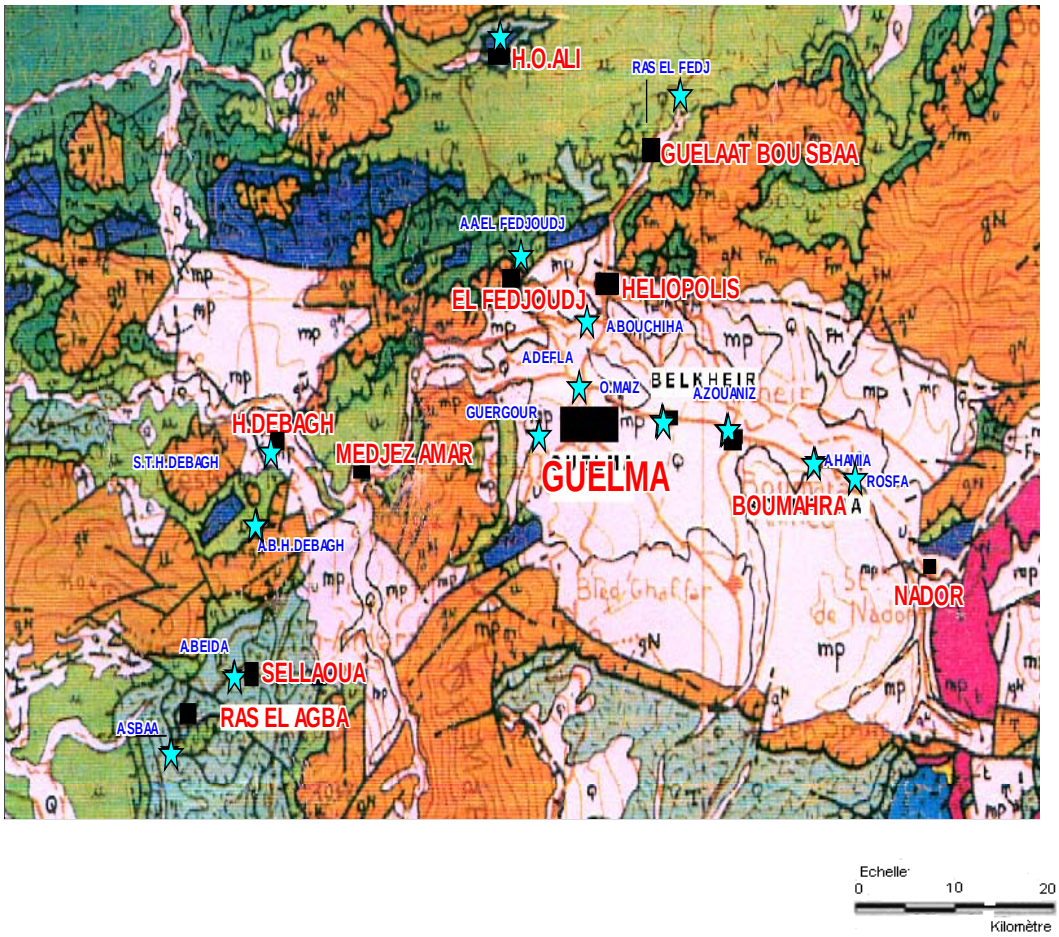


Fig. 26 : Plan de position des sources

Paramètre	Norme
Température°C	**25**
Potentiel d'hydrogène (PH)	6,5 - 8,5
Ca++ (mg/l)	-
Mg++ (mg/l)	50
N+ (mg/l)	150
K+ (mg/l)	12
TH (°F)	< 30
Cl- (mg/l)	200
SO4— (mg/l)	250
HCO3- (mg/l)	-
TAC (°F)	30
NO3- (mg/l)	50
Conductivité (µs/cm)	1000
T.D.S (mg/l)	-
Résidu Sec à 180°c (mg/l)	1500

Tableau 15 : Normes OMS de potabilité d'eau destinée à la consommation.

La marche à suivre consiste à vérifier la balance ionique pour chacune des analyses. L'interprétation des résultats de ces analyses a permis, (1) d'établir la formule ionique, (2) de déterminer le faciès chimique et (3) de déduire l'origine des eaux à partir des rapports caractéristiques. A l'issue de cette compagne d'analyses physico-chimiques, les zones à risque de pollution potentielle ont été localisées et identifiées en vue de l'établissement d'une carte de vulnérabilité des eaux souterraines.

Parmi les paramètres physico-chimiques généralement étudiés pour les eaux souterraines, on peut citer: la température, le pH, la conductivité, la dureté, l'alcalimétrie, les cathions (Ca^{2+} , Mg^{2+} Na+, K+) et les anions (HCO^{3-} , $SO4^{2-,}$ Cl^{-}, $NO3^{-}$) (Detay, 1996).

III .1-2. METHODES ANALYTIQUES :

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées dans les laboratoires de chimie et de l'hydraulique de l'université de Guelma, de la station de traitement Hammam Débagh et celui de l' A.N.R.H de constantine. Les procédures de dosage sont déduites des méthodes d'analyse standard (RODIER, 1996).

- **La conductivité** : elle est déterminée grâce à un conductimètre du type : INOLAB.WTW. qui donne directement la conductivité de l'échantillon à la température adoptée de 25 C° en µs/cm. Ou ms/cm.

- Le PH : il est déterminé grâce à un pH mètre du type :LH.Lectrod 667.413. qui donne directement la valeur du pH de l'échantillon.

- Le dureté : la dureté totale et magnésienne des échantillons sont déterminées par complexométrie par titrage avec le sel disodique de l'EDTA (Ethylen Diamine tétra- acétique).

- La dureté calcique : elle est déduite de la dureté totale et magnésienne.

-L'alcalinité : la mesure de l'alcalinité est basée sur la neutralisation d'un certain volume de l'échantillon par l'acide sulfirique (H_2SO_4 , N/50).

-**Les chlorures :** ils sont déterminés par la méthode de Mohr (Argentimétrie).

-Les sulfates : ils sont déterminés par précipitation par le chlorure de baryum. C'est la mesure turbidimétrique sur le trouble obtenu à λ = 435 nm à l'aide d'un spectromètre du type : SE 120. KARL KOLB.

-Les nitrates : Ils sont obtenus par méthode de réduction au cadmium. La lecture est automatique sur appareil auto-analyseur de type SKALAR à λ = 540 nm.

-Le sodium et le potassium : Ils sont déterminés par spectrophotomètre à émission de flamme sur appareil de type : JENWAY.PFP7.

III. 2. RESULTATS DES ANALYSES :

La fiabilité des résultats d'analyses des eaux est estimée par le biais d'un bilan ionique.

III.2.1. Bilan ionique :

Pour établir le bilan ionique, il suffit de calculer le nombre de milliéquivalents par litre pour chaque élément à partir des masses en mg/l. les valeurs obtenues représentent les quantités en réactions désignées par la lettre « r » placée devant le radical de chaque ion selon Stabler, (1911). Pour que la neutralité électrique de la solution soit respectée, la somme des cations doit être égale à la somme des anions. La différence entre les deux nombres ne doit pas dépasser 5 %, dans cette étude, seules les analyses dont le pourcentage ne dépasse pas l'erreur tolérée (5%) ont été retenues.

III.2.2. Représentation graphique :

Le diagramme de Stiff (Rodier ,1996) a été utilisé pour la représentation graphique des résultats d'analyses des eaux.

III.3. INTERPRETATION DES RESULTATS :

III.3.1. Paramètres physiques :

III.3.1.1. La température de l'eau :

La température des eaux a été mesurée in situ à l'aide d'une sonde thermique. Elle oscille entre 9 et 22 ºc pour les échantillons prélevés durant la compagne d'échantillonnage depuis les basses eaux jusqu'aux hautes eaux. Ces températures sont proches de la température ambiante, elles indiquent donc une origine peu profonde des eaux étudiées.

III.3.1.2. pH :

Le potentiel d'hydrogène (pH) est une mesure de l'activité des ions (H+) contenus dans l'eau : pH = [H+]

Toutes les eaux prélevées présentent un pH proche de la neutralité et compris entre 6,5 et 8,3.

Dans la nappe alluvionnaire: à l'Est de Oued Boussora, le pH est neutre à légèrement acide, en revanche dans sa partie Ouest , il est neutre à légèrement alcalin. Dans les aquifères d'Héliopolis et Ras El Agba : Le pH est neutre à alcalin.

III.3.1.3. La conductivité électrique :

La conductivité est essentiellement liée à la présence des espèces ioniques en solution. Elle permet une estimation de la minéralisation totale selon la relation décrite dans le tableau (16) (Detay, 1997).

Conductivité(µs/cm) à 20ºC	**Minéralisation**	**Qualité d'eau**
C< 100	Très faible	Eau excellente
100<C<200	Dite faible	Eau excellente
200<C< 400	Peu accentuée	Eau excellente
400<C< 600	Moyenne	Eau moyenne
600<C< 1000	Importante	Eau utilisable
> 1000	Excessive	Eau utilisable

Tableau 16 : Relation entre minéralisation et conductivité.

a. Dans la nappe alluvionnaire de Guelma :

Nous constatons une instabilité spatio-temporelle de la conductivité dans toute la nappe. En effet, l'irrigation par aspersion et l'écoulement souterrain du Sud vers le Nord imprègnent et lessivent les terrains traversés et transportent les sels qui s'y trouvent.

A partir du mois de février elle diminue jusqu'au mois de mars pour retrouver sa stabilité initiale sauf pour Ain Hamia à l'aval de la nappe dans l'actuelle terrasse.

Cette diminution est attribuée à la dilution de la minéralisation totale par les eaux d'infiltration. Mais dans tout l'aquifère, les eaux présentent d'une manière générale une conductivité supérieure à 1000 µs/cm donc une minéralisation excessive (fig.27 à 31).

Au Sud-Ouest de la nappe (Ain Guergour), la conductivité est stable durant toute l'année.

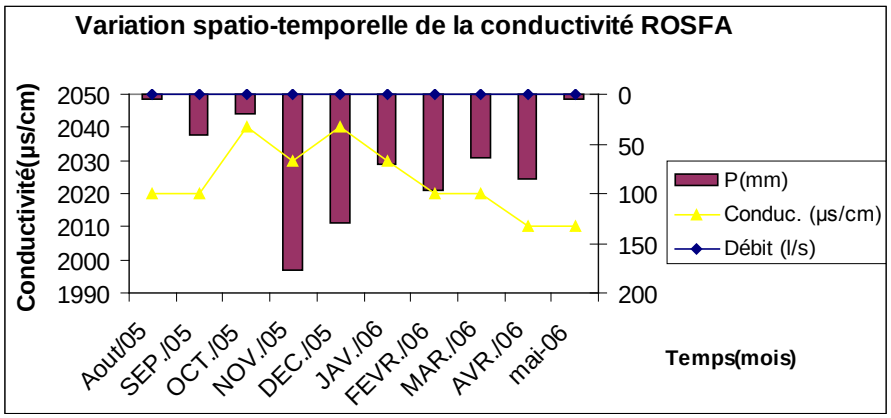


Fig. 27 : Variation spatio temporelle de la conductivité des eaux souterraines-Rosfa (2005/2006). (Q : 0.12 à 0.25 l/s.)

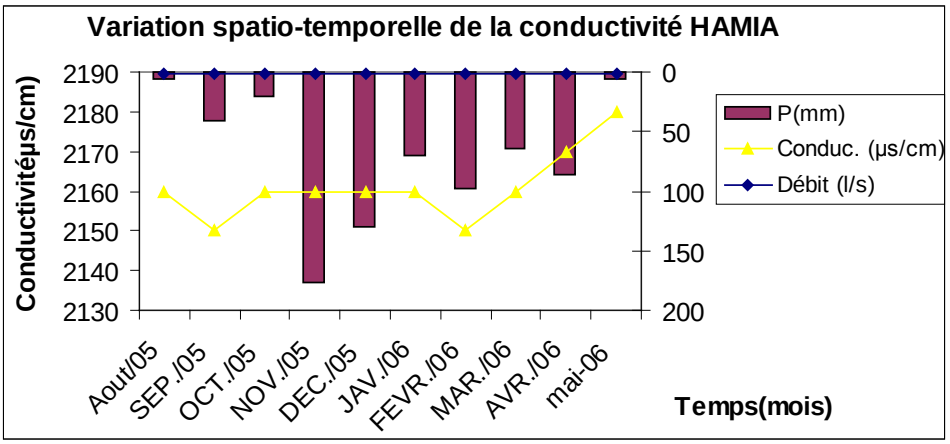


Fig. 28 : Variation spatio temporelle de la conductivité des eaux souterraines-Ain Hamia (2005/2006). (Q : 1 à 1.5 l/s).

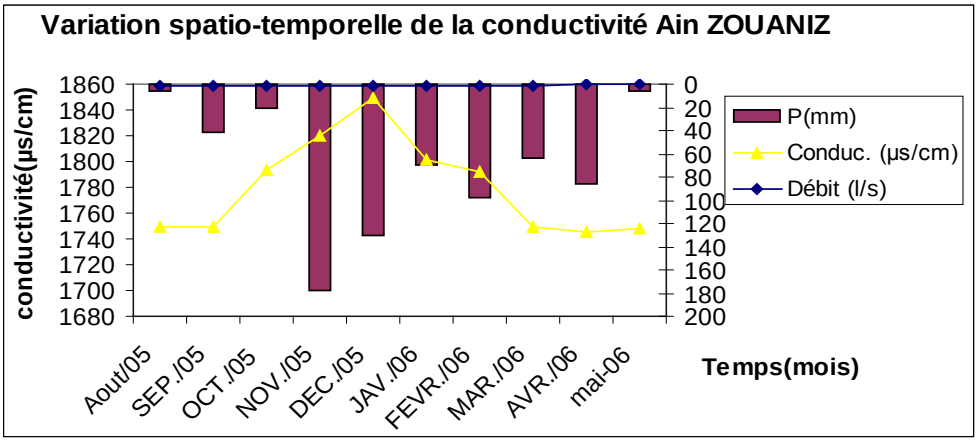


Fig.29 :Variation spatio temporelle de la conductivité des eaux souterraines-Zouaniz (2005/2006).(Q : 0.65 à 1.5 l/s).

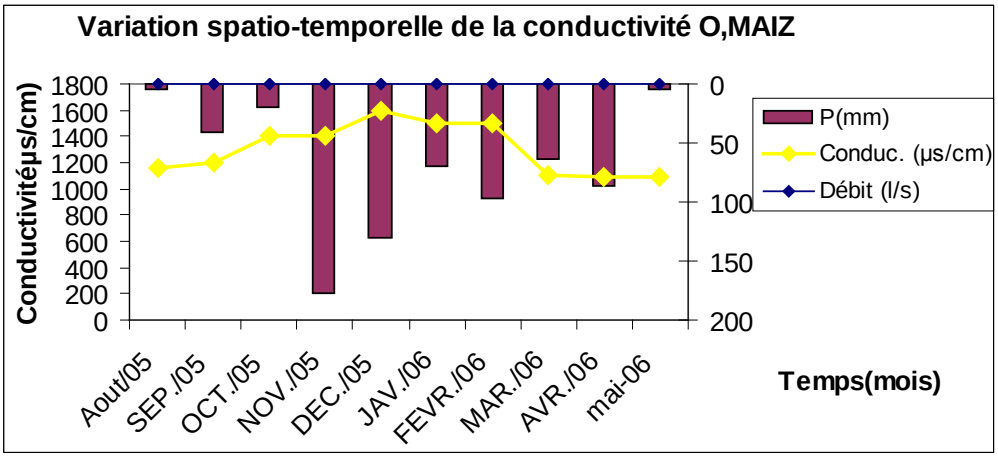


Fig. 30 : Variation spatio temporelle de la conductivité des eaux souterraines-O.Maiz (2005/2006). (Q : 0.16 à 0.20 l/s).

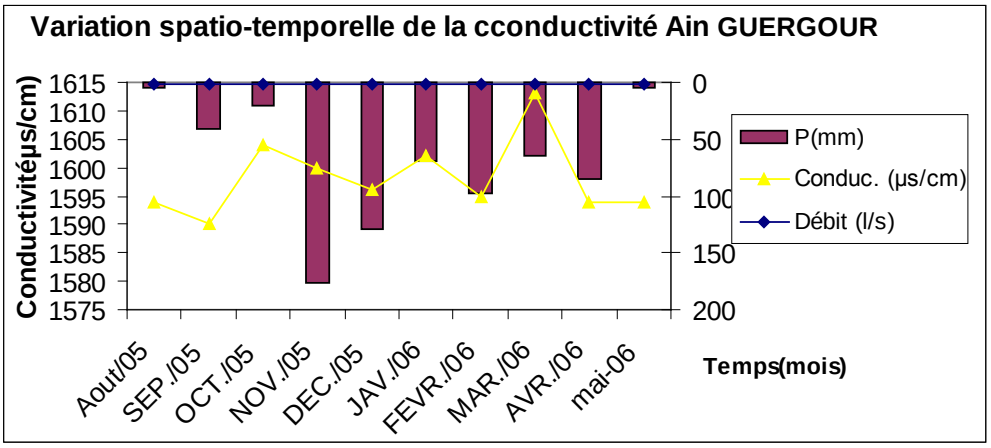


Fig. 31: Variation spatio temporelle de la conductivité des eaux souterraines-Guergour (2005/2006). (Q : 1.2 à 1.5 l/s).

b. Dans les calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis :

-Dans la partie Sud (Bouchiha), la conductivité est supérieure à 1000 µs / cm. Cette minéralisation excessive est due essentiellement à la présence des travertins qui libèrent les sels qu'ils contiennent.

La courbe présente un pic maximum au mois de mars, traduisant une concentration par les eaux de pluie, puis retrouve sa stabilité de début de l'année à partir du mois d'avril (fig. 32 à 34).

-Dans la partie Nord (Ras El Fedj), la conductivité est pratiquement stable durant toute l'année avec des variations insignifiantes. Mais elle indique une minéralisation importante.

-Dans la partie Ouest (El Fedjoudj), elle présente aussi une diminution progressive jusqu'au mois d'avril. Cette diminution indique une dilution causée par les eaux d'irrigation du périmètre. Comme dans la partie Nord, elle est aussi importante.

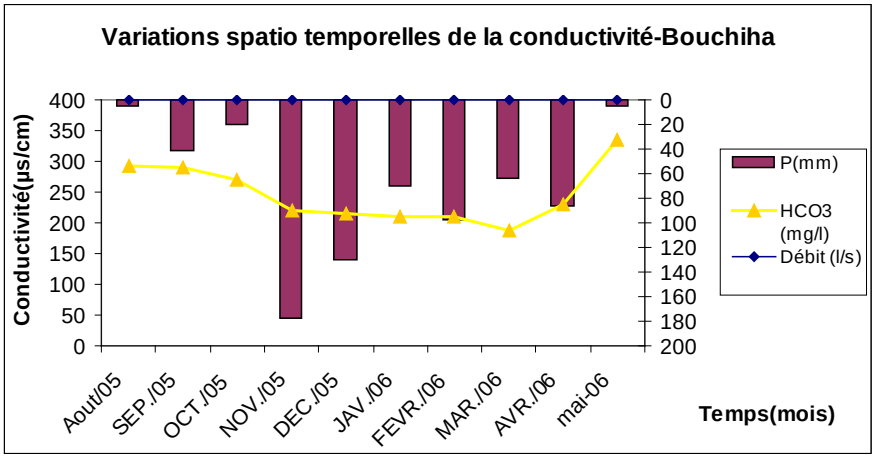


Fig. 32 : Variation spatio temporelle de la conductivité des eaux souterraines-Bouchiha (2005/2006). (Q : 0.3 à 0.35 l/s).

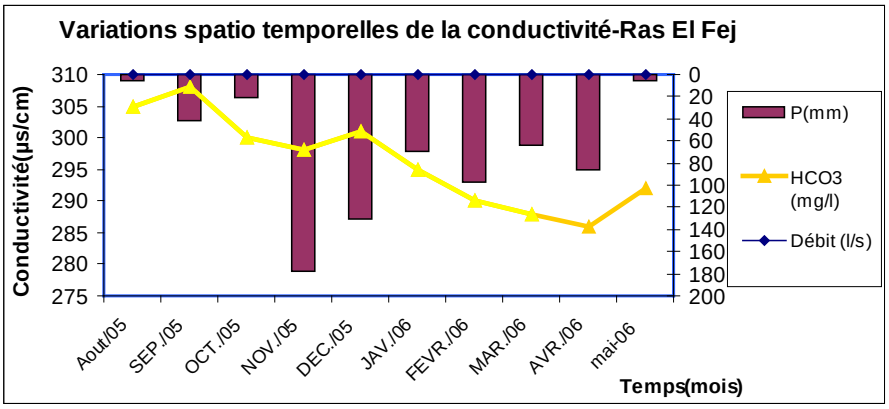


Fig. 33 : Variation spatio temporelle de la conductivité des eaux souterraines-Ras El Fej (2005/2006). (Q : 0.12 à 0.35 l/s).

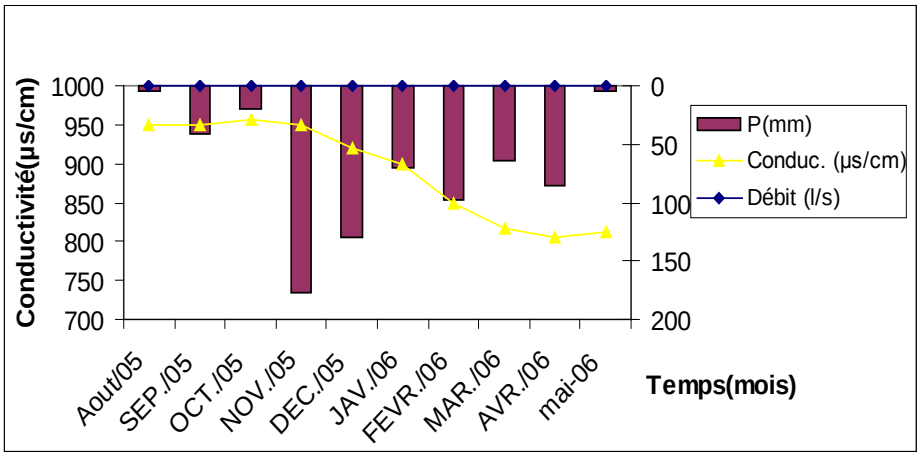


Fig. 34 : Variation spatio temporelle de la conductivité des eaux souterraines-El Fedjoudj. (2005/2006). (Q : 0.13 à 0.35 l/s).

c. Dans la nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua :

Dans le flanc Nord (Ain Beida), la conductivité oscille entre 600 et 800µs/cm avec un minimum enregistré entre les mois d'octobre et janvier et reprend sa stabilité pour le reste de l'année. En revanche, dans le flanc Ouest (Ain Sbaa), elle présente une quasi stabilité temporelle jusqu'au mois d'octobre puis diminue jusqu'au mois de mai. Cette diminution est provoquée par une dilution par les eaux de pluie(fig.35 à 36). Dans cet aquifère la minéralisation est importante.

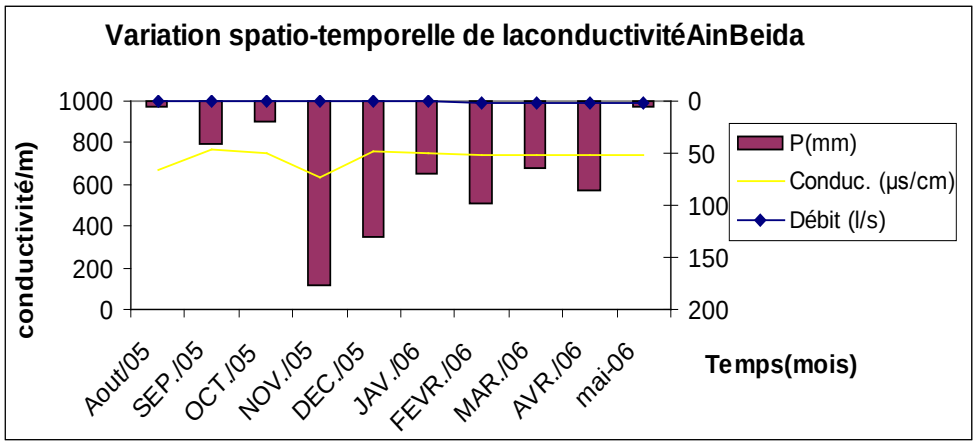


Fig. 35: Variation spatio temporelle de la conductivité des eaux souterraines-

Ain Beida (2005/2006). (Q : 0,12 à 0 2,2 l/s).

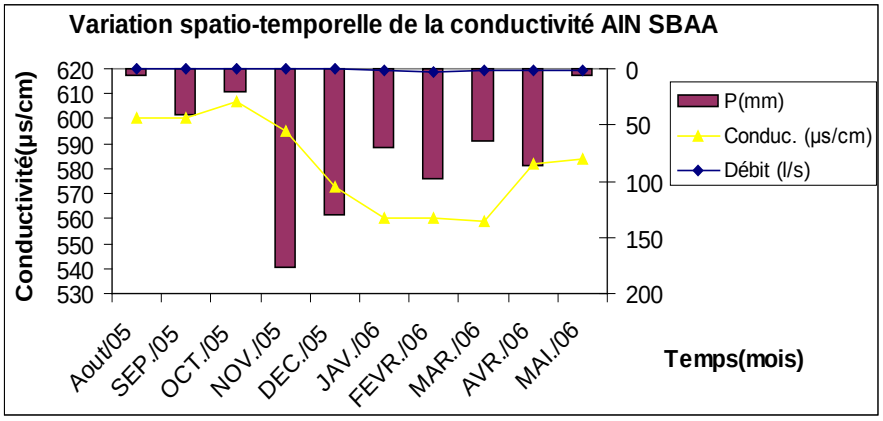


Fig. 36 : Variation spatio temporelle de la conductivité des eaux souterraines-

Ain Sbaa (2005/2006). (Q : 0.16 à 2.2 l/s).

III.3.1.4. Le degré hydrotimétrique (TH) :

Le degré hydrotimétrique (TH), exprime la dureté d'une eau. Cette dernière est due particulièrement à la présence des sels de calcium et de magnésium des terrains encaissant (origine naturelle) ou à des facteurs externes tels que la pollution industrielle. Le degré hydrotimétrique est donné par la relation suivante :

$$TH = (r\,Ca^{++} + r\,Mg^{++}) / 5$$

Selon l'OMS, les normes de la dureté de l'eau de boisson sont illustrées dans le tableau 17 (Furry, 1997).

TH(°F)	**0 - 7**	**7 - 22**	**22 - 32**	**32-54**	**> 54**
Dureté de l'eau	Douce	Médiocrement douce	Assez douce	Dure	Très dure

Tableau. 17 : Normes pour la dureté de l'eau de boisson (O.M.S, 1972).

a. Dans la nappe alluvionnaire de Guelma :

Dans la partie Est de la nappe (Zouaniz, Hamia et Rosfa), le TH est supérieur à 54°F, les eaux sont donc très dures, par contre dans la partie Ouest (Oued Maiz et Guergour), le TH est compris entre 32 et 54°F, les eaux de cette partie peuvent être classées comme dures mais restent utilisables.

Dans cet aquifère, la dureté des eaux est due aux travertins du Sud qui alimentent la nappe et au substratum marneux lessivé pendant l'écoulement du Sud vers le Nord.

b. Dans la nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis :

Le TH est compris entre 22 et 32 °F, donc toutes les eaux de cet aquifère peuvent être classées comme assez douces. Cette dureté est liée aux sels de calcium et aux bicarbonates libérés par les formations calcaires.

c. Dans la nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua :

La source de Ain Sbaa, localisée dans le flanc Ouest présente un TH compris entre 22 et 32 °F, ses eaux sont donc assez douces, en revanche les eaux de la source Ain Beida, localisée dans le flanc Nord, présentent un TH compris entre 32 et 54 °F, elles sont donc dures. Cette différence de dureté des eaux dans les même formations carbonatées s'explique par le fait que la première source se trouve à une altitude supérieure par rapport à la deuxième. Donc le temps de séjour étant plus court, la teneur en sels sera automatiquement inférieure.

Au vu de ce classement des différentes sources du point de vue dureté, on constate que la variation de ce paramètre est liée à la nature lithologique et du temps de contact de l'eau avec la roche, en effet les sources situées à l'aval des écoulements possèdent les duretés les plus élevées.

III.3.1.5. Alcalinité :

L'alcalimétrie d'une eau est sa capacité à neutraliser les ions H+. Ce rôle est joué par les bases faibles : $HCO3^-$; $CO3^{--}$ et OH^-. Elle correspond à la présence des hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates alcalins et alcalino-terreux dans l'eau : l'alcalinité des eaux étudiées est représentée uniquement par les bicarbonates, leur pH étant proche de la neutralité.

a. Dans la nappe alluvionnaire de Guelma :

Les eaux de la partie est de Oued Zimba ont une alcalinité > 30°F, supérieure cependant celles de la partie ouest de l'oued ont une alcalinité égale ou inférieure à 30 °F. Sur les figures (37 à 41), on constate que dans l'extrême aval de la nappe (Rosfa), la courbe des bicarbonates présente une chute à partir du mois de septembre jusqu'au mois de novembre et reste stable jusqu'au mois d'avril puis une allure ascendante. Ce comportement s'explique par une concentration en bicarbonates pendant la saison sèche, une dilution par les eaux de pluies pendant les hautes eaux et enfin une reconcentration plus prononcée résultant sans doute de l'effet de l' évaporation à partir du mois d'avril.

Dans les deux sources Hamia et Zouaniz émergeant dans la terrasse actuelle à l'Est de Oued Zimba, l'évolution des bicarbonates est identique. Leur stabilité remarquable qui commence depuis le mois de septembre jusqu'au mois de mars évolue vers une augmentation aussi marquée.

Cet accroissement serait attribué au lessivage des terrains encaissants et le transport des sels par les eaux d'alimentation provenant du Sud.

Pour la source de Oued Maiz située dans la haute terrasse à l'Ouest de Oued Zimba et à l'inverse des deux sources précédentes, la courbe des bicarbonates présente une augmentation depuis le mois de septembre jusqu'au mois de novembre et une stabilité à partir du mois de mars.

Cette variation s'explique par le fait que le sens des écoulements souterrains depuis la zone d'alimentation (travertins) vers cette source, diffère de celui alimentant la partie Est (alluvions et sustratum marneux). Donc les terrains traversés diffèrent et le temps de séjour est relativement court. C'est la raison pour laquelle le chimisme de la partie ouest diffère de celui de la partie Est.

Dans le Sud-Ouest, la source de Guergour est alimentée à partir des travertins du sud de Guelma. Ces formations sont à l'origine des bicarbonates. L'augmentation de leurs teneurs à partir du mois de mars est due au lessivage de ces travertins pendant l'ascension verticale du niveau piézomètrique enregistré par l'augmentation du débit de la source.

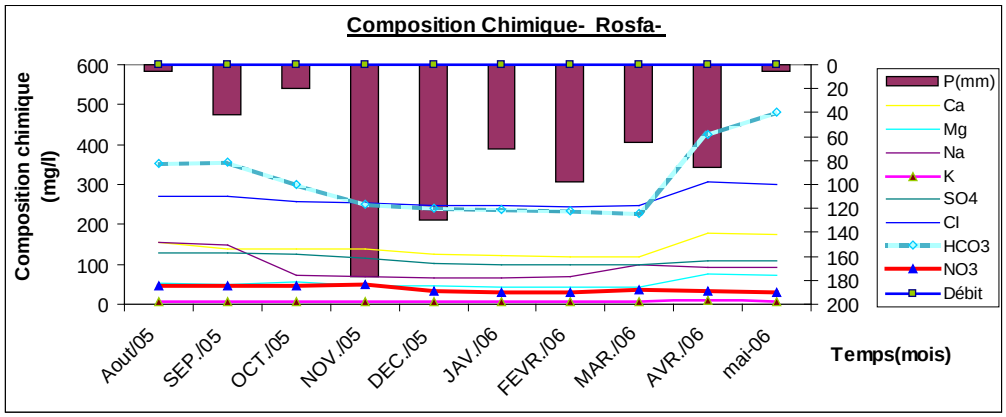


Fig. 37 : Variation spatio temporelle de l'alcalinité Rosfa (2005/2006).

(Q : 0.12 à 0.25 l/s.)

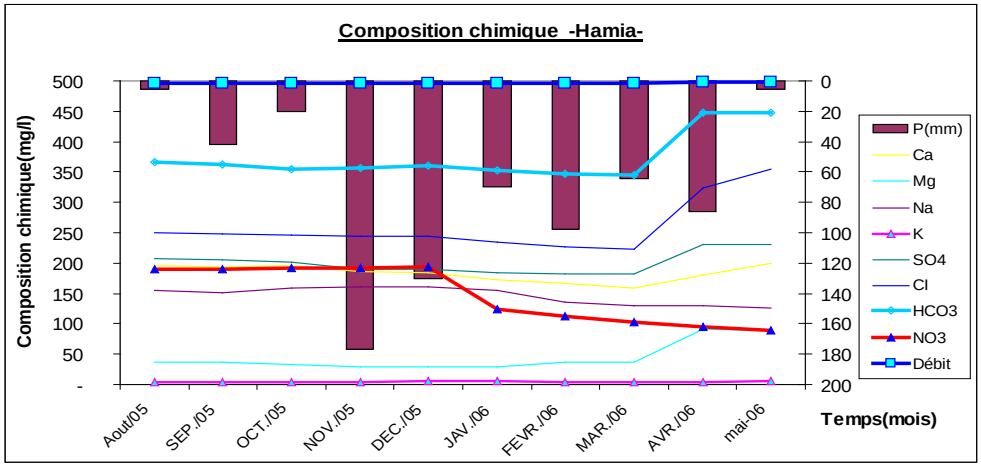


Fig. 38 : Variation spatio temporelle de l'alcalinité Hamia (2005/2006).

(Q : 1 à 1.5 l/s).

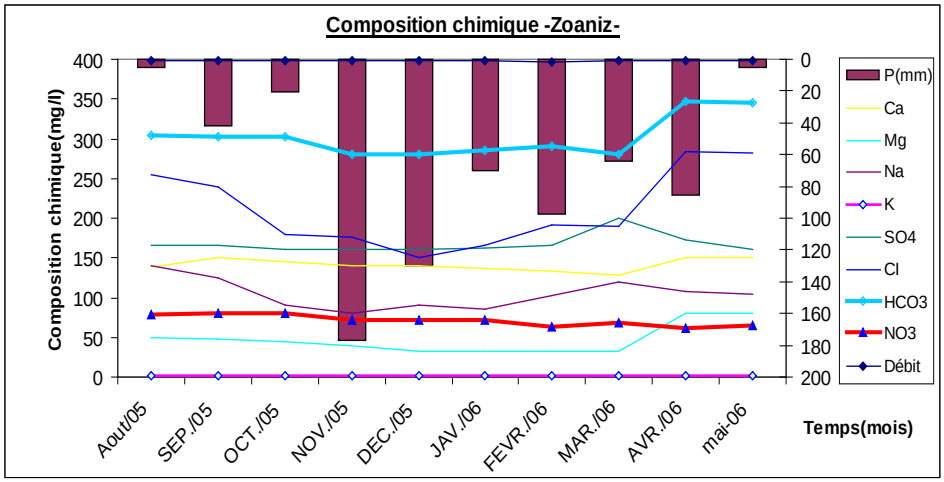


Fig. 39 : Variation spatio temporelle de l'alcalinité Zouaniz (2005/2006).

(Q : 0.65 à 1.5 l/s).

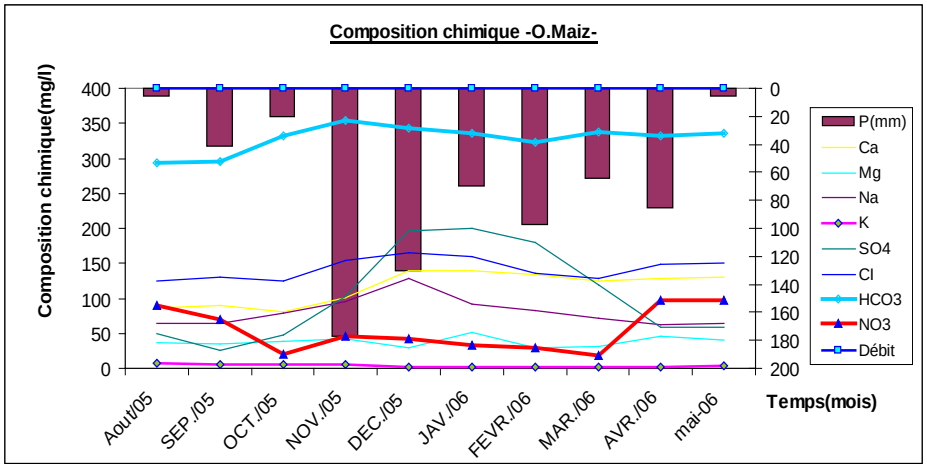


Fig. 40 : Variation spatio temporelle de l'alcalinité O.Maiz (2005/2006).

(Q : 1 à 1.5 l/s).

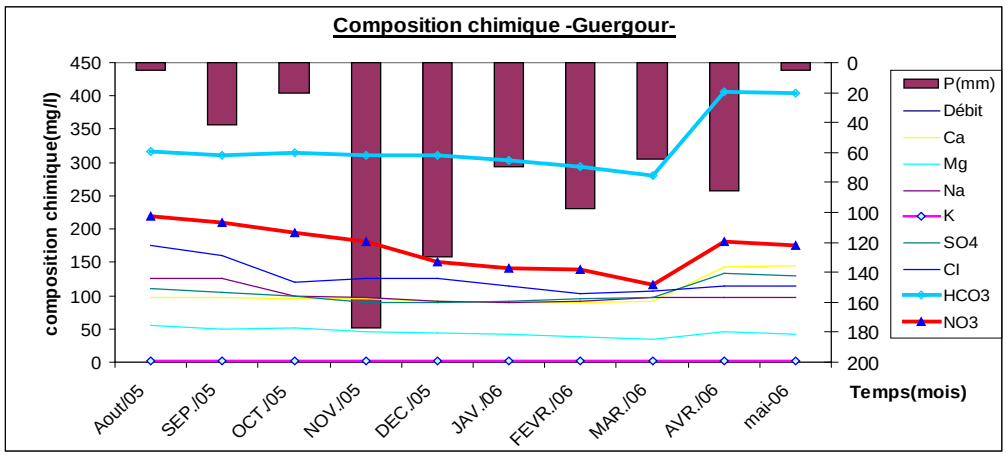


Fig. 41 : Variation spatio temporelle de l'alcalinité Guergour (2005/2006).

(Q : 1.2 à 1.5 l/s).

b. Dans les calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis :

Dans tout l'aquifère, l'alcalinité reste inférieure ou égale à la norme. On remarque cependant une stabilité temporelle dans le Nord (Ras El Fej, fig. 43) et l'Ouest (El Fedjoudj, fig. 44).

Dans sa partie Sud (Bouchiha, fig. 42), on observe une diminution continue jusqu'au mois d'avril où l'augmentation de la teneur en bicarbonates confère à la courbe une allure ascendante. Cette source est localisée dans les travertins d'Héliopolis, qui sont donc à l'origine de cette augmentation à partir du mois d'avril, ce qui suppose une origine différente des eaux des deux autres parties de l'aquifère.

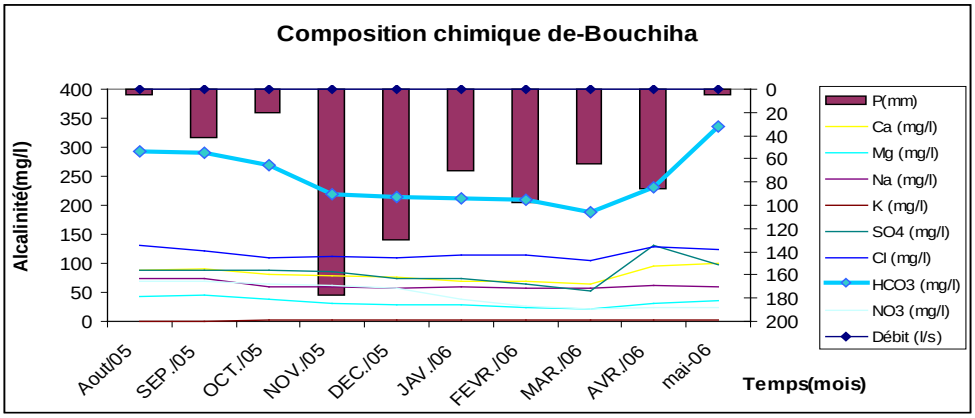


Fig. 42 : Variation spatio temporelle de l'alcalinité Bouchiha (2005/2006).

(Q : 0.3 à 0.35 l/s).

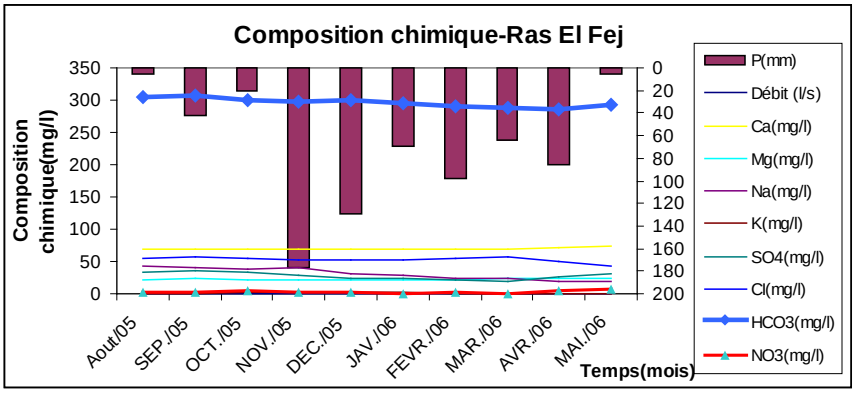


Fig. 43 : Variation spatio temporelle de l'alcalinité Ras El Fej (2005/2006).

(Q : 0.12 à 0.35 l/s).

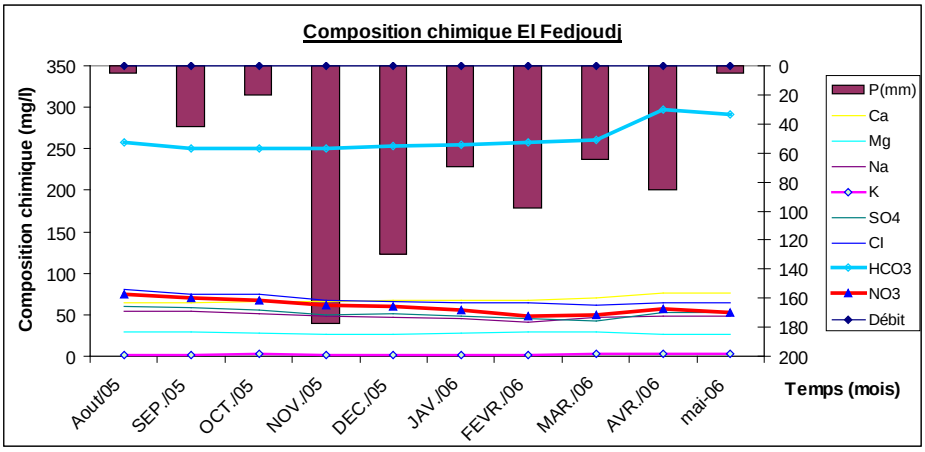


Fig. 44 : Variation spatio temporelle de l'alcalinité El Fedjoudj (2005/2006).

(Q : 0.13 à 0.35 l/s).

c. Dans les calcaires éocènes de Ras El Agba – Sellaoua :

L'alcalinité demeure stable et inférieure à la norme durant toute l'année avec une légère diminution à partir du mois de décembre jusqu'au mois d'avril dans le flanc Ouest de l'aquifère (Ain Sbaa, fig. 46) et du mois de septembre jusqu'au mois d'avril dans le flanc Nord (Ain Beida, fig. 45).

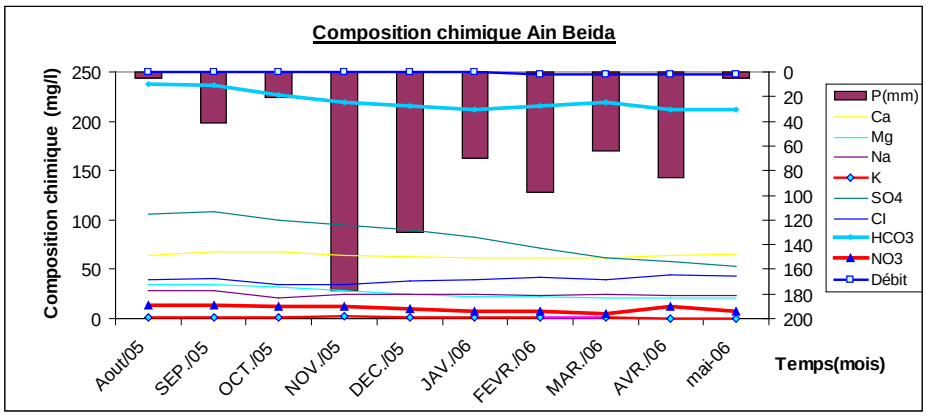


Fig. 45 : Variation spatio temporelle de l'alcalinité Ain Beida (2005/2006).

(Q : 0.12 à 2.2 l/s).

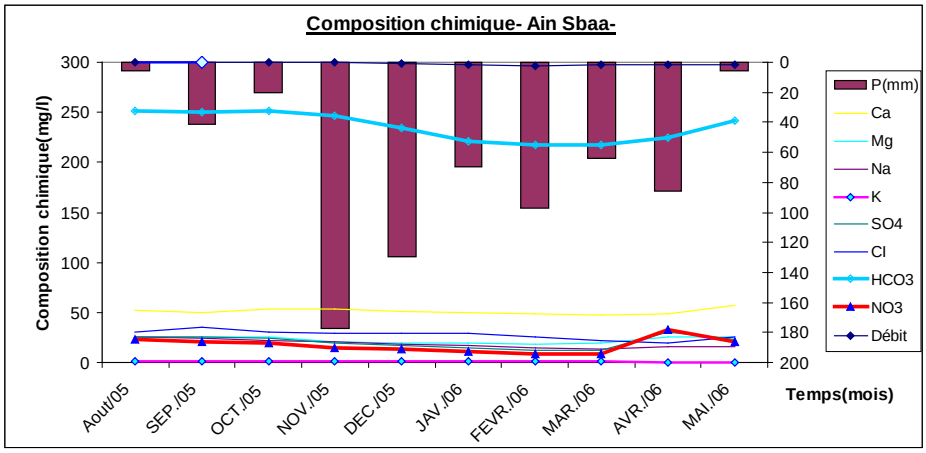


Fig. 46 : Variation spatio temporelle de l'alcalinité Ain Sbaa (2005/2006).
(Q : 0.16 à 2.2 l/s).

III.3.1.6. Minéralisation globale :

La minéralisation globale peut nous renseigner sur la potabilité de l'eau.

D'après la classification de Schœller, (1962) suivant le résidu sec, illustrée dans le tableau 18, les eaux analysées dans les trois aquifères peuvent être classées de la manière suivante :

Potabilité	Bonne	Passable	Médiocre	Mauvaise	Momentanée
Résidu sec	0- 500	500-1000	1000-2000	2000-4000	4000-8000

Tableau N° 18: Degré de potabilité suivant le résidu sec.

a. Dans la nappe alluvionnaire de Guelma :

Les travaux menés par les services de l'agence des bassins versants pour le suivi de la qualité des eaux souterraines dans la région de Guelma durant la période, 1998-2003, ont conclus à une instabilité spatio temporelle de la minéralisation (A.B.H, 2005).

D'après les valeurs du résidu sec, on constate une instabilité spatio-temporelle du degré de potabilité des eaux dans tout l'aquifère.

Dans la partie Est de la nappe (Rosfa), les eaux sont médiocres. Dans la partie Sud ouest (Guergour), elles sont médiocres depuis le mois de septembre jusqu'au mois d'avril. A l'Est de Oued Zimba (Zouaniz), les eaux sont passables pendant les mois d' août et septembre (été) et varient médiocrement jusqu'au mois de mai. Dans cette partie de l'aquifère, les infiltrations depuis la surface vers la nappe favorisent l'augmentation de la minéralisation et altèrent ainsi la qualité des eaux. A l'Ouest de Oued Zimba, elles sont passables pendant toute l'année.

Cette instabilité spatio-temporelle peut s'expliquer par les différents sens des écoulements dans le même aquifère qui contribuent aux variations de la composition chimique des eaux en traversant les différents terrains dans leur passage, depuis le Sud (zone d'alimentation) jusqu'au Nord (zone d'émergence). Cette altération due à l'augmentation de la minéralisation globale des eaux, se manifeste pendant la période des hautes eaux.

b. Dans la nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis ;

Les eaux de la partie Nord (Ras El Fej) sont de bonne qualité, par contre celles des parties sud et Sud Ouest (Bouchiha et El Fedjoudj) sont classées comme passables. On constate qu'à l'aval des écoulements les eaux se minéralisent davantage et leur degré de potabilité diminue.

c. Dans la nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua ;

Les eaux du flanc Ouest (Ain Sbaa) sont de bonne qualité,en revanche celles du flanc Nord (Ain Beida) sont passables. On note là aussi, l'influence de la nature lithologique des terrains traversés et le temps de séjour sur la minéralisation totale de l'eau et donc sur sa qualité.

III.3.2. Paramètres chimiques :

III.3.2.1. Détermination des faciès chimiques :

Le faciès chimique d'une eau, peut renseigner sur l'origine du chimisme et donc sur les terrains encaissants ou traversés. Les variations temporelles des faciès chimiques des eaux souterraines de la région d'étude sont établies selon la formule ionique tableau 19 et les représentations graphiques suivant le diagramme de Stiff (Rodier, 1996), (figures 47 à 56).

a. ~~1.~~Nappe alluvionnaire de Guelma :

Les faciès chimiques varient depuis les basses eaux jusqu'aux hautes eaux, d'une manière particulière à chacune des cinq sources de la nappe. Ces variations sont influencées par la dissolution des éléments minéraux présents dans la roche encaissante pendant les fluctuations verticales du niveau piézomètrique de la nappe et pendant l'écoulement général du Sud (zone d'alimentation) vers le Nord (sources).

Sources	Aquifère	Lithologie	Age	Formule ionique	
Rosfa nador	Nappe Alluvionnaire de la vallée de la seybouse.	Sédiments détritiques: galets, graviers gréseux calcaires denatures variées (lacustres) alternés avec des niveaux argileux.	Mio-Plio-Quaternaire	rCl- > rHCO3 > rSO4 rCl- > rHCO3 > rSO4 rCl- > rHCO3 > rSO4 rCl- > rHCO3 > rSO4	rCa > rNa > rMg rCa > rMg > rNa rCa > rNa > rMg rCa > rMg > rNa
Hamia djeballah				rCl- > rHCO3 > rSO4 rCl- > rHCO3 > rSO4 rCl- > rHCO3 > rSO4 r rCl- > rHCO3 > rSO4	rCa > rNa > rMg rCa > rMg > rNa rCa > rNa > rMg rCa > rMg > rNa
Zouaniz boumahra				rCl- > rHCO3 > rSO4 rHCO3 > rCl- > rSO4 rCl- > rHCO3 > rSO4 rHCO3 > rSO4 > rCl rCl- > rHCO3 > rSO4	rCa > rNa > rMg rCa > rNa > rMg rCa > rNa > rMg rCa > rNa > rMg rCa > rMg > rNa
O/Maiz belkheir				rHCO3 rCl- > rSO4 rHCO3 > rCl- > rSO4 rHCO3 > rCl- > rSO4 rHCO3 > rCl- > rSO4 rHCO3 > rCl- > rSO4	rCa > rMg > rNa rCa > rNa > rMg rCa > rMg > rNa rCa > rNa > rMg rCa > rMg > rNa
Guergour guelma				rHCO3 > rCl- > rSO4 rHCO3 > rCl- > rSO4	rNa > rCa > rMg rCa > rNa > rMg
Bouchiha héliopolis				rHCO3 > rCl- > rSO4 rHCO3 > rCl- > rSO4 rHCO3 > rCl- > rSO4	rCa > rMg > rNa rCa > rNa > rMg rCa > rMg > rNa
Ras El Fej	Calcaires néritiques et sénoniens d'héliopolis.	Alternances de marnes claires beiges ou jaunes et de marno-calcaires en petits bancs de meme teinte, riches enRosalines.	Sénonien	rHCO3 > rCl- > rSO4	rCa > rMg > rNa
Si Abdallah El fedjoudj				rHCO3 > rCl- > rSO4 rHCO3 > rCl- > rSO4 rCHO3 > rCl- > rSO4 rHCO3 > rCl- > rSO4 rHCO3 > rCl- > rSO4	rCa > rMg > rNa rCa > rNa > rMg rCa > rMg > rNa rCa > rNa > rMg rCa > rMg > rNa
Ain Beida sellaoua	Calcaires del'Eocène de Ras -el Agba.	Alternance de couches calcaires et calcaires marneux résistants à patine blanche riches en sulfates.	Eocène	rHCO3 > rSO4 > rCl- rHCO3 > rCl- > rSO4	rCa > rMg > rNa rCa > Mg > rNa
Ain Sbaa Ras el agba				rHCO3 > Cl- > rSO4 rHCO3 > rSO4 > rCl- rHCO3 > rCl- > rSO4	rCa > rMg > rNa rCa > rMg > rNa rCa > rMg > rNa

Tableau. 19: Faciès chimique des eaux souterraines dans la région de Guelma.

- **La source Rosfa:**

D'après le tableau (19~~?~~), les eaux de la source Rosfa sont caractérisées d'une manière générale par un faciès chimique chloruré calcique où l'ordre décroissant des teneurs en ions est stable durant toute l'année. En revanche, nous observons une prédominance alternée entre les cations secondaires ; Na+ et Mg^{2+}.

Il y a lieu de souligner, que cette source émerge dans des formations de nature lithologique différente des alluvions de la nappe et qui constituent les limites de cette dernière à l'Est, ces formations sont identifiées comme des grés rouges d'âge médjanien~~(?)~~.

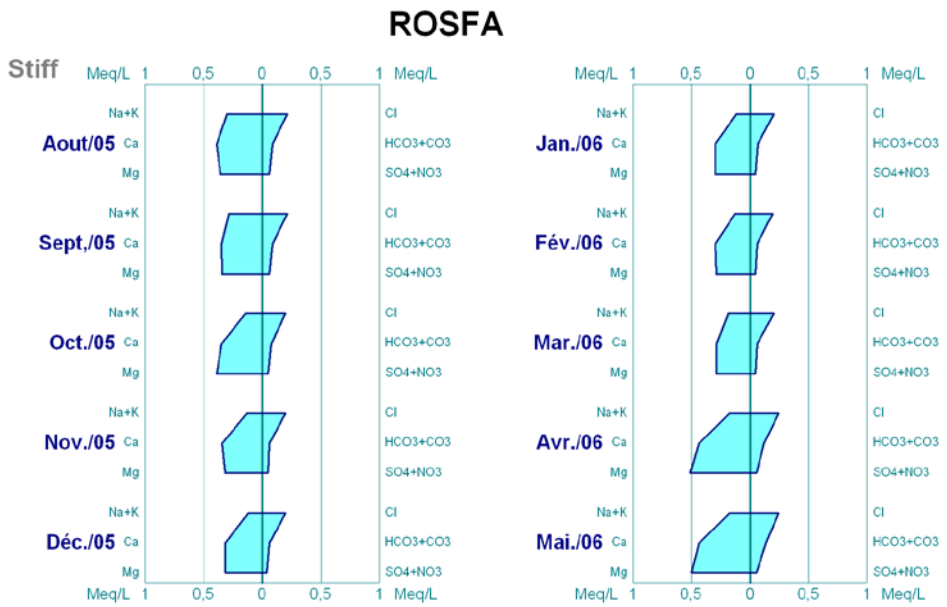


Fig.47 : représentation graphique des eaux souterraines- Rosfa.

- **La source Hamia:**

Elle est localisée dans la basse terrasse et possède un faciès chimique chloruré calcique et sodique depuis les basses eaux jusqu'au mois d'avril où le Na+ libéré par le substratum argileux d'age numidien est substitué par le Mg^{2+} pendant la fluctuation du niveau piézomètrique vers les couches supérieures.

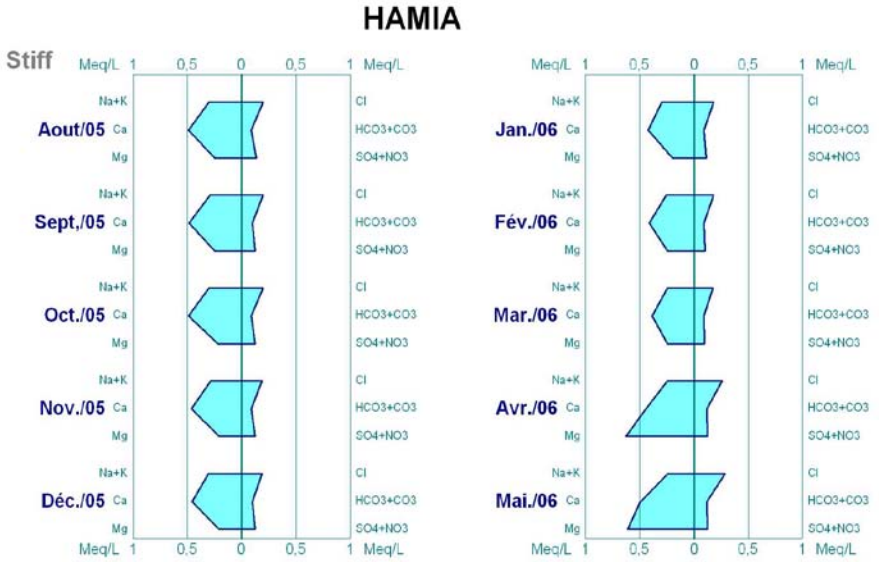


Fig.48 : représentation graphique des eaux souterraines-Hamia.

- **La source Zouaniz:**

Cette source est aussi localisée dans la basse terrasse. Ses eaux sont caractérisées par un faciès chimique chloruré calcique, mais qui évolue en faciès bicarbonaté calcique chaque fois que la teneur en Cl- provenant du substratum marneux à gypse d'âge miocène devient inférieure à la teneur en HCO3-, lorsque le niveau piézomètrique fluctue vers les couches géologiques surmontant le substratum.

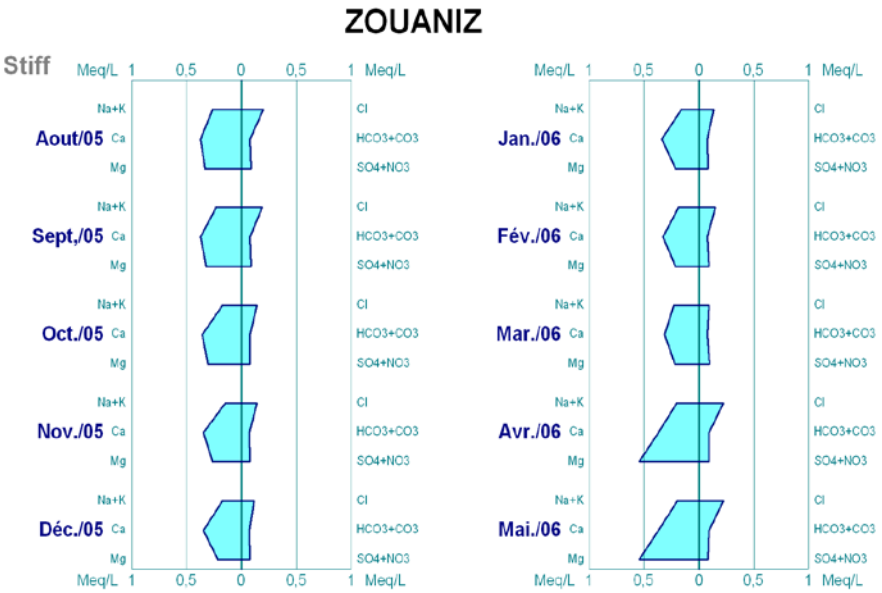


Fig.49 : représentation graphique des eaux souterraines-Zouaniz

- **La source Oued Maiz:**

Cette source, localisée dans la haute terrasse et émergeant au contact du substratum marneux avec les alluvions est caractérisée par un faciès chimique bicarbonaté calcique. Cependant la prédominance alternée entre le Mg^{2+} et le Na+ témoignent du type de nappe multicouches où les HCO3- et les Ca^{2+} proviennent des travertins alimentant la nappe, le Na+ et le Cl- proviennent des lentilles argileuses présentes dans les alluvions.

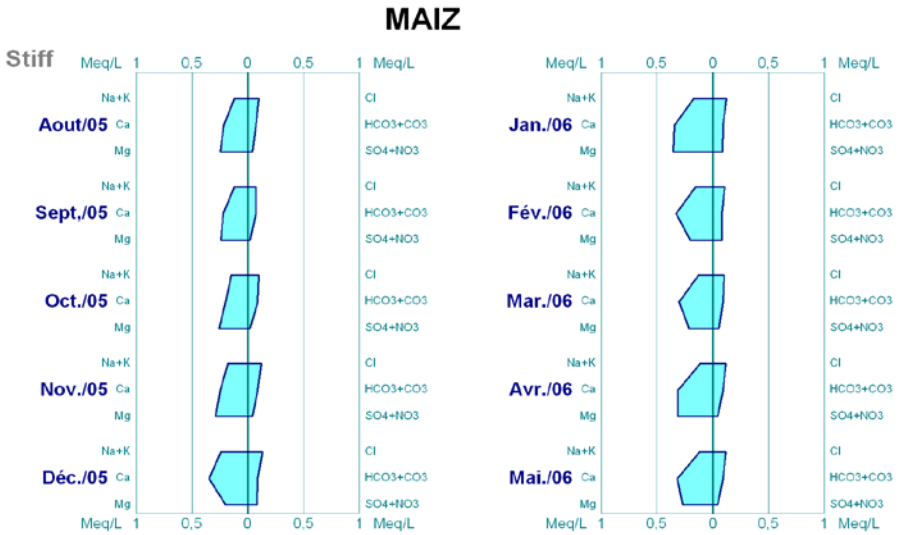


Fig.50 : représentation graphique des eaux souterraines-O.Maiz

- **La source Guerguour:**

Cette source émerge dans les travertins du Sud de Guelma. Le faciès chimique est bicarbonaté sodique et calcique. Les HCO3- proviennent des travertins, le Na+ provient du substratum argileux. Cependant, l'augmentation du débit a permis un échange de base entre le calcium et le sodium au niveau des argiles et fait basculer le faciès chimique en un faciès bicarbonaté calcique et sodique à partir du mois d'octobre.

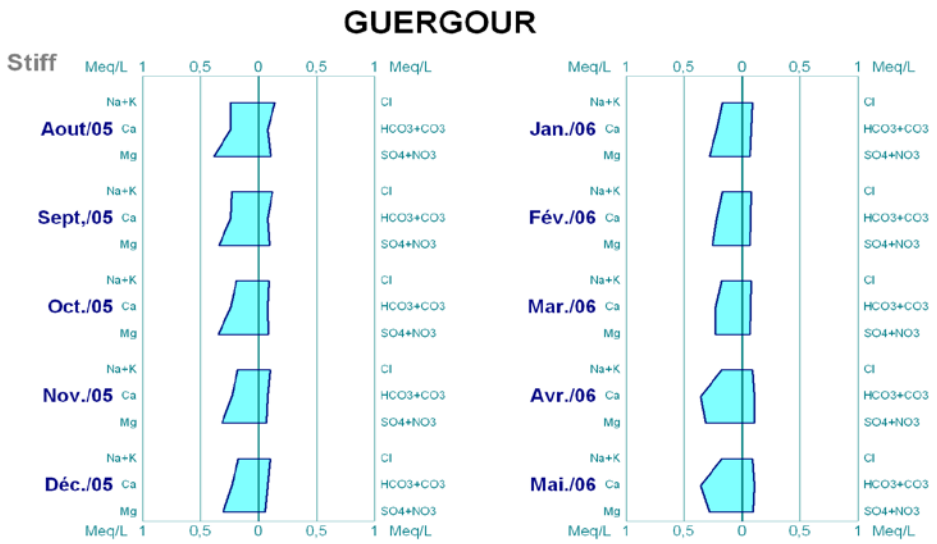


Fig.51 : représentation graphique des eaux souterraines-Guergour.

b2. La nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis:

- La source de Bouchiha:

Elle est localisée dans les travertins du plateau d'Héliopolis. Durant les quatre premiers mois, la stabilité du débit confère aux eaux un faciès chimique bicarbonaté calcique et magnésien influencé par les travertins. A partir du mois de décembre où on constate une légère augmentation du débit, le faciès chimique varie vers un faciès bicarbonaté calcique et sodique, le Na+ peut provenir des couches argileuses reposant directement sur le travertins. Le faciès de départ s'installe de nouveau dès la diminution du débit à partir du mois d'avril.

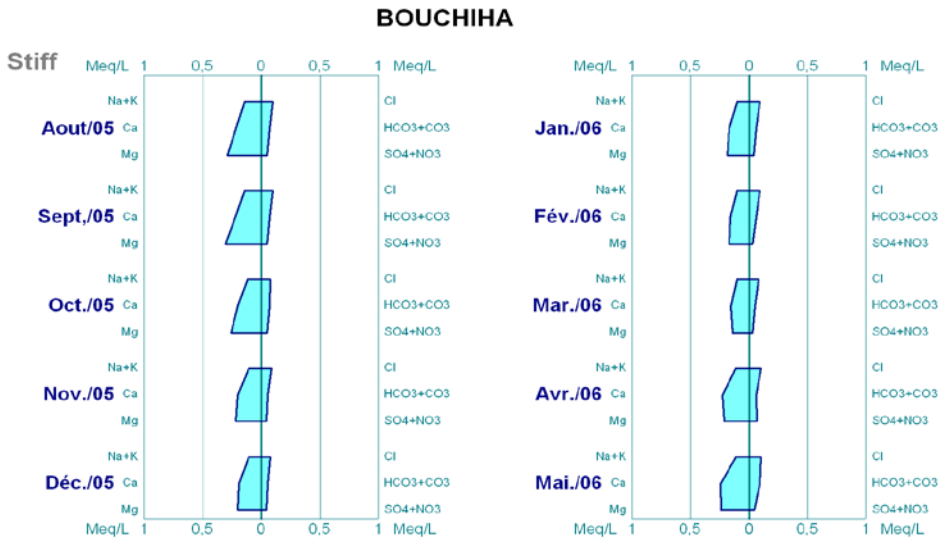


Fig.52 : représentation graphique des eaux souterraines-Bouchiha.

- **La source Ras -El -Fej:**

Cette source est caractérisée par un seul et unique faciès chimique bicarbonaté calcique durant toute l'année, ceci indique que les eaux saturées en bicarbonates et calcium circulent depuis l'amont jusqu'à l'aval, dans les mêmes formations carbonatées, ou bien les teneurs des ions provenant d'autres formations sont trop faibles.

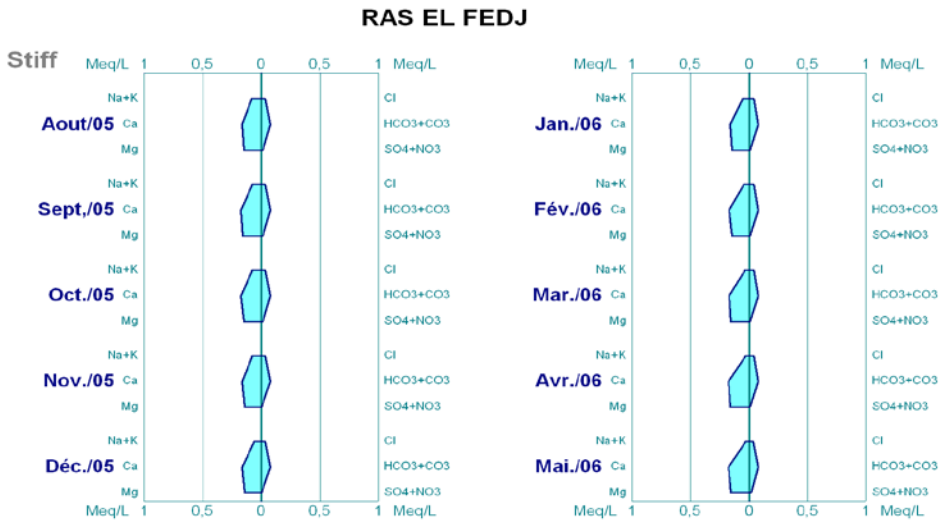


Fig.53 : représentation graphique des eaux souterraines-Ras El Fej.

- **La source d'El Fedjoudj:**

Le faciès chimique des eaux de cette source est bicarbonaté calcique et magnésien depuis le mois d'août jusqu'au mois de Janvier, ce type de faciès est dû aux formations calcaires qui affleurent ça et la en mamelons dans les argiles des nappes telliennes et ultra-telliennes(Gharbi et *al*, 2002). A partir du mois de février le Mg^+ et le Na^+ se substituent mutuellement pour caractériser le faciès qui change tous les mois.

Ceci est sans doute dû au lessivage de la couche argileuse de surface par les eaux d'irrigation, qui s'infiltrent depuis la surface du sol, dans les formations carbonatées pour émerger dans la source.

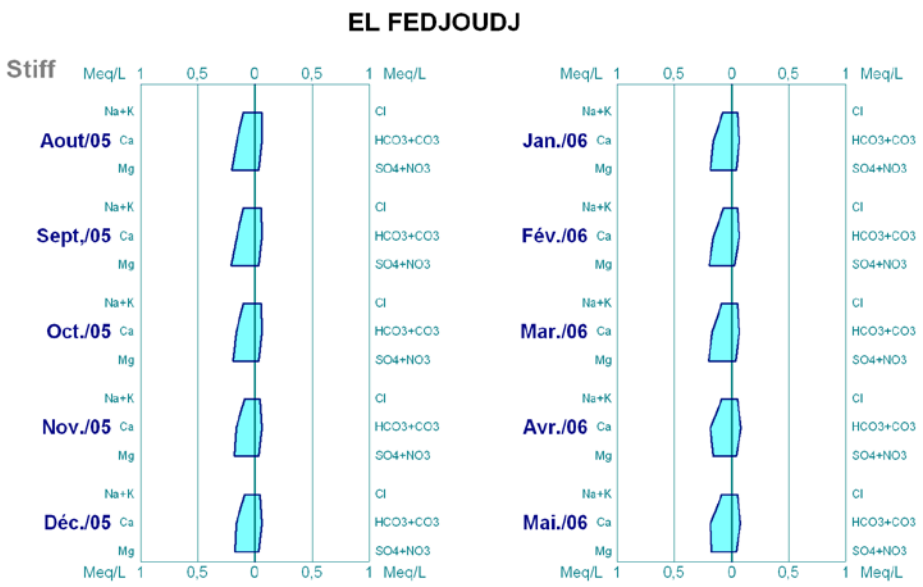


Fig.54 : représentation graphique des eaux souterraines- El Fedjoudj.

c. La nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua:

- La source de Ain Beida:

Les eaux de cette source sont caractérisées par un faciès bicarbonaté et sulfaté calcique depuis le mois d'août jusqu'au mois de mars durant lequel le débit augmente considérablement. Les HCO^-_3 et Ca^{++} sont libérés par les calcaires, quant aux $SO4^{--}$, ils sont libérés par les marnes. Pendant les mois d'avril et mai, la teneur en sulfates diminue à la faveur des Cl^- libérés par le lessivage des évaporites lors de l'augmentation du niveau piézomètrique (augmentation du débit de la source), le faciès change alors en un faciès bicarbonaté et chloruré calcique.

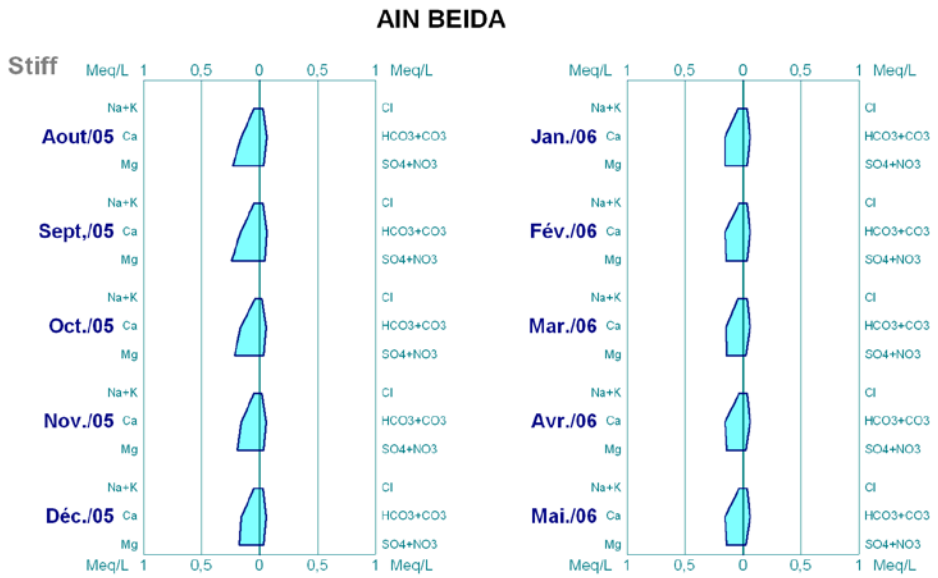


Fig.55 : représentation graphique des eaux souterraines-Ain Beida.

-

La source de Ain Sbaa:

Le faciès chimique des eaux de cette source est bicarbonaté et chloruré calcique depuis le mois d'août jusqu'au mois de mars. Pendant le mois d'avril, les Cl^- sont prédominés par les $SO4^{--}$, et confèrent à l'eau un faciès bicarbonaté et sulfaté calcique. La diminution du débit au mois de mai, favorise l'augmentation de la teneur en Cl^- au dépend des sulfates pour donner à l'eau un faciès chimique bicarbonaté et chloruré calcique.

On remarque aussi, que dans cet aquifère , l'ordre décroissant des teneurs en cations est respecté durant toute l'année.

Dans cette partie, l'interprétation des paramètres physico-chimiques a permis de mettre en évidence l'influence de la nature lithologique des terrains traversés sur la caractérisation des eaux souterraines.

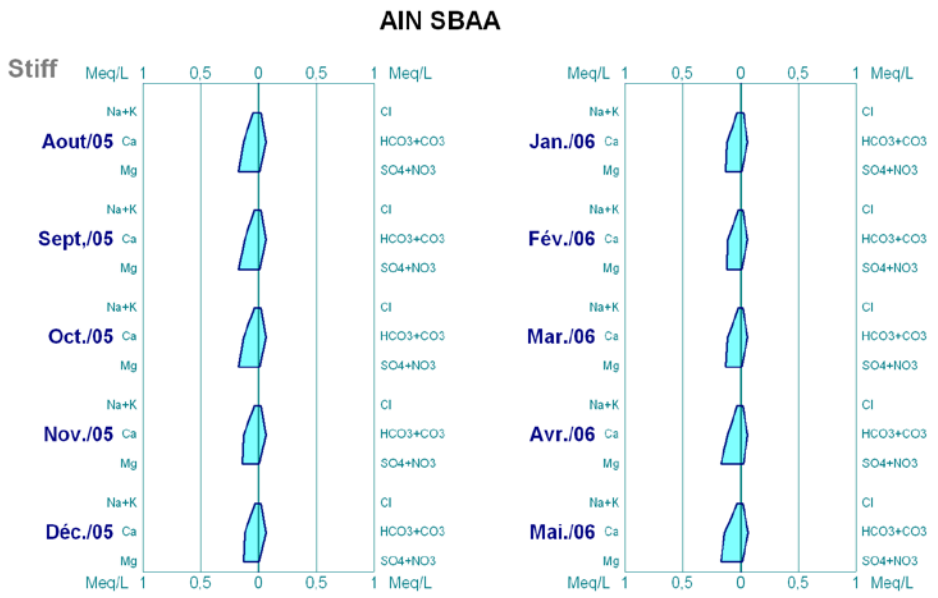


Fig.56 : représentation graphique des eaux souterraines- Ain Sbaa.

III.3.2.2. Reconstitution en sels dissous :

Ces reconstitutions ont pour but essentiel de rendre compte de l'influence possible des caractéristiques physicochimiques de la roche aquifère sur la composition chimique des eaux.

Pour établir ces reconstitutions hypothétiques en sels dissous, on se base sur les teneurs relatives en certains ions :

- premier cas : $r\,Mg^{++} + r\,Ca^{++} < r\,HCo_3^{-} + r\,So_4^{--}$
- Deuxième cas : $r\,Ca^{++} + r\,Mg^{++} > r\,HCo_3^{-} + r\,So_4^{--}$

On trace à la même échelle des segments représentant les valeurs des ions qui nous renseignent sur la nature des terrains traversés par les eaux (Grillot).

a. Nappe alluvionnaire de Guelma :

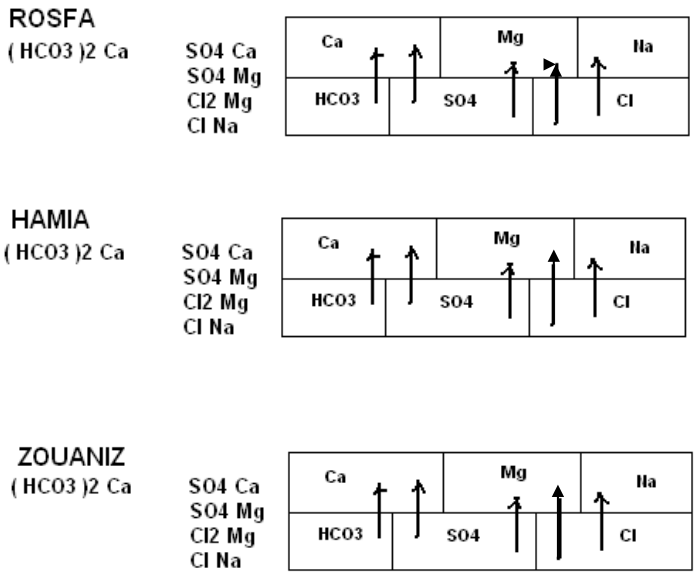
A l'Est de Oued Zimba, la reconstitution en sels dissous peut se faire de la manière suivante :

- La composition hypothétique en sels dissous est :

$$r\,Ca^{++} + r\,Mg^{++} > r\,HCo_3^{-} + r\,So_4^{--} \text{ et } r\,HCo_3^{-} < r\,Ca^{++}$$

- Cette composition peut être représentée telle que :

Pour les sources : Rosfa, Hamia et Zouaniz.



Les sels dissous sont :

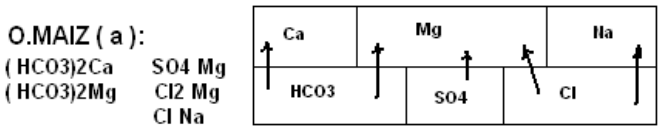
Les ions prédominants Ca^{2+} et HCO_3^- peuvent provenir du substratum marneux et à gypse. Par contre les ions Cl^-, Mg^{2+} et Na proviennent des lentilles argileuses et les ions SO_4^{2--} proviennent du substratum marneux gypsifère.

À l'Ouest de Oued Zimba et de la même manière, la composition en sels dissous est représentée en fonction des variations temporelles. Du mois d'août au mois de novembre, la reconstitution est :

$r\ Ca^{++} + r\ Mg^{++} > r\ HCo_3^- + r\ So_4^{--}$ avec $r\ CO_3 > r\ Ca^{++}$

Cette composition sera représentée comme suit:

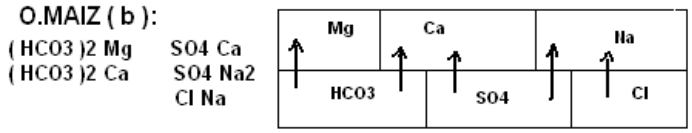
(Fig : O.Maiz a) : les sels prédominants sont les bicarbonates de calcium et de magnésium provenant des travertins situés au Sud et alimentant en partie la nappe.



Au mois de décembre :

(Fig : O.Maiz (b) : $r\ Ca^{++} + r\ Mg^{++} > r\ HCo_3^- + r\ So_4^{--}$ avec $r\ HCO_3 > r\ Mg^{++}$

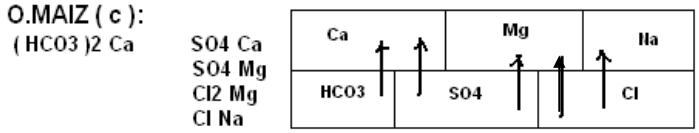
Les sels prédominants persistent toujours, mais la composition en sels secondaires varie avec l'apparition de SO_4Ca et $SO_4\ Na_2$. Les premiers proviennent du substratum marneux gypsifères et les seconds proviennent des lentilles argileuses localisées ça et là à différents niveaux dans les alluvions.



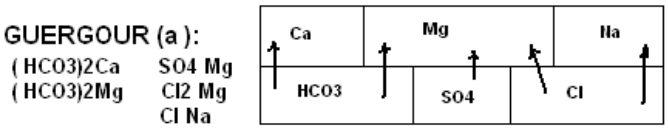
Et en fin de Janvier à mai :

(Fig : O.Maiz c) : $r\ Ca^{++} + r\ Mg^{++} > r\ HCo_3^{-} + r\ So_4^{--}$ avec $r\ HCO_3 < r\ Ca^{++}$

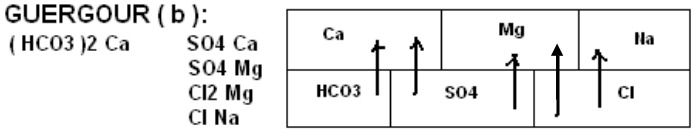
Les sels prédominants sont les bicarbonates de calcium, les sels secondaires sont plus nombreux et traduisent un lessivage et une dilution pendant la période des hautes eaux.



Dans la partie Sud Ouest de la nappe, la reconstitution en sels dissous illustrée par la composition : $rCa^{++} + rMg^{++} > rHCo_3^{-} + r\ So_4^{--}$ avec $rHCo_3^{-} > r\ Ca^{++}$ durant la période août – février ; (**Fig : Guergour a) :**



$r\ HCO_3 < r\ Ca^{++}$ pour la période mars – mai ; (**Fig : Guergour b) :**



- Dans le premier cas : Les sels prédominants sont les bicarbonates de calcium et magnésium ayant pour origine les travertins du Sud de Guelma.

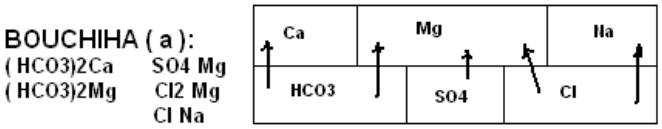
- L'excès de magnésium et sodium peut être attribué aux argiles surmontant les travertins lors de l'ascension verticale du niveau piezométrique.

b. Nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis :

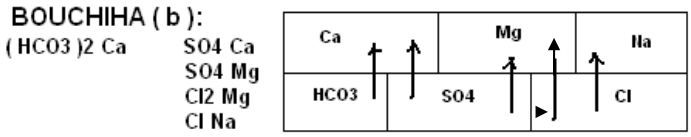
-Partie Sud de l'aquifère : les teneures relatives sont les suivantes :

$$r\,Ca^{++} + r\,Mg^{++} > r\,HCo_3^{-} + r\,So_4^{--}$$

Durant la période : août – octobre : $r\,HCO_3^{-} > r\,Ca^{++}$; (**Fig. : Bouchiha a).**



Durant la période novembre – mai : $r\,HCO_3 < r\,Ca^{++}$; (**Fig. Bouchiha b)**.



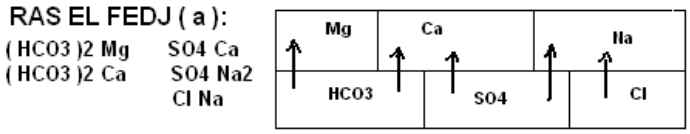
Dans le premier cas : les sels prédominants sont les bicarbonates de calcium et magnésium libérés par les travertins du plateau d'Héliopolis, les autres sels proviennent des couches argileuses.

Dans le second cas, le lessivage des travertins par les précipitations a favorisé la prédominance par les bicarbonates de calcium.

-Partie Nord de l'aquifère :

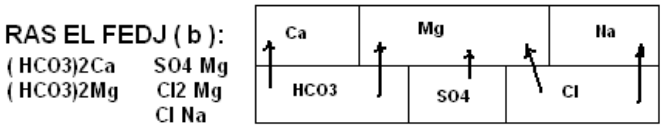
La période août – janvier ; les teneures relatives en sels dissous sont :

$rCa^{++} + rMg^{++} < rHCo_3^{-} + rSo_4^{--}$ avec; $rHCO_3^{-} > rMg^{++}$; (**Fig : Ras El Fej a).**



La période février – mai : les teneures relatives en sels dissous sont :

$rCa^{++} + rMg^{++} > rHCo_3^{-} + rSo_4^{--}$ avec $rHCO_3^{-} > rCa^{++}$; (**Fig: Ras El Fej b).**



Durant les deux périodes, les bicarbonates de calcium et de magnésium sont prédominants. Cette reconstitution fait penser à un réservoir calcaire avec intercalation de marnes gypseuses. La deuxième est marquée par l'apparition d'un excès de magnésium.

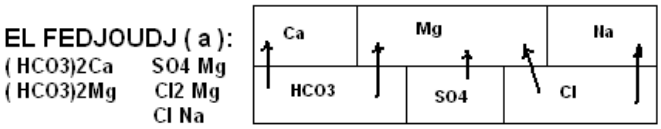
Partie Sud Ouest de l'aquifère :

Dans cette partie influencée par une irrigation par aspersion de part sa localisation dans le périmètre irriguée, trois hypothèses de reconstitution en sels dissous ont été dégagées :

-Depuis le mois d'août au mois de mars, les teneurs relatives sont décrites de la manière suivante :

$$r\ Ca^{++} + r\ Mg^{++} > r\ HCo_3^{-} + r\ So_4^{--} \quad \text{avec } r\ HCO_3^{-} > r\ Ca^{++}$$

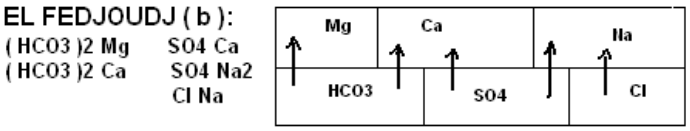
La composition en sels dissous illustrée dans la figure **(El Fedjoudj a),** montre une prédominance des bicarbonates de calcium et de magnésium qu'on pourrait attribuer aux formations carbonatées.



Au mois d'avril, les teneurs relatives évoluent en faveur des anions telles que :

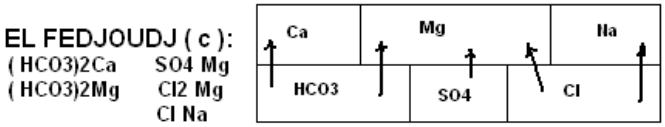
$$r\ Ca^{++} + r\ Mg^{++} < r\ HCo_3^{-} + r\ So_4^{--} \quad \text{avec } r\ HCO_3^{-} > r\ Mg^{++}$$

La composition en sels dissous illustrée dans la figure (**El Fedjoudj (b**), montre la dominance des même sels que la première période, mais avec une variation dans les sels secondaires avec un excès de magnésium et de chlorures.



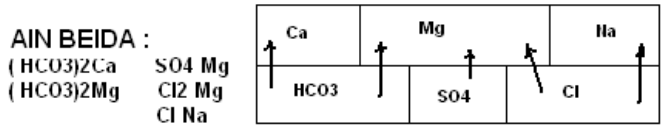
Cette brève variation et sans doute provoquée par les eaux d'irrigation en ce mois. L'excès de calcium et de magnésium fait penser aux calcaires et marno calcaires, l'excès de sodium serait attribué au lessivage des couches argileuses qui les surmontent.

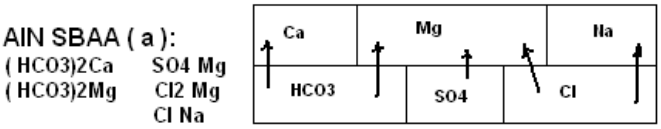
A partir du mois de mai, un scénario identique à la première période s'installe de nouveau (Fig. **El fedjoudj c**) :



c. La nappe des calcaires éocènes de Ras el Agba - Sellaoua :

Dans le flanc Nord, (Fig.**Ain Beida)**,_comme dans le flancOuest (Fig. **Ain sbaa, a et b)**, la dominance de la composition chimique est représentée par les sels de bicarbonates de calcium et de magnésium qui indiquent une origine calcaire.





III.3.2.3. Étude des rapports caractéristiques:

Ces rapports ont été choisis selon les éléments prédominants caractérisant les différents faciès chimiques, dans les trois aquifères**.**

a. La plaine alluvionnaire de Guelma :

Dans cet aquifère, les valeurs des rapports caractéristiques, montrent une prédominance du Ca^{2+}.et des Cl^{-} dans la partie située à l'Est de Oued Zimba. Par contre dans sa partie Ouest, ce sont les bicarbonates et le calcium qui prédominent. Ceci s'explique par le fait que, les circulations des eaux du Sud vers le Nord et selon les axes des écoulements engendrés par les lignes de partage des eaux décrites dans le chapitre II, lessivent les différents terrains dans leur passage.

Dans la première partie, le Ca^{2+} et les Cl^{-} proviennent du substratum marneux à gypse, dans la deuxième, les travertins alimentant en partie l'aquifère participent à l'augmentation de la teneur en bicarbonates et en Ca^{2+}.

b. La nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis :

Cet aquifère est caractérisé par des formations travertineuses au Sud et des formations carbonatées sénoniennes affleurants ça et là dans les nappes de charriage dans le reste de l'aquifère.

Dans la partie Sud de l'aquifère (Bouchiha), toutes les valeurs des rapports caractéristiques sont supérieures à l'unité à l'exception des rapports ; Cl^{-} / HCO_3^{-} et Ca^{2+}/ HCO_3^{-}, indiquant la prédominance des bicarbonates. Ce dernier rapport dépasse l'unité à partir du mois de novembre (augmentation du débit), ceci indique une augmentation de la teneur en Ca^{2+} provenant de la dissolution des travertins par les eaux de pluies.

Dans la partie Nord (Ras El Fej), les valeurs des rapports sont supérieures à l'unité à l'exception des rapports Ca^{2+} / HCO_3^{-} ; Cl^{-} / HCO_3^{-}. Ceci traduit la prédominance des HCO_3^{-} et Ca^{2+} provenant de la dissolution des roches calcaires et marno-calcaires. Les variations du rapport Cl^{-} / Na, indiquent un lessivage des marnes salifères pendant les fluctuations verticales du niveau piézomètrique dans cette partie de l'aquifère.

La partie Sud-Ouest (El Fedjoudj) obéit pratiquement aux mêmes conditions que la partie Nord. Toutes les valeurs des rapports sont supérieures à l'unité à l'exception des rapports Ca^{2+}/ HCO_3^{-}, Cl^{-}/ HCO_3^{-} et Cl^{-}/ Na^{+}. Les HCO_3^{-} et le Ca^{2+} sont les ions les plus dominants et proviennent des formations carbonatées. Les Cl^{-} et Na^{+} proviennent de la dissolution des marnes salifères intercalées dans les formations calcaires.

c. La nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua :

Dans cet aquifère, les valeurs des rapports caractéristiques Ca^{2+}/ HCO_3^-, Cl^- / HCO_3^- et Cl^- / Na, sont inférieures ou proches de l'unité. Elles indiquent une origine calcaire commune pour les ions HCO_3^- et Ca^{2+} et marnes salifères pour les ions Cl^- et Na+.

Dans les trois aquifères étudiés, les rapports caractéristiques choisis selon les ions dominants, ont permis de déduire l'origine des eaux.

Dans la nappe alluvionnaire, les travertins alimentant en partie la nappe, confèrent aux eaux de la partie Ouest de Oued Zimba, un faciès chimique bicarbonaté calcique où les HCO_3^- et Ca^{2+} prédominent. En revanche, le substratum marneux à gypse, confère aux eaux de la partie Est de Oued Zimba, un faciès chloruré calcique.

Dans l'aquifère des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis, le lessivage des formations calcaires confère aux eaux un faciès bicarbonaté calcique avec une prédominance des HCO_3^- et Ca^{2+}.

Dans l'aquifère des calcaires éocènes de Ras El Agba–Sellaoua, le lessivage et la dissolution de ces formations attribuent aux eaux des sources un faciès bicarbonaté- calcique où les bicarbonates et le calcium prédominent.

III.3.3. Les caracréristiques isotopiques des eaux souterraines dans la région de Guelma :

Introduction :

D'une manière objective l'exploitation des eaux souterraines s'accompagne toujours de plusieurs études pour l'estimation des réserves et la compréhension du comportement des aquifères dans le temps (Hélène et *al*, 2001).

Dans notre région toutes les études antérieures élaborées n'ont jamais fait appel aux techniques isotopiques.

Dans de nombreux cas en l'absence de données hydrodynamiques fiables, ces techniques permettent de comprendre le fonctionnement des aquifères, l'origine des eaux et donc, faciliter la gestion de la ressource.

Dans ce contexte, nous avons essayé de donner une caractérisation isotopique des eaux souterraines de la région d'étude.

Pour ce faire, des analyses isotopiques des eaux de quatorze (14) sources (fig. 57), ont été effectuées en basses eaux (août /2005) ~~et en hautes eaux (Mai /2006)~~ en vue d'étudier les variations isotopiques des isotopes stables de l'oxygène et de l'hydrogène.

III.3.3.1. Généralités sur les isotopes de l'oxygène et de l'hydrogène :

Les variations des teneurs en isotopes stables (^{18}O ; ^{2}H) renseignent sur l'origine des eaux souterraines. Ces variations sont dues au fractionnement qui intervient lors de changement de phases et des réactions chimiques.

Pendant le processus de fractionnement, la vapeur est toujours appauvrie en isotopes lourds par rapport au liquide restant (ou le condensât est toujours enrichi en isotopes lourds par rapport à la vapeur d'origine) .En raison du fractionnement qui dépend de la température, les teneurs en isotopes varient en fonction de plusieurs paramètres tels que :

L'évaporation, l'altitude, la~~L'évaporation~~

~~-L'altitude~~

~~-La~~ latitude, l'effet

~~-L'effet~~ de continentalité (Hélène et al, 2001) et l'interaction avec la

~~-La~~ lithologie du terrain encaissant.

Les variations isotopiques de l'eau (H_2O) des pluies, des neiges, glace, oueds, lacs et la plupart des eaux souterraines de basse température sont extrêmement systématiques. A une grande approximation, toutes les eaux météoriques, sur la terre obéissent à l'équation suivante (Craig, 1961) :

$$\delta D\ (‰) = 8\ \delta O^{18} + 10\ (‰).$$

La relation linéaire entre δO^{18} et δD est due au fait que l'évaporation et la condensation de H_2O, dans l'atmosphère et l'hydrosphère définissent un processus d'équilibre qui est déterminé par le rapport des constantes d'équilibre d'échange de D/H et $^{18}O/^{16}O$ entre l'eau liquide et l'eau vapeur.

A titre d'exemple : à l'équilibre et à des températures ambiantes, H2O vapeur sera appauvri en deutérium par environ 70 ‰ et en ^{18}O par environ 9 ‰ par rapport à l'eau liquide.

Le fractionnement de D/H et de $^{18}O/^{16}O$ augmente proportionnellement avec la diminution de la température d'où le facteur de 8 de la pente de la ligne d'eau météorique (MWL). On sait que les masses d'air s'échappent des océans et vont toujours à travers les continents par différences de pressions. Par effet de continentalité, elles s'approvisionnent en ^{18}O et en deutérium.

Ceci mène par conséquent à des effets isotopiques géographiques et topographiques très importants dans les pluies et neige.

Les valeurs de δD et δO^{18} des eaux météoriques sont donc plus basses à des altitudes plus élevées. La composition isotopique moyenne annuelle est corrélée linéairement avec la température moyenne locale qui est à son tour corrélée avec la latitude et l'altitude. Cette corrélation avec la température est directement liée au fait que l'air chaud contient une quantité importante d'eau que l'air froid et donc la température atmosphérique est le facteur principal qui détermine la fraction d'eau vapeur qui provient de la masse de l'air depuis son départ du réservoir océanique.

La valeur zéro (0) de δO^{18} de l'eau océanique est intermédiaire entre les valeurs de δO^{18} de la plupart des roches (typiquement entre : + 4 ‰ et + 35 ‰ et les

valeurs de toutes les eaux météoriques entre (0 ‰ et –25 ‰) .Au contraire la valeur en **δD** pour tous les matériaux terrestres est négative.

A noter aussi que les valeurs de **δO^{18}** de l'eau dans les régions à haute salinité et évaporation (Mer Rouge) peuvent atteindre + 11 ‰.

Il est important de signaler que la composition isotopique des eaux des océans contrôle celle de toutes les eaux météoriques.

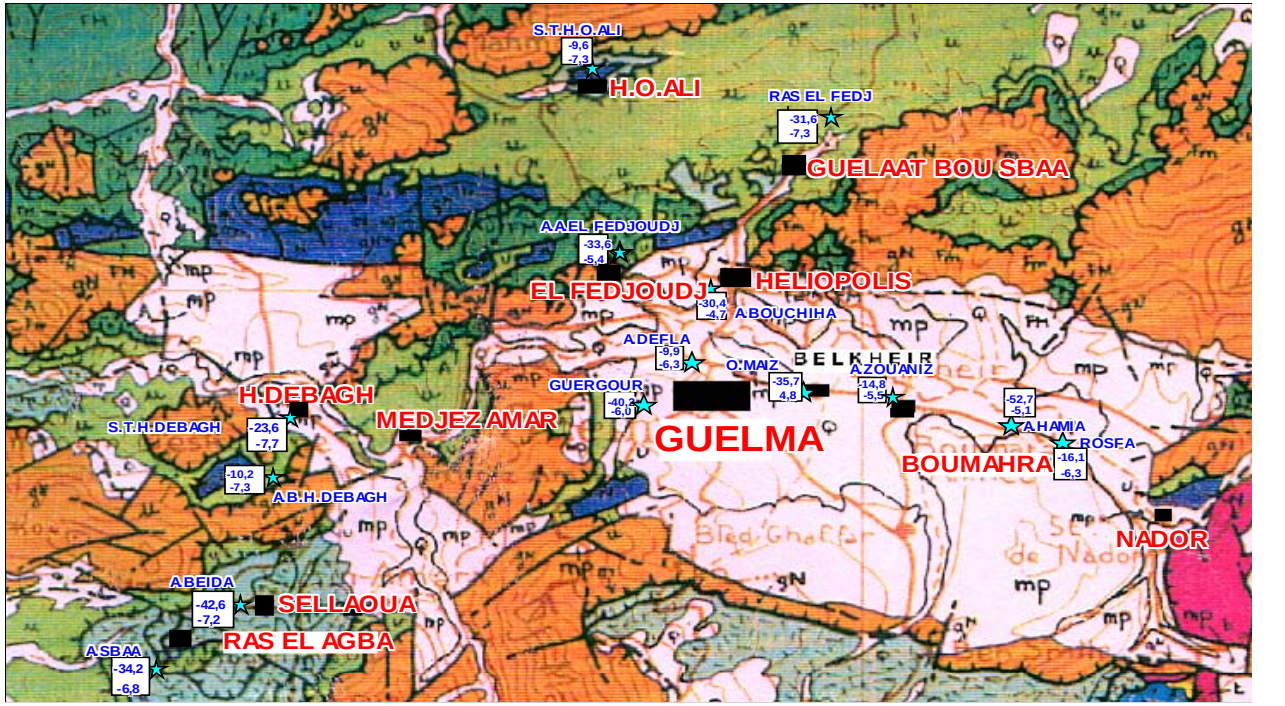
L'intercepte (+10) de la MWL doit dévier vers une valeur supérieure dans les régions à basse humidité. Par exemple dans la méditerranée orientale où l'intercepte peut avoir la valeur de +22 et la valeur de +14 dans la méditerranée occidentale.

En effet notre zone d'étude répond géographiquement aux conditions de la méditerranée occidentale. Les valeurs des isotopes de H2O, (**δD** et **δO^{18}**), seront comparées et interprétées par rapport à la ligne de la méditerranée occidentale d'équation(Hélène et al, 2001) et la M W L(Craig, 1961) (fig. 58) :

$$\delta D = 8.\ \delta O^{18} + 14.$$

Zone d'étude :

Pour les caractéristiques isotopiques, quatre sources supplémentaires ont été rajoutées. Les deux sources thermo- minérales de Hammam Débagh et Ouled Ali, la 3ème au Sud de Hammam Débagh située à 1000m d'altitude et la 4ème située au Nord de la ville de Guelma dans la terrasse actuelle (fig. 57).



N

Fig.57 Valeur des isotopes stables de l'eau dans la région de Guelma

Légende :

III.3.3.2. Echantillonage :

Les quatorze échantillons ont été prélevés en date du 10/08/2005 dans la matinée dans des tubes en polyéthylène d'une dizaine de millilitres, remplis à ras bord et fermés hermétiquement pour éliminer les bulles d'air.

III.3.3.3~~2~~. Méthodologie :

Les analyses isotopiques de ^{18}O et ^{2}H ont été réalisées au moyen d'un spectromètre de masse. Pour l'analyse de l'^{18}O ; un microlitre(1µl) d'eau a été chauffé à haute température pour l'obtention d'une vapeur (gaz) qui sera injectée à travers le spectromètre de masse pour l'analyse.

La même technique a été entreprise pour le ^{2}H à partir d'un µl d'eau.

III.3.3.4~~3~~. Résultats et discussions :

Les résultats des analyses isotopiques des quatorze sources ont permis de positionner les couples de valeurs sur la figure 58.

La représentation graphique des couples de valeurs, selon la relation **δD** et **δO^{18}**, permet de dégager trois classes de sources :

a. La première classe :

Les eaux des sources de (1à5) : les couples de valeurs isotopiques ont donné des points situés à droite de la MWL. Ces eaux sont riches en **δO^{18}** avec des valeurs allant de : **(- 4,7 ‰** à **- 6,0 ‰)** et des valeurs faibles en **δD** allant de : **(- 30,4** à **- 52,7) ‰**.

Cet enrichissement en de **δO^{18}**serait provoqué par une évaporation pendant l'été (Criss et *al,* 2000).

b. La deuxième classe :

Les eaux des sources de (8 à 12) : dans ce cas, les points sont situés à gauche de la ligne de la méditerranée occidentale. Ces eaux sont enrichies en **δO^{18}** et en **δD** avec des valeurs de **δO^{18}** entre : **(- 5,5 et - 7,3) ‰** et des valeurs de **δD** entre : **(- 9,6 et - 14,8) ‰**.

Ces valeurs indiquent une origine des eaux peu profondes et exposées à l'évaporation.

c. La troisième classe :

Les eaux des sources (6, 7, 13 et 14) : les points représentatifs sont situés à gauche de la ligne des eaux de la méditerranée occidentale avec des valeurs isotopiques plus basses. Pour les valeurs de :

δD: (- 23,6 à **- 42,6)** ‰ ~~‰~~

et pour les valeurs de **δO^{18}: (- 6,8** à **- 7,7)** ‰~~‰~~**.**

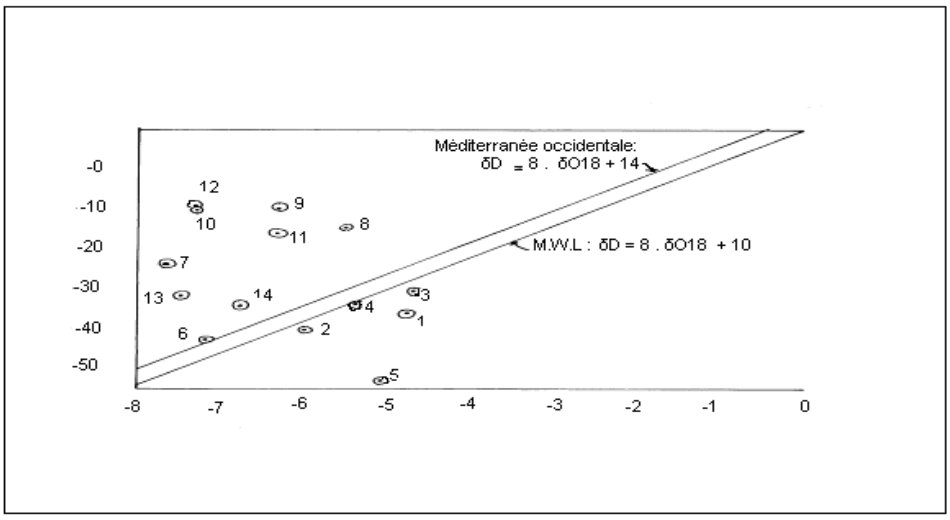


Fig.58 : Relation. δD - δO^{18} des eaux souterraines dans la région de Guelma en basses eaux période (Août 2005).

Mis en forme : Police :(Par défaut) Arial, 12 pt, Gras, Police de script complexe :Arial, 12 pt, Gras

Mis en forme : Police :(Par défaut) Arial, 11 pt, Gras, Police de script complexe :Arial, 11 pt

Mis en forme : Police :(Par défaut) Arial, 11 pt, Gras, Police de script complexe :Arial, 11 pt

Mis en forme : Police :(Par défaut) Arial, 11 pt, Gras, Police de script complexe :Arial, 11 pt

Conclusion :

L'interprétation des différents résultats d'analyses, a permis de dégager d'une manière objective les conclusions suivantes :

- L'origine du chimisme des eaux dans les trois aquifères est étroitement liée à l'interférence de plusieurs facteurs (pluies, géologie, sens des écoulements, activités anthropiques….).
- Les paramètres physicochimiques ont permis de caractériser les eaux souterraines dans la région d'étude.
- Ces caractéristiques sont confirmées par les valeurs des variations isotopiques.
- Le temps de contact de l'eau et la roche favorise une dissolution conséquente d'ions et augmente sa composition chimique globale.
- Les eaux d'infiltration de pluies ou d'irrigations font diluer la composition chimique des eaux souterraines.
- L'évaporation en revanche provoque la reconcentration des eaux en ions.

II. 1. Cadre géologique :

La région d'étude fait partie des zones externes de la chaîne des maghrébides de l'Algérie orientale. Le bassin de Guelma est une dépression remplie d'alluvions plio-quaternaires et entourée de diverses nappes, donnant naissance aux actuelles montagnes : Mahouna au Sud, Haouara au Nord et Débar au Nord-Ouest. L'Oued Seybouse traverse les formations plio-quaternaires de l'actuelle terrasse d'Ouest en Est.

II.1.1. Stratigraphie des différentes unités structurales :

D'après (Vila, 1980), on distingue de haut en bas : le quaternaire, le mio-pliocène, la nappe numidienne, les nappes des flyschs, la nappe ultra-tellienne, la nappe tellienne et la nappe néritique constantinoise (fig.13).

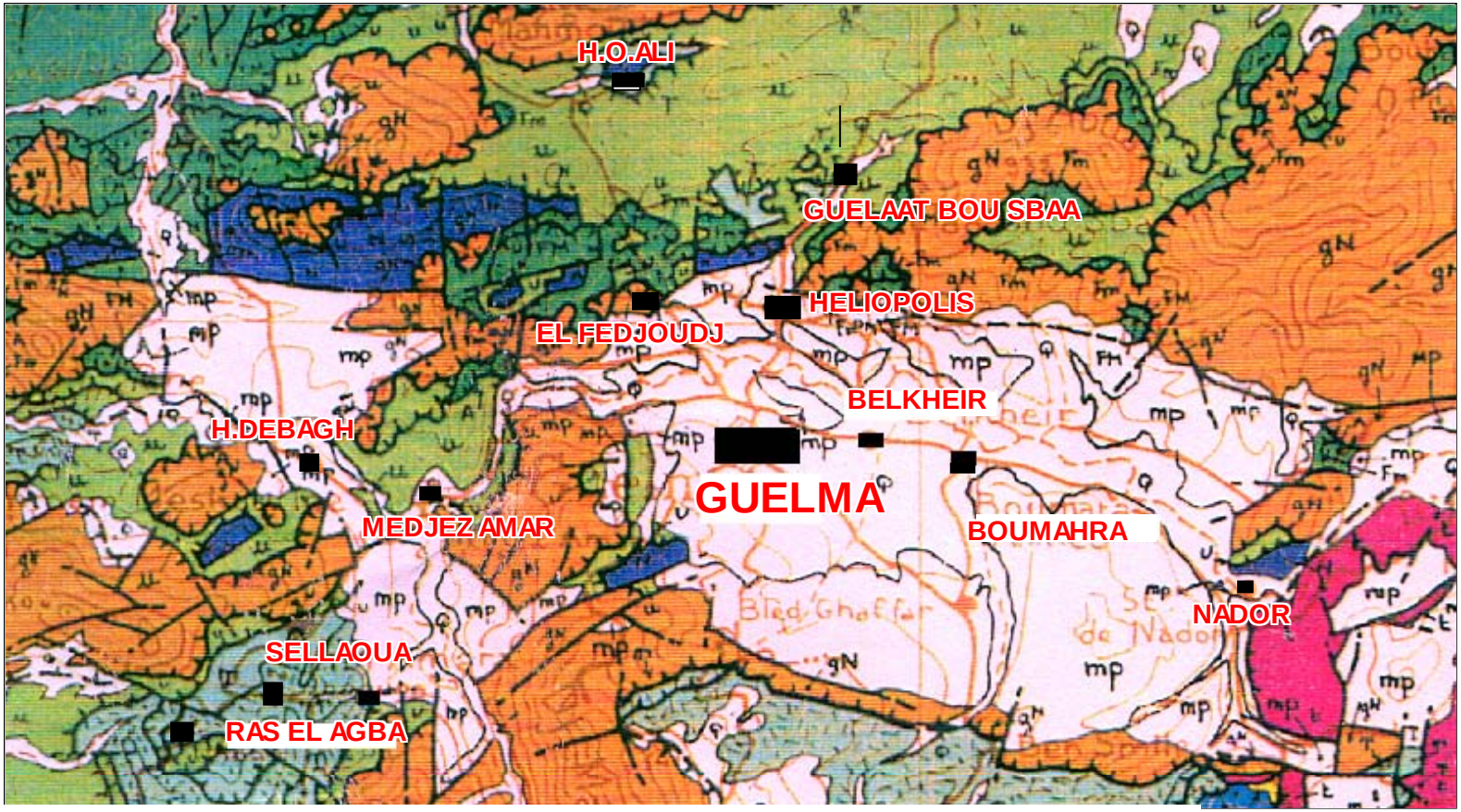


Fig.13: Carte structurale de Constantine, 1/500 000 ème, (J.M.Vila, 1978)

Légende :

Echelle
0 10 20
Kilomètre

formations récentes
Miocène continental à gypse
Molasse de Guelma
FORMATIONS CHARRIEES
LA NAPPE DE FLYSCHS
Nappe Numidienne
Nappe du flysch de Penthièvre
Nappe du flysch de type Guerrouch

NAPPES TELLIENNES
Nappe pré-Kabyle Méridionale à Formation.
a. Adissa.
b. complexe à microbrèches.
c. Barremien, Aptien à Ammonites
Nappe ultra-tellienne du djébel Aouara.
Nappe épi-ultra-tellienne du djébel bou sba
a-Crétacé
b-Eocène

Nappe épi-tellienne du hammam Ouled Ali
Nappe épi et méso-tellienne du sud de Guelma
Trias gypsifère exotique
UNITE HERITIQUE CONSTANTINOISE

II.1.1.1. Les formations récentes

II.1.1.1.1. Le Quaternaire :

D'Oust en Est, l'Oued Seybouse a déposé des quantités importantes de matériaux détritiques. De haut en bas, on distingue les terrasses suivantes :

1. La basse terrasse (d'âge Soltanien) : elle est constituée des alluvions du lit de l'Oued actuel avec 15 m d'épaisseur. Ce sont essentiellement des limons et cailloux enroulés brun clair ou grisâtres formant des terres arables favorables aux cultures maraîchères et agrumes.

2. La moyenne terrasse (d'âge Tensifien) : elle est située surtout entre 30 à 50 m d'altitude et constituée de sable et limons et des blocs roulés dans une matrice argileuse de couleur ocre.

3. La haute terrasse (d'âge Salétien) : ce sont des formations qui présentent un épandage en pente douce vers le Sud. Elles sont constituées de gros galets de type *Ranà* dans le djebel Zemzouma au Nord et peuvent atteindre les 100 m d'épaisseur. Au Sud ce sont des calcaires lacustres et tufs d'age Quaternaire ancien à Pliocène supérieur qui occupent de grandes surfaces. Les croûtes calcaires qui apparaissent aussi au centre d'Héliopolis sont parfois tuffacés ou massifs gris à blanc rosé riches en oogones de *Charophytes* (Vila ,1980).

II.1.1.2. Le Mio-Pliocène :

Ce sont des argiles grises avec intercalations de marno-calcaires et gypse en couches minces. Elles surmontent des argiles et des conglomérats rouges.

La mollasse de Guelma : c'est une épaisse série d'intercalations d'argile marneuse et de grès jaunâtres friables bien développée au Sud de Guelma.

II.1.1.3. La nappe numidienne :

Elle constitue les sommets des reliefs en l'occurrence de Djebel Haouara, Beni Mezline et Mahouna . Elle est marquée par la présence d'un faciès gréseux et argileux à *Tubotomaculum* (Lahondère, 1987). La base de la série numidienne est représentée par des argiles à *Tubotomaculum,* (ce sont les argiles sous numidiennes) surmontées par les bancs de grés parfois métriques avec de rares niveaux argileux.

II.1.1.4. La nappe des Flyschs :

Les affleurements sont dispersés à la périphérie des vastes radeaux numidiens qui ceinturent la cuvette de Guelma. Vila (1980) distingue:

- Cénomanien-Turonien : Il est représenté par des niveaux bréchiques clairs bien classés en bancs à bandes silicifiées blanches. Ces formations sont datées par *: Rotalipona sp, Thalmanninella sp et Globotrucana helvética*

- Sénonien : C'est une série conglomératique et argileuse d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur. Les bancs les plus épais (50 à 60cm) montrent des figures de convolute "bedding". Ce sont les faciès les plus méridionaux du flysch. Dans les affleurements des talus Ouest de la route Guelma-Annaba, la microfaune est représentée par : *Globotruncana Sheegansi et de rares orbitoides* Tissoti*.*

II.1.1.4.1. Flysch de type Guerrouch :

- Le Crétacé inférieur : c'est une série gréseuse à intercalations argilo- schisteuses grises ou brunâtres. Elle affleure à Ain Sefra au pied- mont de Mahouna. A la base, elle montre quelques bancs calcaires à *Nannoconus*.

-Le complexe de base avec calcaires fins: c'est une série argilo –gréseuse à intercalations de biomicrites claires en bancs centimétriques très froissés à *Nannoconus*.

II.1.1.5. La nappe ultra –tellienne :

Ce terme a été proposé par Durand Delga pour désigner dans la région de Guelma, les séries superposées anormalement au Crétacé néritique constantinois du Djebel Débar et du Douar Bouzitoune (Vila,1980). Ces séries sont définies par le critère simple de dominance des faciès clairs durant tout le Crétacé.

II.1.1.5.1. La nappe ultra-tellienne du Djebel Haouara :

Ce sont de vastes affleurements qui se situent entre la foret des Beni Ahmed et celle des Beni Mezline, au Nord du Kef Ras Bardou et du Djebel Haouara. Les formations sont constituées par l'alternance de marnes claires beiges ou jaunes et de marno-calcaires en petits bancs de même teinte, riches en *Rosalines*.

L'age de la série est compris entre le Sénonien inférieur et le Barrémien supérieur qui contient *Phyllopachyceras Barodeuse Cop*.

II.1.1.5.2. La nappe ultra- tellienne de Djebel bou Sbaa :

L'age de la série est compris entre l'Aptien et le Lutétien. Elle est développée essentiellement au Nord de la zone d'étude, dans la région de Guelaat Bou Sbaa. On trouve aussi des témoins de cette série près de Mjez Amar au Tebiebe Amar, au Sud-Ouest de Guelma et près de la station de Nador à l'Est. Les microfaunes ayant servi à la datation sont variées. On peut citer entre autres, une microfaune à *Truncorotalia gr*, visible sur la berge est de l'Oued Seybouse près de Mjez Amar, *Globorotalia rex Martin* et *G.aff.Velascoensis* (CUSH) dans les marno-calcaires à cassure noire fétide et bitumineuse au nord de Djebel Débar (Vila et *al*, 1968).

II .1.1.6. La nappe tellienne :

La nappe tellienne correspond au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes.

II.1.1.6.1. La nappe tellienne de Hammam Ouled Ali :

Elle affleure au pied du Djebel Bou Sbaa et autour du pointement néritique du Djebel Débar).

Cette unité regroupe tous les terrains situés sur la série néritique constantinoise et la nappe ultra-tellienne du djebel Bou Sbaa (Vila, 1980). Ce regroupement est justifié par une remarquable dominante des teintes noires dans les faciès. La microfaune est représentée par *Globotruncana stuartiformis* DALB*, Rotalipora sp* et *Hedbergella Washitensis Carsey.*

II.1.1.6.2. La nappe tellienne de la région de Ras El Agba-Sellaoua Announa :

Elle correspond au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes où l'on distingue :

(1) L'unité tellienne inférieure à nummulites qui comprend un Paléogène à marnes noires et un Eocène calcaire massif à nummulites.

(2) l'unité tellienne supérieure à *Globigérines* qui comprend un Paléocène constitué de marnes, un Eocène à calcaires en bancs à lumachelles et un Lutétien inférieur à marnes noires à débris d'huîtres et à boules jaunes carbonatées.

II.1.1.7. La nappe néritique constantinoise :

Les affleurements néritiques dans la région de Guelma, représentent la terminaison orientale du domaine néritique. Ces affleurements sont isolés et de tailles variables (Vila , 1980). Ils apparaissent au sommet oriental du Djebel Débar, s'ennoient à l'Est sous les nappes précédemment citées pour réapparaître en fenêtres à Hammam Ouled Ali, au Douar Bouzitoune, à la piscine romaine d'Heliopolis et enfin à l'Ouest de la station Nador.

II.1.1.7.1. A l'Est de Djebel Debar :

On distingue de haut en bas :

- Les niveau siliceux : ce sont des roches très minéralisées et mal stratifiées résultant d'une silicification au niveau d'une zone de broyage entre les calcaire à silex du sommet du Sénonien supérieur et les calcaires à silex de l'Eocène allochtone tellien.

- Les calcaires massifs organo- détritiques à *orbitoides cf. Média* D'ARCH attribués au Campanien.

-A la base, les dolomies noires épaisses de 250 à 300 m largement cristallines supportent toute la série.

II.1.1.7.2. A Hammam Ouled Ali :

A l'Est de la station thermale, affleure une fenêtre d'une série à faciès carbonatés biodétriques d'âge sénonien sous les marno calcaires de la série ultra –tellienne.

II.1.1.7.3. Au Douar Bouzitoune- Heliopolis:

Ces affleurements présentent une série complète où sont datés : l'Aptien supérieur à *Orbitolina Subconcava Parocoskinolina Sunnilandensis*, le Vraconien Cénomanien inférieur à *Orbitolines* roulées et à *Mélobésiées*, le Sénonien transgressif sur des niveaux à *orbitoides Medina*, *Sidérolites Vidali, Globotruncana Linnei* du Campanien ou du Maestrichtien basal.

II.1.1.7.4. A la station Nador:

Sous les calcaires massifs à *Rudistes* du Barrémien, l'existence des niveaux à *Favreina Salevensis* et *F.Prusensis* au dessus d'un ensemble de couches pélitiques ou gréseuses rouges attribués au Trias moyen et supérieur témoigne du passage Jurassique Crétacé.

II.1.2. Schéma structural :

La structure actuelle de la région d'étude est la conséquence d'une série de mouvements tectoniques. Les différentes phases mises en évidence peuvent se résumer ainsi :

II.1.2.1. La phase éocène dite atlasique:

Elle marque la fin du grand cycle de sédimentation qui a commencé avec les dépôts du Trias supérieur. Elle est responsable de la genèse des flyschs et des nappes telliennes, y compris les plus méridionales où sont enregistrés des plis couchés spectaculaires.

II.1.2.2. La phase miocène inférieure :

Elle est responsable de la naissance de l'édifice actuel.

- charriage des nappes telliennes
- écaillage de l'avant pays

II.1.2.3. La phase tectonique post-nappe:

Du Tortonien à l'actuel, la région a connu le jeu de plusieurs déformations plicatives et cassantes qui se sont succédées et/ou sont combinées,(Vila ,1980). Ces accidents ont dessiné un réseau spectaculaire de failles de direction atlasique ou d'Est en Ouest. L'accident qui borde au Nord du bassin mio-pliocène de Guelma est bien défini. Cette grande faille est interceptée par de petites failles qui lui sont perpendiculaires.

Le bassin de Guelma a connu la succession de compressions et de distensions modérées. La tectonique de cette région est en fait très compliquée dans le détail. On peut remarquer que les sources thermo minérales se situent au croisement des plis de direction (NE-SW). Dans la première direction il s'agit de la tectonique de mise en place des nappes, dans la deuxième orientation(E-W), c'est la tectonique de réajustement de l'édifice et la naissance du relief actuel.

II.1.3. Reconstitution paléogéographique :

Le paysage de la région d'étude a du être édifié suite à la manifestation de phases tectoniques, donnant la disposition actuelle des différentes unités allochtones. La genèse du relief actuel a débuté pendant le Miocène inférieur suite à la compression de l'édifice et une transgression de la mer miocène. Le résultat a donné la mise en place des unités telliennes dans le sillon de Sellaoua et sur le domaine néritique. Les formations numidiennes viennent ensuite pour couronner tout l'ensemble. A partir du Miocène supérieur ; la mer miocène a connu une régression synchrone avec des mouvements de réajustement de l'édifice. Ces derniers ont conduit à la naissance du bassin actuel de Guelma. Ce phénomène d'éventrement vers le début du quaternaire est facilité par l'existence de grands reliefs endossant le bassin au Nord par Djebel Haouara et au Sud par la Mahouna. L'érosion continue à laquelle était exposé cet édifice a mis à jour les alluvions couvrant toute la vallée et formé les terrasses :

- Mio-Pliocène : naissance et remplissage du bassin.
- Quaternaire : ancien et récent - éventrement du bassin
  - écoulement
  - naissance de la vallée de la seybouse
  - dépôts des alluvions

Conclusion :

La zone d'étude fait partie du domaine externe de la chaîne Alpine de l'Algérie orientale. La région est un pays de nappes de charriages. Les terrains qui constituent le sol et le sous sol sont variés et leurs ages oscillent entre le Trias et le Quaternaire. Du point de vue géomorphologique, la région d'étude correspond à une dépression à valeur de bassin allongé d'Est en Ouest dans laquelle se sont accumulés des dépôts du Néogène.

Ce bassin est adossé au Nord comme au Sud à des reliefs constitués de terrains allochtones appartenant pour l'essentiel au domaine tellien constitué de marnes et de carbonates d'âge méso- cénozoïque et dont la sédimentation, de mer ouverte, s'est effectuée en domaine pélagique (unités telliennes).

Le néritique constantinois qui présente la terminaison orientale du domaine, apparait à la faveur de fenêtres,au pic du Djebel Débar, à l'Est de Hammam ouled Ali, à Heliopolis et à l'Ouest de Nador. D'Ouest en Est ces formations carbonatées constituent le substratum des nappes telliennes de Guelma.

II.2. Cadre hydrogéologique :

Cette partie traite de l'identification des différents aquifères exploités et essaye de donner des estimations approximatives des ressources souterraines disponibles dans la zone d'étude. A la base de la description des différentes unités géologiques et de l'interprétation des coupes géoélectriques recueillies dans les différentes études élaborées par (ENAGEO, 1971, Algéo, 1997 et C.R.A.A.G, 2004), nous avons pu identifier et localiser les trois aquifères suivants : (1) la nappe alluvionnaire de Guelma ; située au centre de la zone d'étude, (2) la nappe des calcaires néritiques et sénoniens de la région d'Héliopolis et (3) la nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba- Sellaoua-Announa.

II.2.1. La nappe alluvionnaire de Guelma :

Elle est située dans la vallée de l'Oued Seybouse en grande partie sur sa rive droite. Elle est sillonnée par l'Oued Seybouse d'Ouest en Est, depuis Medjez Amar jusqu'à Nador. C'est une zone d'effondrement comblée par des dépôts miocènes (argiles et marnes à gypses) et quaternaires (alluvions hétérogènes sous forme de terrasses).

Ces alluvions sont perméables et sont alimentés par les eaux d'infiltrations des pluies et les apports latéraux du bassin versant de l'Oued Seybouse. Elle est constituée de trois terrasses distinctes (basse, moyenne, et haute). Trois coupes hydrogéologiques AA', BB' et CC', ont été dressées pour faire une description lithologique de cette nappe.

Cette description est confirmée par les coupes géoélectriques DD' et EE'. L'ensemble des coupes est illustré dans la figure 14.

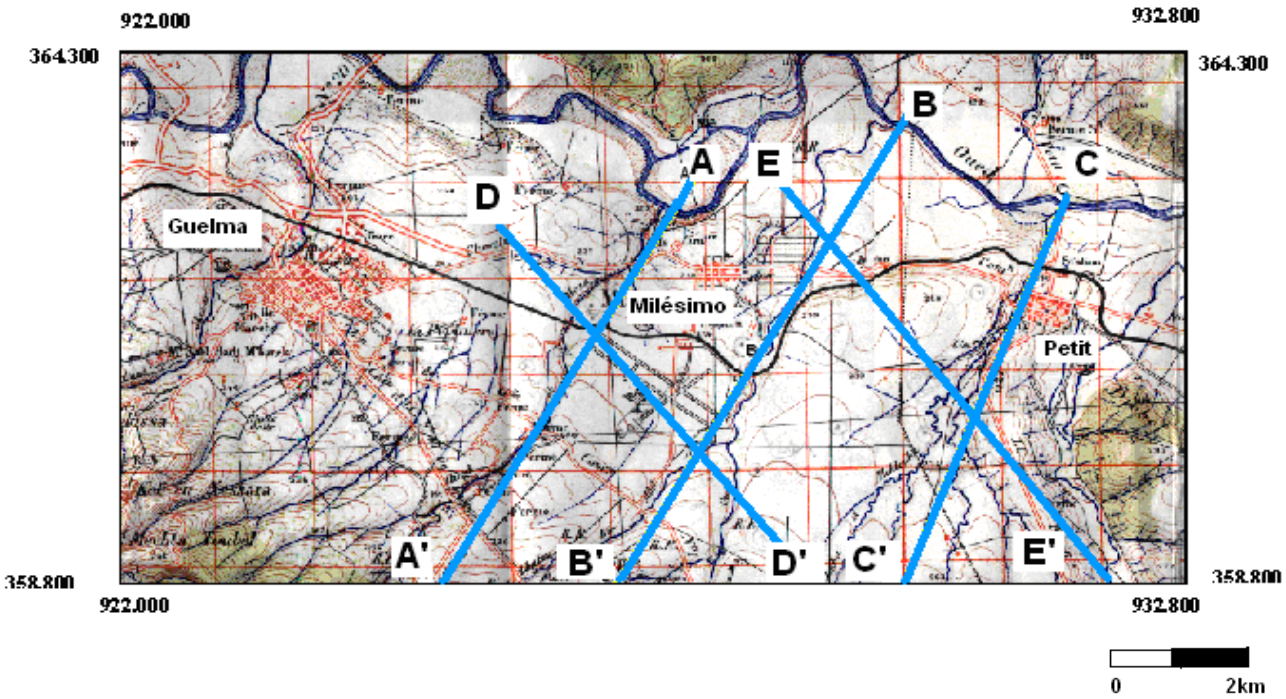
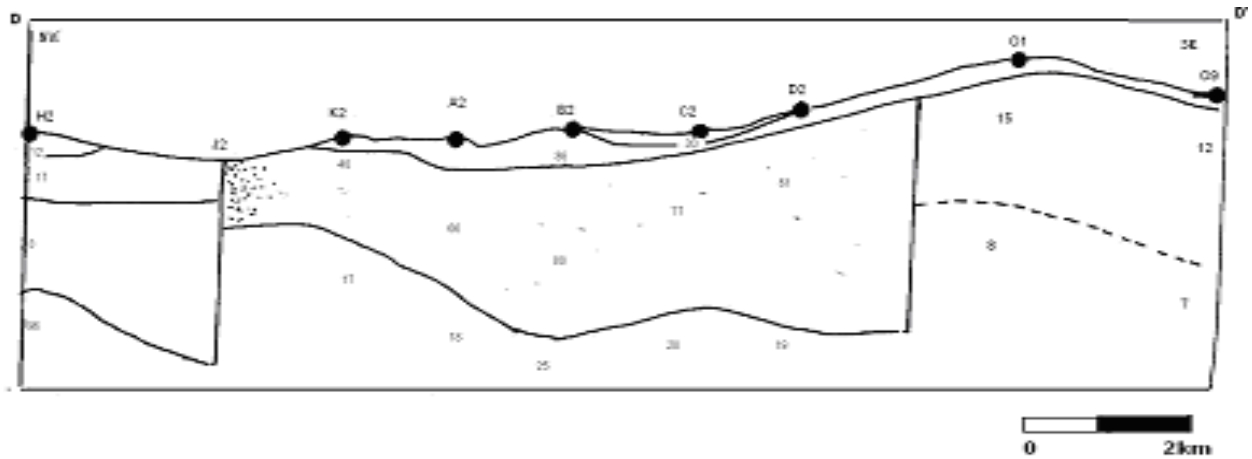


Fig.14 : Plan de position des coupes dans la plaine de Guelma.

La figure 15, montre une partie centrale épaisse et résistante (80 Ωm) correspondant à la nappe alluvionnaire limitée par deux failles correspondant aux axes des Oueds Maiz et Zimba. Cette partie peut présenter un intérêt aquifère (Zeddouri,2003).



<u>Fig. 15</u> : Coupe géoélectrique DD'.

De part et d'autre, cette partie est limitée par deux horizons de faibles résistivités que l'on peut attribuer aux marnes argileuses. La figure 16, montre aussi entre les points de sondage, A4 et C4, une couche épaisse de 100 à 120 m et de résistivité égale à 150 Ωm que l'on peut attribuer aux alluvions grossières de la nappe et donc d'intérêt aquifère.

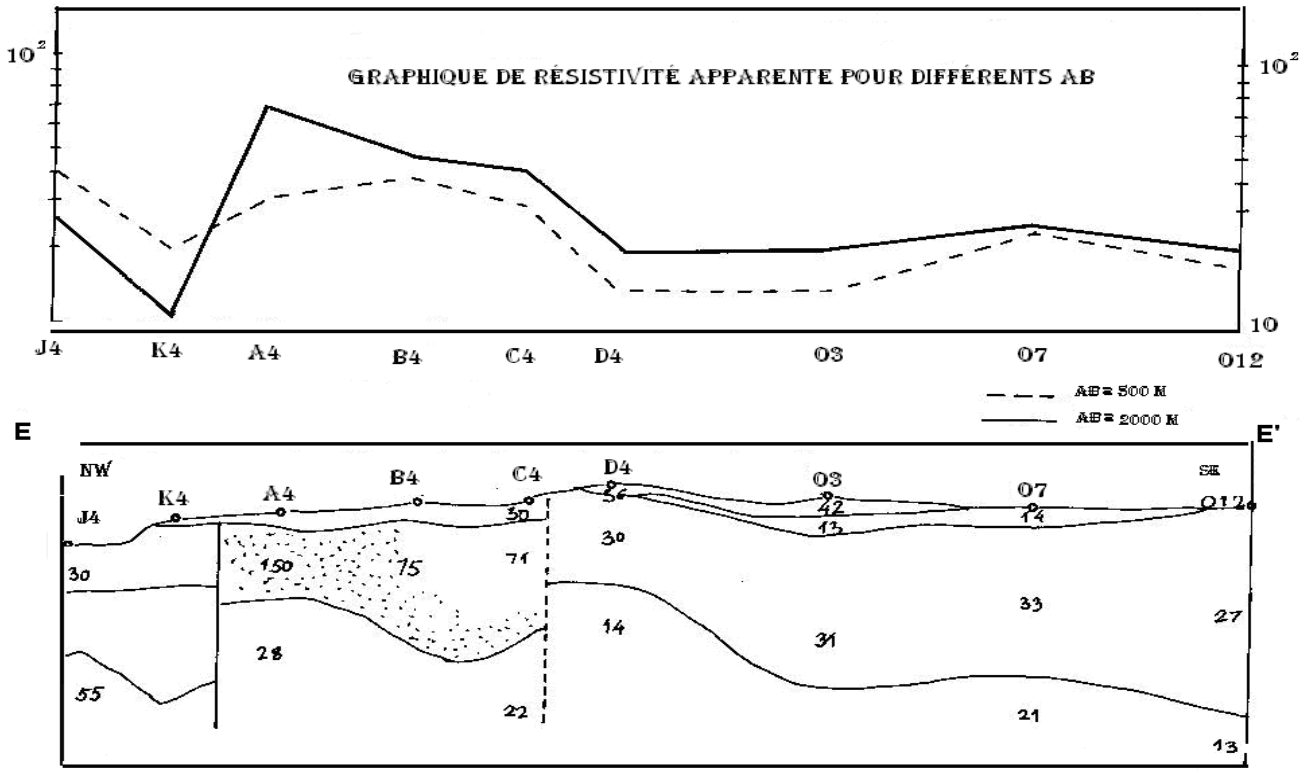


Fig. 16 : Coupe géoélectrique EE'.

0 2km

II.2.1.1. La basse terrasse (terrasse actuelle) : c'est la vallée dans laquelle coule l'actuel Oued Seybouse. Elle est formée de graviers, de sable et de galets. Son épaisseur n'est pas importante et croit d'Ouest en Est entre 8 m au Nord la ville de Guelma et 16 m au Nord de Boumahra. Le substratum est constitué de marnes à gypses et d'argiles du Miocène dans sa partie Ouest. A l'Est, il est constitué d'argiles et de grès numidiens. Cette partie est exploitée par des puits ordinaires de quelques mètres de profondeur.

I.2.1.2. La moyenne terrasse : elle est constituée d'un matériel détritique relativement fin en alternance avec des passées argileuses. Le substratum est toujours marneux à gypse. On remarque que l'épaisseur est plus importante que celle de la basse terrasse.

II.2.1.3. La haute terrasse : elle est située au Sud de la moyenne terrasse et est formée d'alluvions grossières plio-quaternaires (galets, graviers, grès,sables et quelques passées argileuses) perméables. La couche superficielle montre une affinité argileuse nette.

Le substratum est aussi constitué de marnes à gypses et d'argiles du Miocène jusqu'à l'Oued Boussora. Vers l'Est, il est constitué d'argiles éocènes. L'épaisseur de cette partie de la nappe aquifère est plus importante que celles des deux premières et varie de 50 m à 150 m par endroits (H'Fais) entre Belkheir et Boumahra.

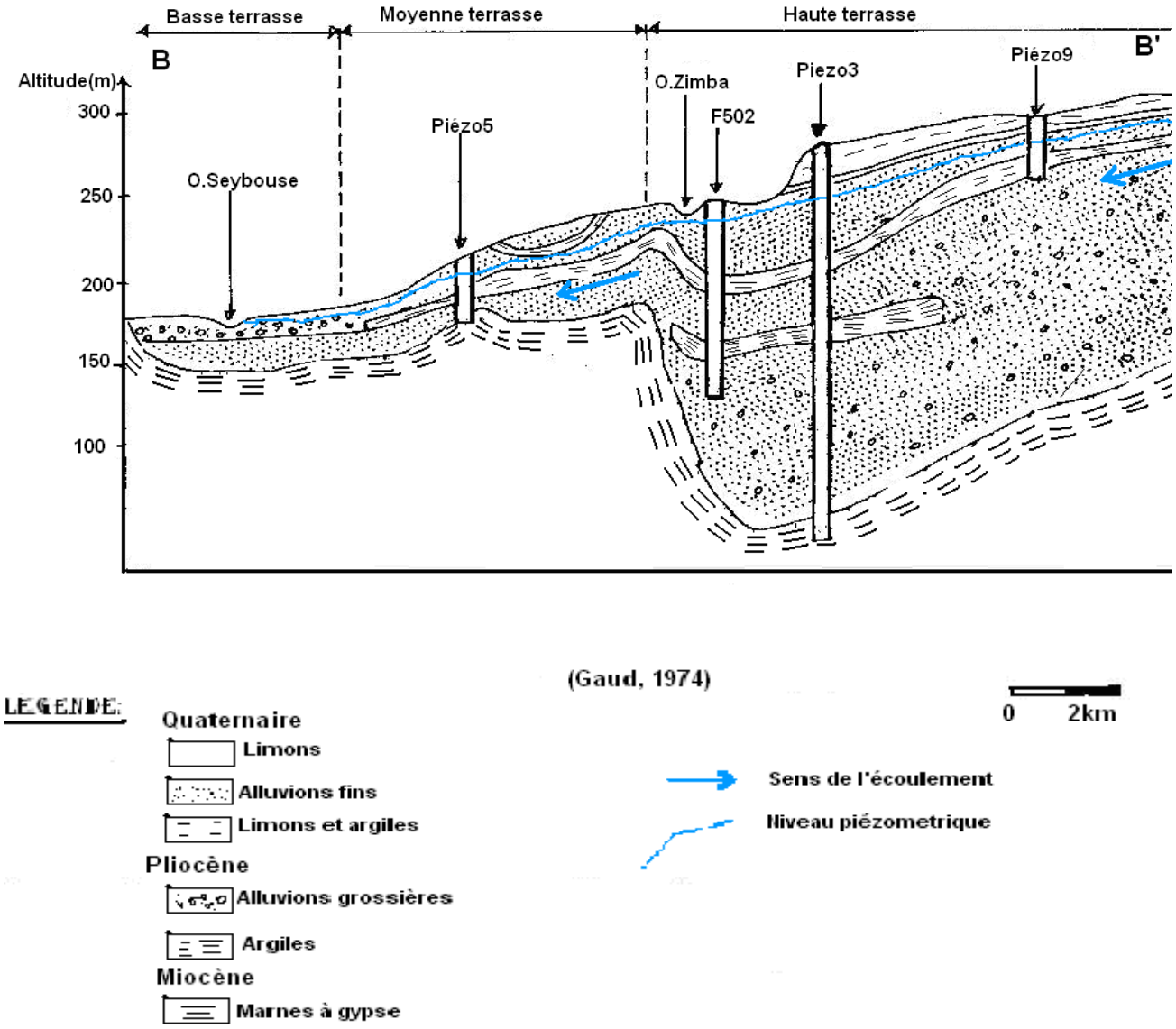


Fig. 17 : Coupe Hydrogéologique BB'.

Elle est limitée au Sud par les travertins de Guelma qui l'alimentent en partie (figure 18).

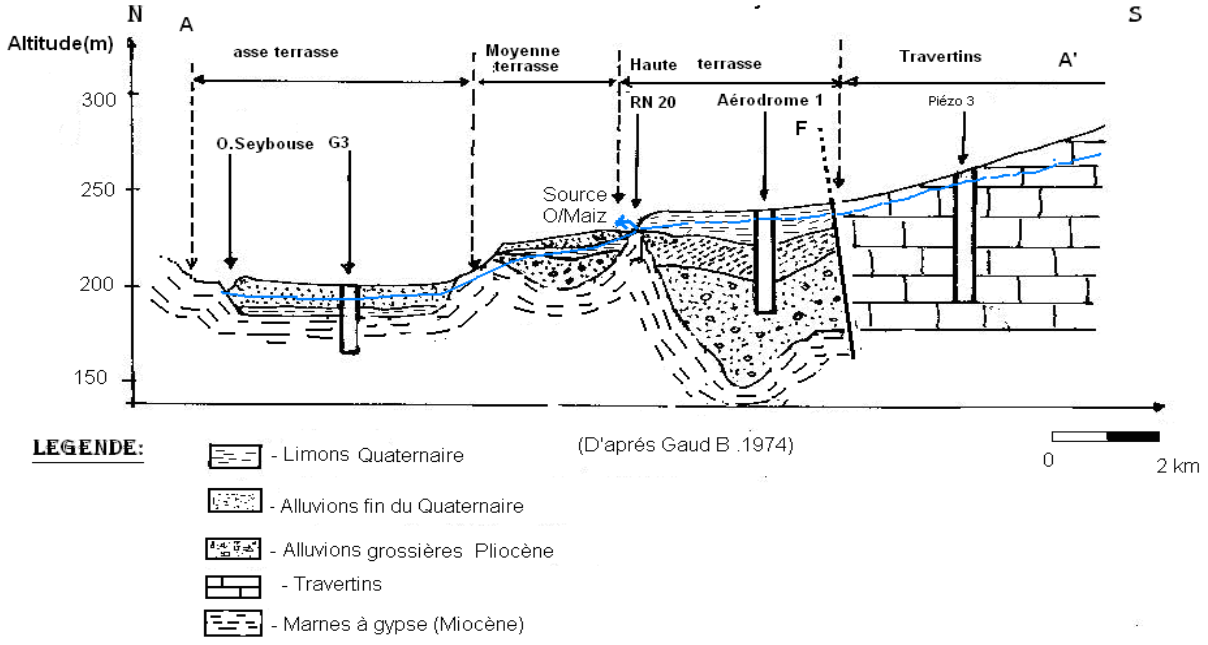


Fig. 18 : Coupe hydrogéologique AA'.

Cette disposition n'est plus la même entre Belkheir et Boumahra, la distinction entre les différentes terrasses n'est plus possible (fig. 19).

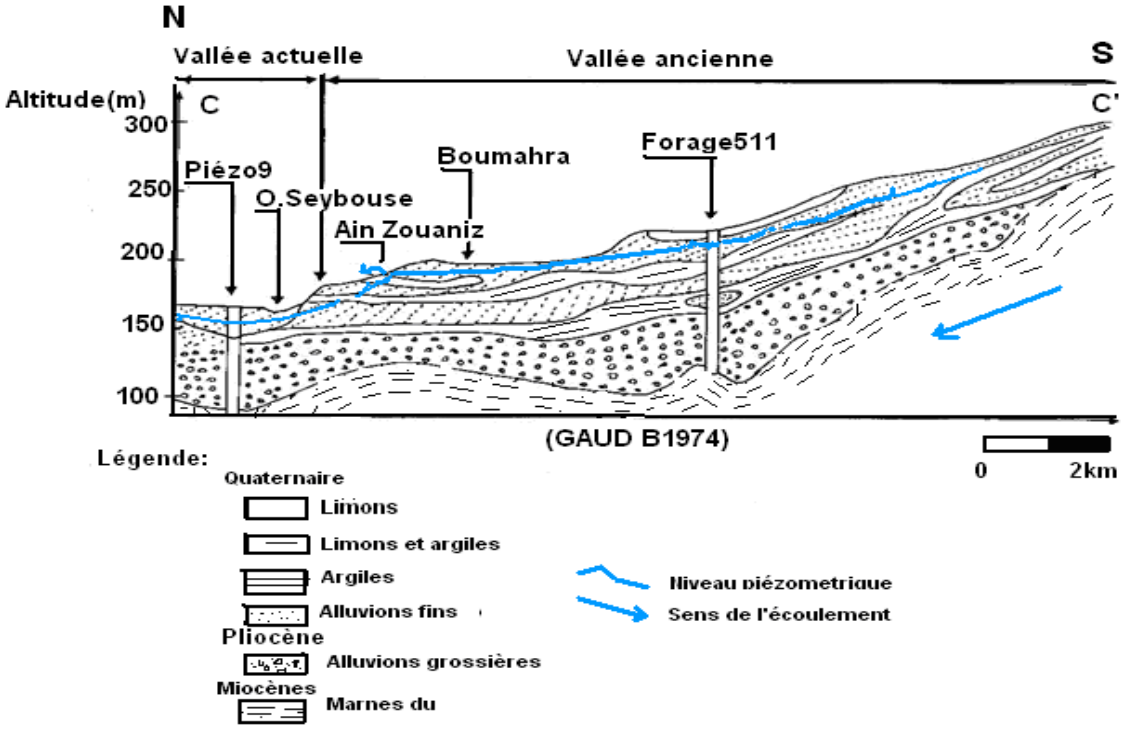


Fig. 19 : Coupe hydrogéologique CC'.

Estimation des réserves :

D'après le tableau 13, les valeurs des transmissivités des matériaux sont relativement élevées entre l'axe Belkheir –Boumahra. Elles diminuent d'Ouest en Est et du Nord au Sud. Cette décroissance serait attribuée à la nature granulométrique des alluvions et à l'existence ou non de la trame argileuse. Au Nord, les ouvrages captent les alluvions grossières ou la trame argileuse s'intercale en petites lentilles minces et isolées. Par contre au Sud, cette trame argileuse est plus prononcée et influence négativement la perméabilité des alluvions.

FORAGE	X (km)	Y (km)	T (m²/s)
G1	926,200	361,700	0,9 x 10-3
F3	924,900	360,750	0,8 x 10-3
G3Bis	926,810	363,500	0,5 x 10-3
SNTR(4)	928,400	361,200	1,0 x 10-3
SOGEDIA	928,350	361,200	1,0 x 10-3
G5	928,100	359,100	1,1 x 10-3
O/MAIZ 3(F3)	926,650	361,550	0,7 x 10-3
FERME ROUGE	925,050	361,900	0,8 x 10-3
SONACOME	925,250	362,000	1,3 x 10-3
SG 1	926,200	361,700	1,0 x 10-3
BA 1BIS	931,000	361,450	1,5 x 10-3
BA 2	928,500	361,300	1,4 x 10-3
BA 3	929,300	360,400	1,5 x 10-3
BA5	930,700	360,100	1,5 x 10-3
BK 1	926,250	360,500	1,2 x 10-3
EUCALYPTUS(F2)	926,850	361,700	0,9 x 10-3
O/MAIZ 1(F1)	926,650	361,600	0,8 x 10-3
O/MAIZ (RAILS)	921,250	365,900	0,8 x 10-3

Tableau 13 : Valeurs des transmissivités dans la plaine de Guelma.

La nappe alluvionnaire de Guelma a fait l'objet d'une étude hydrogéologique pour l'estimation des réserves en eaux souterraines (1973/ 74). Dans cette étude, Gaud.B a donné les débits suivants :

A l'entrée du système : 1996 l/s et à la sortie du système : 2670 l/s. Donc la plaine a fourni : 2670 - 1996 = 674 l/s.

Actuellement la station hydrométrique de Nador est à l'arrêt, donc la méconnaissance du débit à la sortie de la plaine ne permet pas de connaître celui fourni par le système. Mais à partir des forages alimentant les différents centres, le débit total exploité est estimé à 430 l/s au 31/12/2005.

II.2.1.4.piézomètre :

Forage	X(m)	Y(m)	Z(m)	NS(m)	ND(m)
oued Maiz OM1(puits)	**926,900**	**361,950**	**230**	8,50	12,00
Oued Maiz(Eucalyptus)	**926,800**	**361,900**	**235**	8,70	17,40
Oued Maiz(Daoura)	**926,750**	**361,850**	**237**		13,00
oued Maiz OM2(rail)	**926,600**	**361,600**	**213,42**	4,58	8,00
Ferme Rouge	**926,350**	**362,050**	**237**	21,00	25,00
ExSogedia G6Bis	**926,200**	**361,800**	**242**	8,20	12,00
Sonacome F1	**925,250**	**362,000**	**245**	18,00	23,00
F1 - SNIC-	**925,600**	**362,100**	**246**	10,00	15,00
Guelma G3	**926,810**	**363,490**	**184,55**	4,20	9,00
SNTR- G2	**928,400**	**360,850**	**233**	15,00	38,50
Capra	**927,800**	**361,000**	**232**	28,00	35,00
Sogedia G4	**928,200**	**361,300**	**283**	9,38	41,90
BK1	**928,170**	**361,350**	**226**	5,50	10,00
BK2	**927,750**	**360,450**	**230**	28,00	35,00
Guelma G5 Bis	**928,100**	**359,000**	**270**	45,80	56,10
BA2	**929,500**	**358,500**	**260**	41,00	60,90
BA3	**929,300**	**360,400**	**240**	29,00	43,00
BA5	**930,260**	**360,100**	**230**		47,00
P1	**927,550**	**361,500**	**238**		14,13
P2	**927,600**	**360,990**	**232**		13,53
P3	**929,300**	**360,700**	**230**		7,50
P4	**930,400**	**359,700**	**228**		16,00
BC1	**929,750**	**360,000**	**250**	19,50	32,50
BC2	**929,300**	**360,600**	**248**	19,30	24,40
Belkheir 1	**926,800**	**361,300**	**270**		42,00
BA1 Bis	**930,850**	**361,100**	**235**	29,20	58,20
BA4 ORAVIE	**930,700**	**360,100**	**250**	7,00	27,50

Tableau 14 : **Piézomètre de la nappe alluvionnaire de Guelma 2004/2005.**

Deux compagnes de mesure du niveau piézomètrique de la nappe ont été effectuées en hautes et basses eaux, afin de connaître les zones d'alimentation et de drainage ainsi que le sens d'écoulement. D'après le tableau 14 et la figure 20, on remarque que l'écoulement général se fait vers l'Oued Seybouse (du Sud vers le Nord).

D'après la morphologie des isopièzes (figure 20), qui se resserrent parallèlement dans la partie Sud –Ouest de la ville de Guelma (zone des travertins), on peut déduire que la nappe des travertins alimente celle des alluvions. Ce resserrement indique l'importance du gradient hydraulique dans cette zone qui prend des valeurs de l'ordre de : 0,06 .

La partie centrale de la plaine (entre Belkheir et Boumahra) est marquée par une augmentation de l'espacement des isopièzes indiquant une diminution sensible du gradient hydraulique qui prend des valeurs de l'ordre de : 0,025. On remarque aussi, l'existence de trois axes de drainage d'orientation générale Sud-Nord matérialisés le long des trois affluents de l'Oued Seybouse : (O. Boussora et O.Meklouka,à l'Est , O.Zimba, au centre et O.Maiz à l'Ouest). Cette disposition fait ressortir trois lignes principales de partage des eaux dans la nappe.

La première, située entre Oued Bossora et chaabet Meklouka, la deuxième située entre Oued Zimba et Oued Maiz et la troisième située à l'Ouest de Oued Skhoun séparant les travertins de Guelma des alluvions.

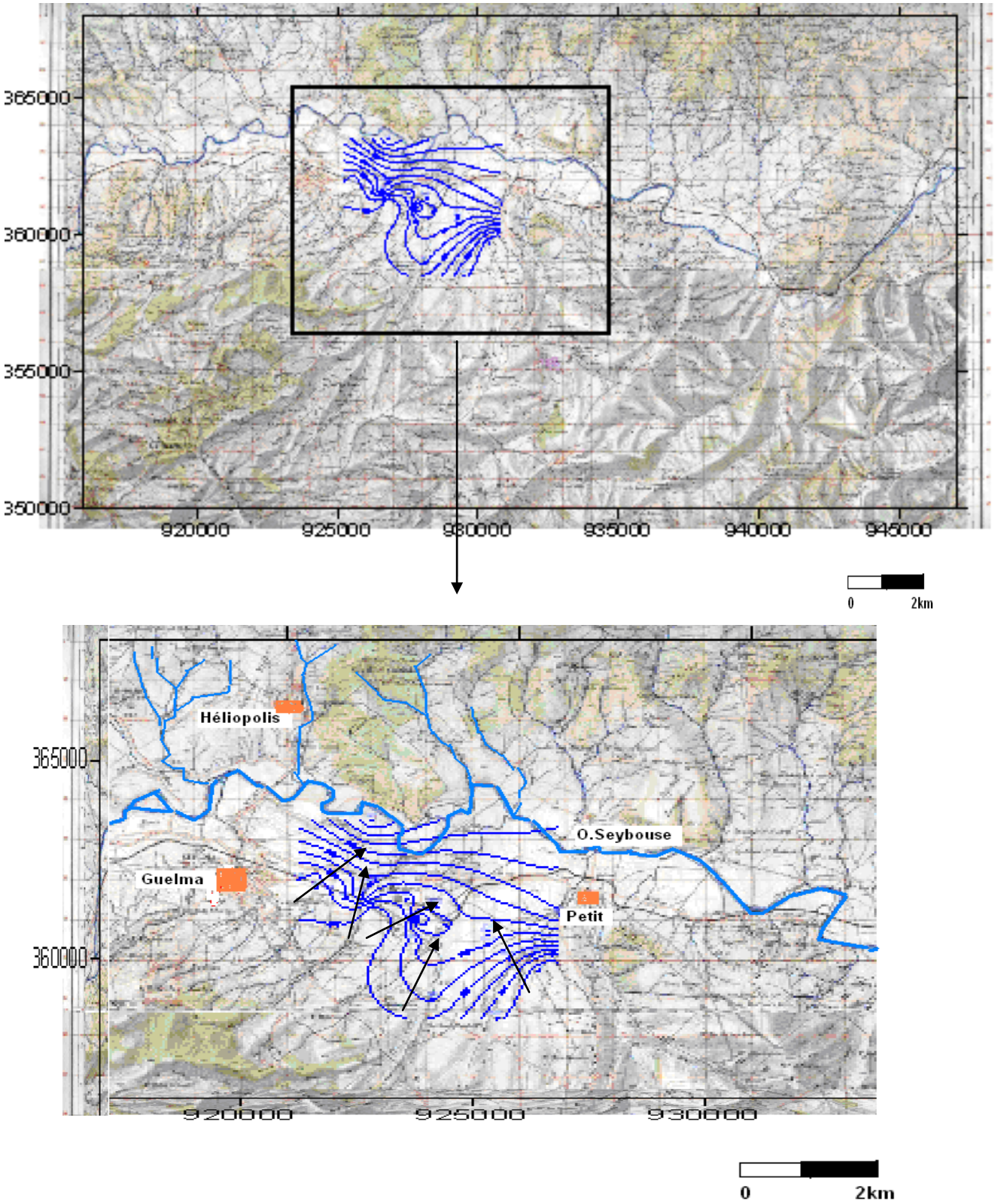


Fig. 20 : Carte piézomètrique hautes eaux dans la région de Guelma (Décembre 2005).

II.2.2. La nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis

Les limites exactes de cette nappe sont inconnues parce qu'elle est recouverte par les nappes telliennes et ultra telliennes. Les affleurements calcaires néritiques qui font partie du groupe Nord –oriental des séries néritiques (fig.13), sont isolés et de tailles variables (Vila,1980). Pour la délimitation de ces formations selon les données disponibles, deux coupes hydrogéologiques positionnées sur la figure 21, ont été dressées, l'une au niveau de mechta Bouzitoune (HH') et l'autre selon l'axe el-fedjoudj-hammam Bredaa (GG') (Saaidia et Chaab, 2002).

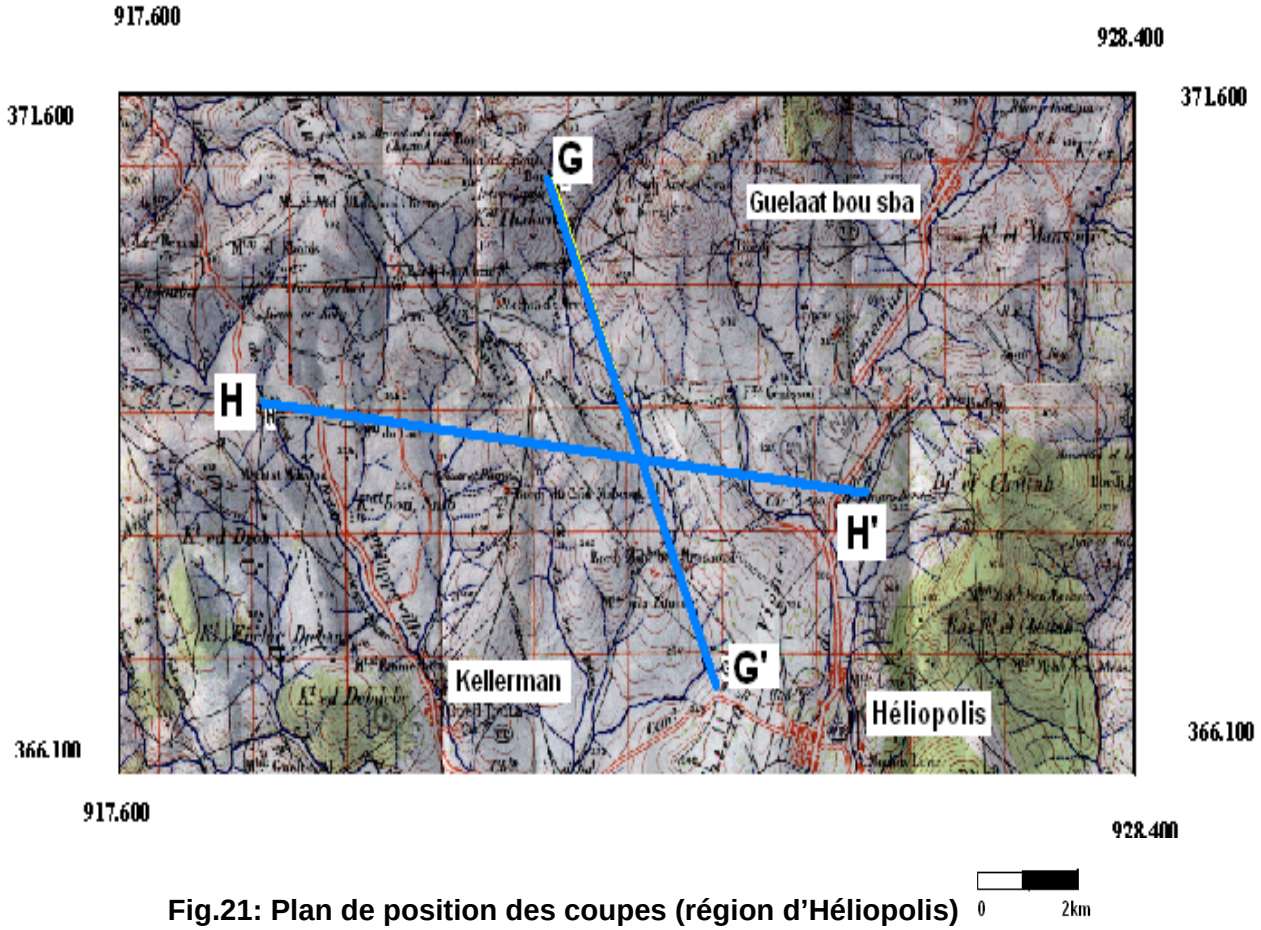


Fig.21: Plan de position des coupes (région d'Héliopolis)

Dans la région de Hammam Ouled Ali, ces formations carbonatés sont représentées par quelques dizaines de mètres d'un Sénonien supérieur calcaire bio-détritique ou micritique analogue à celui de Douar Bouzitoune (Heliopolis). Ces formations plongent en profondeur vers l'Est, sous les nappes de charriage pour réapparaître d'abord dans la région de Bouzitoune, puis en petite fenêtre près de la source romaine. Elles sont exploitées par un seul forage de 173 m de profondeur qui donne un débit de 20 l/s alimentant le village. Un surpompage dans ce forage a provoqué l'aspiration des eaux thermales de la source du Hammam. Ce qui indique les faibles potentialités dans cette partie de l' aquifère. Depuis le Djebel Débar, jusqu'à hammam bredaa où ces formations affleurent, la réalisation des forages el fedjoudj II, bouzitoune et hammam bredaa, a permis de supposer la continuité de ces formations selon cet axe (fig.22).

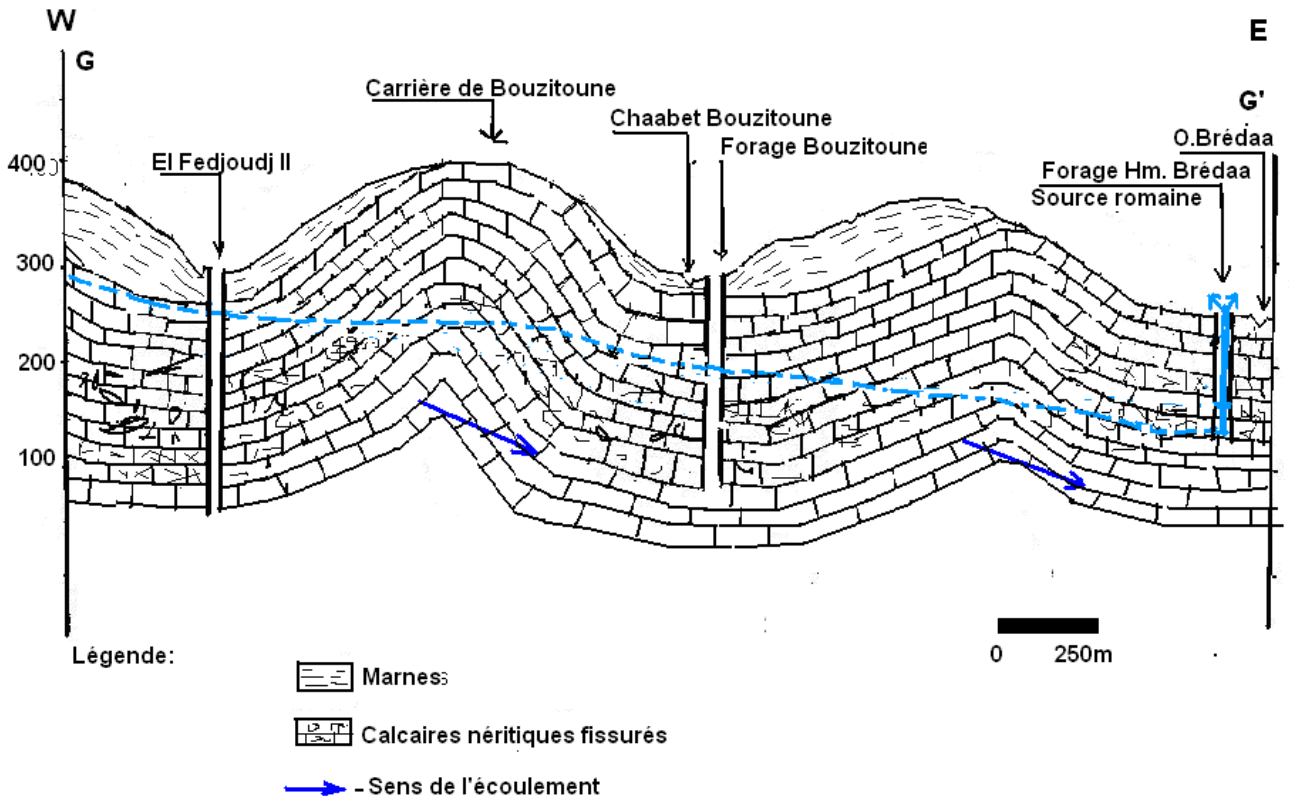


Fig. 22 : Coupe hydrogéologique GG' (El Fedjoudj – Hammam Bredaa).

Le forage El Fedjoudj II de 220 m de profondeur a donné 73 l/s avec un niveau statique de 57 m . Il a rencontré les formations carbonatées à 198 m. Dans la région de Bouzitoune, les six forages réalisés selon un axe Sud Est - Nord Ouest perpendiculaire au premier ont permis de délimiter ces formations carbonatées néritiques selon cette direction (figure 23).

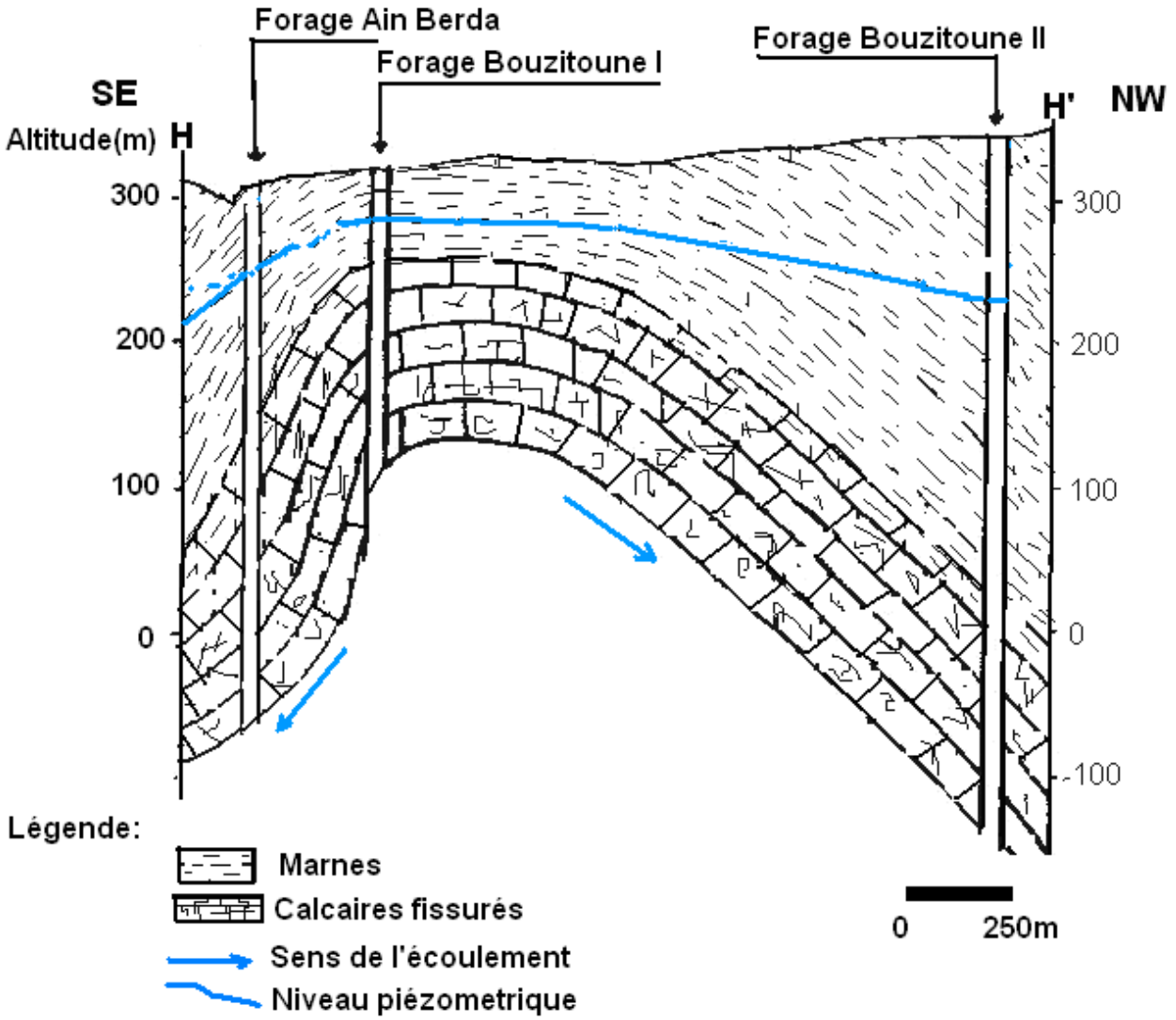


Fig. 23 : coupe hydrogéologique HH' (Bouzitoune).

En effet, au Sud et au Nord de cet axe le toit calcaire se trouve à 500 m, (forage de Ain Berda et Bouzitoune II), alors que dans la partie centrale il est rencontré à 98 m par le forage Bouzitoune I. La continuité de cet aquifère vers Hammam Bredea est aussi vérifiée par l'interférence enregistrée dans les forages (La carrière et la source) suite à la mise en service de Bouzitoune I et II (Saadia et Chaab , 2002).

II.2.3. La nappe des calcaires éocènes de Sellaoua- Ras El Agba :

Dans cette zone, les terrains éocènes renferment peu de nappes aquifères. Quelques sources de faibles débits sortent des barres marno-calcaires intercalées dans les marnes schisteuses. Les marnes noires dano-montiennes constituant le substratum supportent les calcaires à silex. Ces formations calcaires font partie des séries telliennes (Vila,1980). Les trois forages de reconnaissance et d'exploitation réalisés à Ain Brinis, ont permis de distinguer de haut en bas l'alternance, (1) des marnes grises d'age paléogène, (2) des calcaires massifs d'age éocène et (3) des marnes à débris d'age lutétien inférieur (coupe II' , illustrée sur la figure 25 et positionnée sur la figure 24).

Les sources sortant de ces calcaires sont importantes, les principales sont Ain Beida (Sellaoua.A) qui apparaît dans les éboulis et Ain Sbaa à l'Ouest de Ras El Agba.

Les autres sources se situent entre le Djebel Announa et Bled Ben Tounsi à l'Ouest de la région d'étude. Ces sources indiquent l'existence d'un aquifère à la base des grès oligocènes (C.R.A.A.G, 2004).

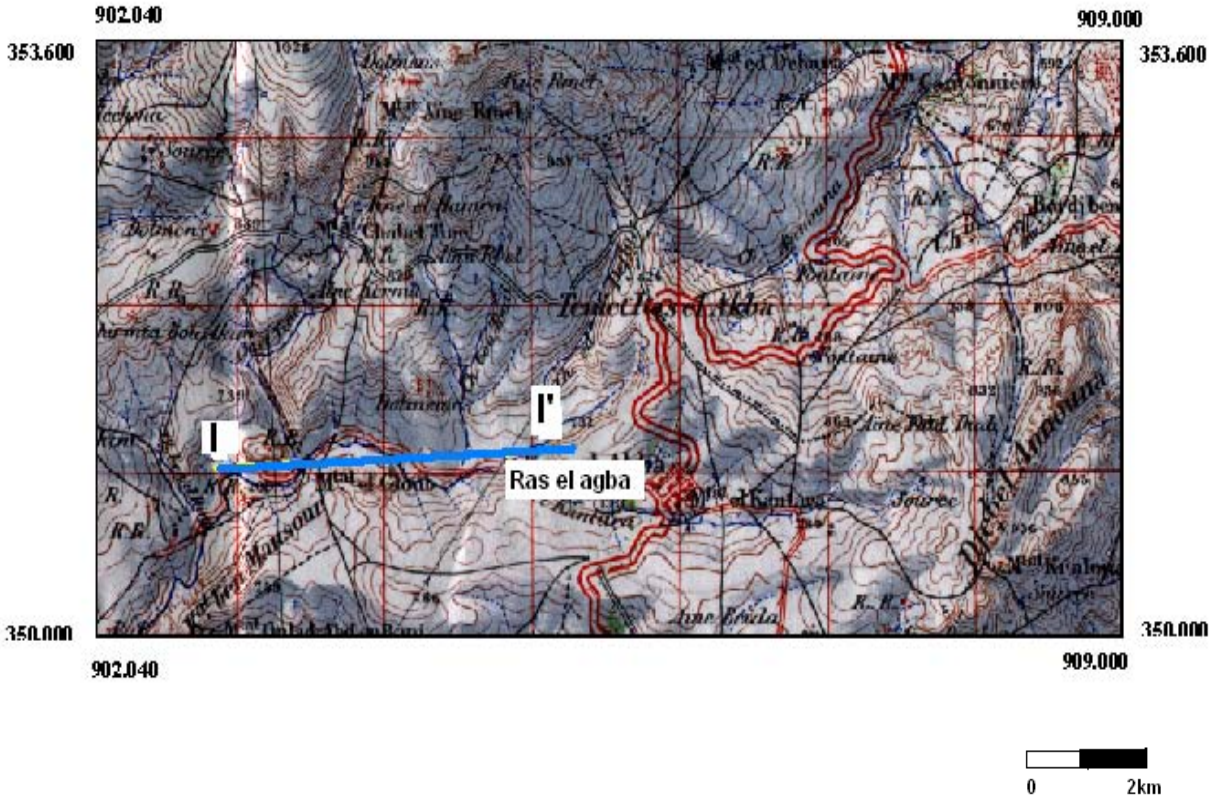


Fig. 24 : Plan de position de la coupe II' dans la région de Ras El Agba.

Ces forages destinés à l'alimentation de Ras El Agba et Sellaoua Announa donnent un débit voisin de 30 l/s qui est proche de celui donné par GAUD, aux termes de son étude (1973/74) estimé à 25 l/s.

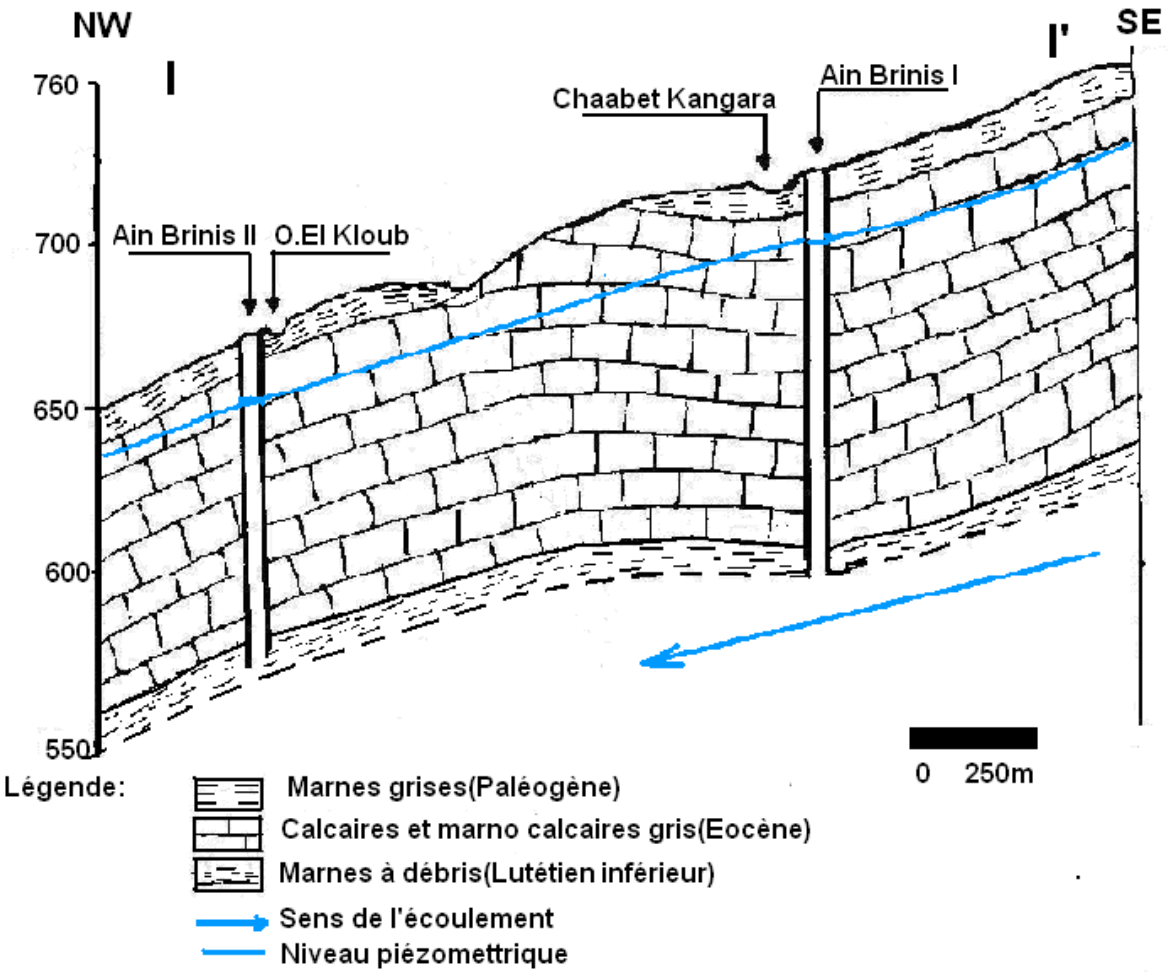


Fig. 25 : Coupe hydrogéologique II' (Ras El Agba – Sellaoua).

CONCLUSION :

Suite à l'étude des différentes unités géologiques appuyées par l'interprétation de l'outil géophysique disponible, les conclusions suivantes ont été dégagées :

Dans la nappe alluvionnaire, la ressource en eau est plus importante surtout dans l'ancienne terrasse. Les valeurs des transmissivités oscillant entre 1,0 10^{-3} m^2/s et 1,5 10^{-3} m^2/s témoignent de l'importance de la perméabilité des matériaux encaissants.

La basse et moyenne terrasses présentent un intérêt aquifère relativement moindre, compte tenu de leurs faibles épaisseur et perméabilité.

Dans la région d'Héliopolis, les formations calcaires affleurent par endroits, isolées et de tailles variables. Elles sont recouvertes par les formations récentes (quaternaires), les flyschs, les nappes telliennes et ultra telliennes. Tous les forages mécaniques réalisés, traversent ces formations pour les atteindre à des cotes variables, ce qui montre leur géométrie et leur orientation dans l'axe El-Fedjoudj-Hammam Bredaa et mechta Bouzitoune. Cette zone présente également un grand intérêt aquifère compte tenu de l'extension et de l'épaisseur des formations néritiques et surtout du débit prélevé.

Dans la région de Ras El Agba – Sellaoua le peu d'informations disponibles, n'a pas permis de déterminer la configuration de cet aquifère. Le débit de 30 l/s prélevé actuellement à partir des deux forages existant, ne reflète pas l'importance et l'extension des affleurements calcaires existant vers le Sud et le Sud- Est de la région. Les forages de reconnaissance prévus dans un avenir proche pour tester ces formations mettront en évidence l'importance de leurs potentialités en eaux souterraines.

IV. Vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution dans la zone d'étude

Introduction :

La qualité naturelle des eaux souterraines peut être altérée par l'activité humaine. La détérioration de la qualité de l'eau peut être appréciée par mesure des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Dans le cas d'une détérioration jugée importante, l'eau ne sera plus considérée comme potable pour la consommation humaine. Elle pourra être utilisée telle quelle pour d'autres fins (irrigation …) ou devra subir un traitement approprié pour retrouver sa potabilité.

L'eau des nappes n'est donc pas à l'abri de la pollution et l'autoépuration naturelle n'est pas complète dans toutes les nappes vis à vis de certaines substances. Les techniques de décontamination des nappes polluées sont longues et coûteuses et incapables de restaurer pleinement la potabilité des eaux selon Mariotti, (1999), (Zeddouri, 2003).

I

V.1. Les paramètres de vulnérabilité des nappes souterraines:

La vulnérabilité des nappes dépend du type de nappe, libre ou captive et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libres sont les plus vulnérables; les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézomètrique; d'autre part, la fluctuation verticale saisonnière du niveau piézométrique imprègne les particules de la zone non saturée et peut entraîner les substances qui s'y trouvent vers l'aquifère.

En revanche, les nappes captives sont mieux protégées par les couches qui les surmontent. Donc les sédiments meubles peuvent colmater les fissures et ralentir voire empêcher le transfert des polluants vers l'aquifère- Dans le cas contraire, les polluants s'infiltrent rapidement et réapparaissent en l'état dans les sources. Ils auront un effet accentué mais de courte durée.

IV.2. Les principaux types et origines de pollutions dans la zone d'étude :

La pollution des eaux superficielles et souterraines peut avoir diverses origines. Selon les activités des différents secteurs, elle peut être d'origine domestique, industrielle ou agricole (Guilleminc et *al*, 1992). Dans la zone d'étude le diagnostique établi après enquête et inspection des lieux a permis d'identifier et de localiser les pollutions suivantes :

I

V.2.1. Pollution domestique:

Dans le cas d'assainissement, collectif ou individuel défectueux ou en contact hydraulique avec les nappes, les substances indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères (matières organiques, solvants, détergents micro-organismes, anti-biotiques…), peuvent être transférées dans la nappe.

Dans la zone d'étude, les eaux usées des agglomérations déversent dans les affluents des principaux cours d'eau. En effet, l'Oued Skhoun et l'Oued Maiz, drainant les eaux usées de la ville de Guelma traversent du sud au nord la nappe alluvionnaire avant d'atteindre l'Oued Seybouse. Dans le tableau 20, les valeurs des différents paramètres témoignent du degré de pollutions qui pourront transiter dans la nappe, directement par les berges ou indirectement par irrigation à partir de l'oued seybouse (Mouassa, 2006). Les trois décharges publiques existant sur les deux rives de l'Oued Seybouse, contribuent aussi à cette pollution par leur lessivât. La première au Nord de Guelaat Bousbaa , la deuxième à l'Est d'Héliopolis et qui revêt le caractère d'un C.E.T classe II compte tenu de la quantité et de la diversité des polluants reçus quotidiennement et la troisième à Djebel Hallouf au Sud de la ville de Guelma et à l'amont de l'ancienne terrasse de la nappe alluvionnaire.

~~Dans notre zone d'étude tous ces types de polluants existent éventuellement.~~

~~L'accroissement du tissu industriel parfois sur des sites mal choisis agrandit et diversifie la nature et le volume des polluants.~~

~~Les résultats d'analyses physico-chimiques des eaux des deux principaux rejets (oued skhoun et oued maiz) effectuées en 1993 (tableau 28….) ne reflètent sûrement pas l'importance de la pollution qui existe actuellement dans les cours d'eaux alimentant l'oued seybouse.~~

Paramètres	Valeurs Moyennes	
	Oued Skhoun	Pont O/Maiz
Débit Q(l/s)	0,45	0,87
T° C	28,7	27,50
PH	7,30	7,30
Mat.organique(mg/l)	58,75	46,00
DBO_5	114	150
MES (mg/l)	56,66	17,90
Fer $_{(Fe)}$ mg/l	0,15	0,21

Mis en forme : Police :Gras, Police de script complexe :Arial, Gras

Chrome (Cr) mg/l	0,15	0,05
Nickel (Ni) mg/l	Traces	0,05
Plomb (Pb) mg/l	0,80	-
Zinc (Zn) mg/l	Traces	0,10

Tableau 20: Les caractéristiques des eaux usées domestiques dans la région de Guelma Juillet 1993).

IV.2.2. Origine Industrielle:

Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité - Ils peuvent être; des substances organiques, sels minéraux, des métaux lourds , des produits organiques de synthèse. Dans notre zone d'étude, ces types de pollutions existent éventuellement. Les résultats d'analyses de leurs rejets sont portés sur les tableaux 20 et 21.

Les zones industrielles au nombre de trois sont situées respectivement à l'amont de Oued Zimba (zone d'alimentation de la nappe alluvionnaire), sur la rive gauche de Oued Maiz (cité Rahabi) et au Sud d'El Fedjoudj sur la rive gauche de l'Oued Seybouse.

Les stations de lavage et de carburants au nombre de quinze (15) concentrées surtout sur l'axe Guelma-Belkeir-Boumahra et les unités industrielles (Sogedia et Céramique, briqueterie et carrelage) , déversent dans les affluents de l'Oued Seybouse (O. Skhoun, O. Maiz , O. Zimba et O.Boussora).

Unité industrielle	**Céramique**	**Sogedia**
	Valeurs Moyennes	

Paramètres		
Paramètres	Valeurs Moyennes	
	Céramique	Sogedia
T° C	30	29,70
PH	7,4	7,21
Mat.organique(mg/l)	19,70	560
DBO_5	70	275
MES (mg/l)	0,05	12,15
Fer $_{(Fe)}$ mg/l	0,19	0,10
Chrome r) mg/l	0,10	0,04
Nickel (Ni) mg/l	0,60	0,04
Plomb Pb) mg/l	0,70	< 0,10
Zinc (Zn) mg/l	0,30	0,04

Tableau 21. : Les caractéristiques des eaux industrielles dans la région de Guelma (Juillet 1993)

Mis en forme : Police :Gras, Non souligné, Police de script complexe :Arial, Gras

D'après le tableau 21, les valeurs des paramètres sont inférieures aux normes. Mais il y'a lieu de souligner que ces polluants à effets chroniques, sont en permanence déversés vers l'Oued Seybouse et de là vers la nappe alluvionnaire par le biais de l'irrigation.

De la, nous pouvons constater que la nappe alluvionnaire de Guelma est largement exposée à des pollutions de diverses origines et natures.

La mise en service des deux stations de relevage situées sur Oued Skhoun et Oued Maiz, retranchera éventuellement une grande partie des pollutions acheminées par ces cours d'eau vers l'Oued Seybouse et donc vers la nappe alluvionnaire. Néanmoins, les rejets de la zone industrielle située à l'amont de l'Oued Zimba et les lessivats provenant de la décharge publique de djébel Hallouf, située à

l'amont de O. Maiz, continueront toujours de polluer la haute terrasse de la nappe alluvionnaire avant d'être relevés.

IV.2.3. Pollution d'origine agricole :

Les pratiques actuelles des cultures et d'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. L'utilisation massive des engrains et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropre à la consommation humaine et parfois animale les eaux superficielles et souterraines (Débiche, 2002). Le transfert des engrains et pesticides vers la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans les puits perdus et gouffres. Une enquête auprès des fermes pilotes, a permis d'identifier et quantifier les types d'engrais à base d'azote utilisés à raison de1,5q / Ha. (tableau 22).

Les élevages intensifs des bovins (étables, fermes pilotes) et volailles (poulaillers), produisent une grande quantité de déjections azotées qui peuvent être aussi à l'origine de la pollution des eaux de surfaces et souterraines.

Par ailleurs, les analyses physico-chimiques des eaux souterraines dans le bassin de Guelma, ont montré des teneurs en nitrate élevées et qui ne peuvent être que d'origine agricole, compte tenu de la nature et des quantités des fertilisants utilisés (tableaux 22 et 23), au niveau du périmètre d'irrigation qui recouvre la totalité de la nappe alluvionnaire et la partie sud ouest de l'aquifère d'héliopolis (fig.59).

Espèces	Objectifs	T.S.P 46%	Urée 46%	15.15.15
Blé dur	300 Ha	450 qx	450 qx	-
Blé tendre	50 Ha	75 qx	75 qx	-
Orge	100 Ha	100 qx	100 qx	-
Avoine	20 Ha	20 qx	20 qx	32 qx

Tableau mis en forme

Fève	16 Ha	-	-	30 qx

Tableau 22 : Types et quantités de fertilisants utilisés au niveau de la nappe alluvionnaire de Guelma : (2005 / 2006).

Mis en forme : Gauche

Tableau mis en forme

Types d'engrais	**Observations**
N.P.K : 15.15.15	N P2O5K2O : Azote : 15% P2O5 : 15% K2O : 15%
Urée 46%	CO(NH2)2 :hydrolyse---ammonification---nitritation--> nitratation (NHO3)
U.A.N 32%	Azote total : 32% Azote ammoniacal :7% Azote nitrique :7,8% Azote uréique :16,4%

Tableau 23~~31~~ : Identification des engrais utilisés dans la zone d'étude 2004 / 2005.

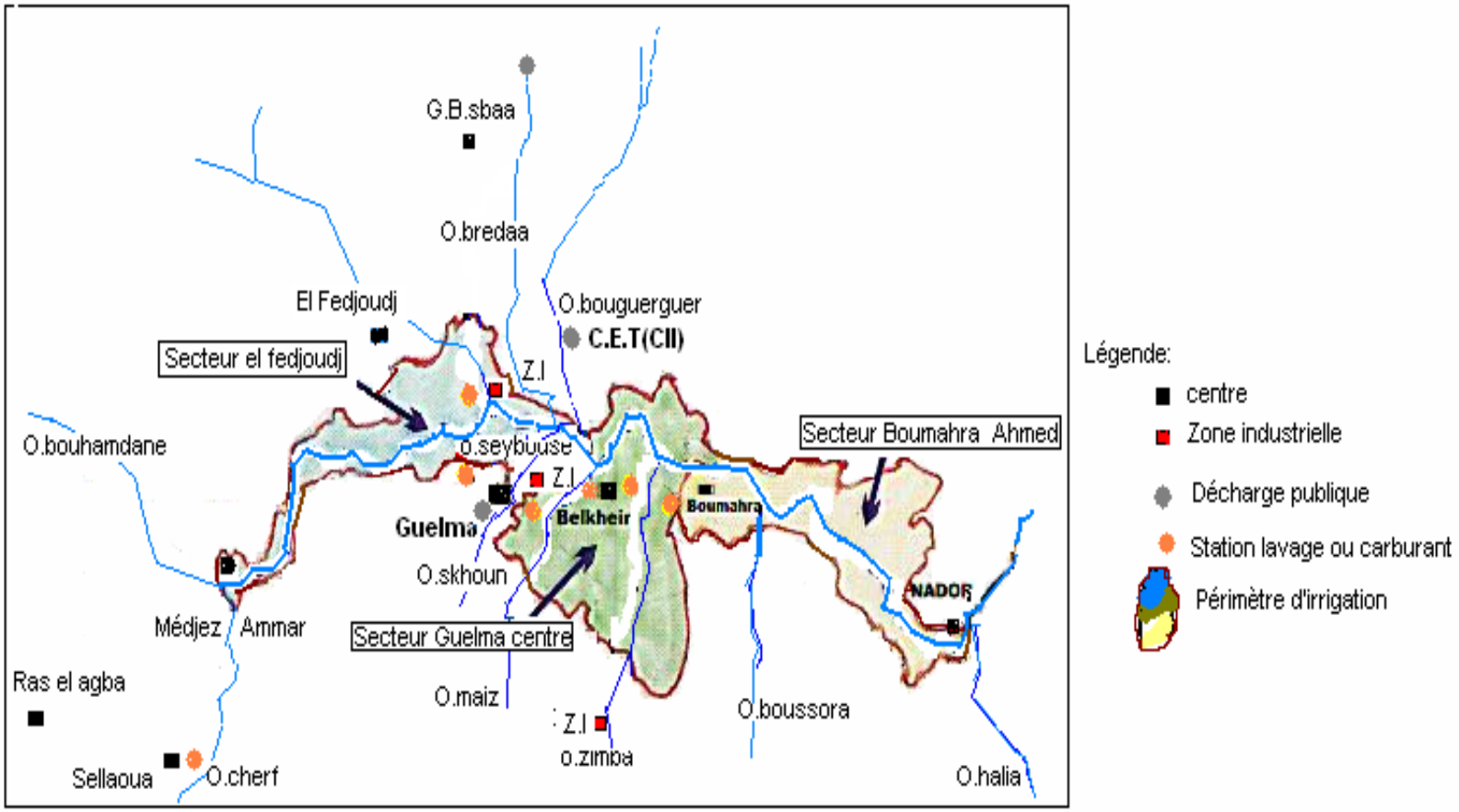


Fig. 59 : Plan d'occupation du sol

0 2km

~~Les élevages intensifs des bovins et volailles produisent une grande quantité de déjections azotées qui peuvent être aussi à l'origine de la pollution des eaux de surfaces et souterraines.~~

~~Par ailleurs, les analyses physico-chimiques des eaux souterraines du bassin de guelma, ont montré une teneur en nitrates élevée et qui ne peut être que d'origine agricole, compte tenu de la nature et des quantités des fertilisants utilisés (tableau…30..) au niveau du périmètre d'irrigation (fig…..)~~

~~Tableau 30….~~ : ~~Types et quantités de fertilisants utilisés au niveau de la nappe alluvionnaire de Guelma :~~

~~(2004 / 2005)~~

A l'issue de l'étude des précédents chapitres, nous avons pu (1) déterminer les grands axes des écoulements de surfaces et souterrains, (2) identifier la nature lithologique des différents aquifères et (3) connaître la nature des polluants.

L'exploitation de ces informations a permis de dresser plan d'occupation du sol (Fig.59) et une répartition spatio-temporelle des nitrates dans notre zone d'étude (fig.60 à 69).

IV.3. ~~V-3-3.~~ Interprétation de la carte de pollution:

Mis en forme : Justifier en bas

~~-~~ Dans cette partie, nous avons traité la pollution par les nitrates, les autres polluants ne sont cités qu'a titre indicatif et préventif (les périodes d'analyses étant différentes).

D'après la carte d'occupation du sol et l'inventaire des différentes sources de pollution, nous avons pu classer notre zone d'étude en trois degrés de pollution différents :

a. ~~D'après la carte, nous avons pu dégager trois zones à degrés différents de pollution.~~

~~V-3-3-1.~~ Zone à haut risque de pollution ~~pollution~~ :

Mis en forme : Justifier en bas

Mis en forme : Police :Gras, Police de script complexe :Arial, Gras, (Complexe) Arabe (Algérie)

Elle correspond à la plaine alluvionnaire de Guelma qui s'étend depuis Medjez Amar à l'Ouest jusqu'au Nador à l'Est (Djabri, 1996). Cette zone coïncide géographiquement avec la vallée de l'Oued Seybouse et comprend tout l'espace occupé par le périmètre d'irrigation où les activités agricoles sont intenses. Les teneurs des eaux souterraines en nitrates oscillent entre 19 et 220 mg/l de $No3^{-}$.

Nous constatons sur les différentes figures de l'évolution des nitrates, une instabilité spatio-temporelle de cet élément dans cette zone (fig.60 à 64). Ces variations irrégulières sont sans aucun doute liées aux activités agricoles saisonnières et à l'épandage des fertilisants à base d'azote lessivés et transportés par les eaux d'irrigation et de pluie vers les eaux de la nappe à travers la zone non saturée.

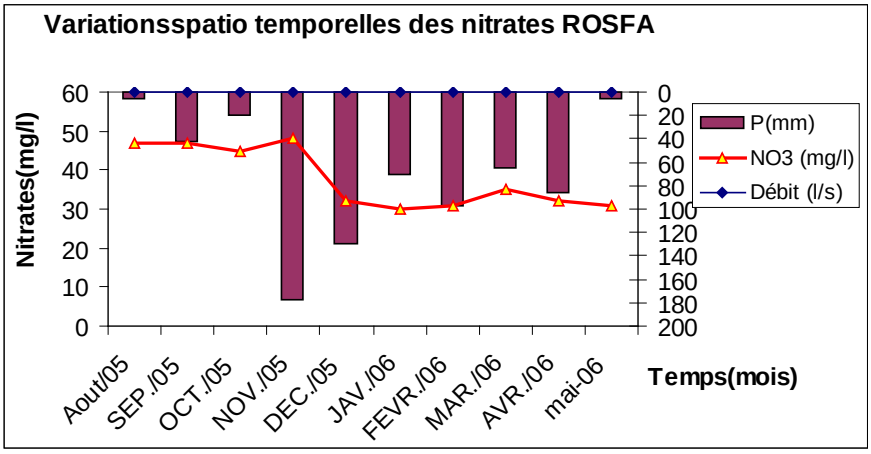


Fig.60 : Répartition spatio temporelle des nitrates- Rosfa. (2005/2006).

(Q : 0.12 à 0.25 l/s.)

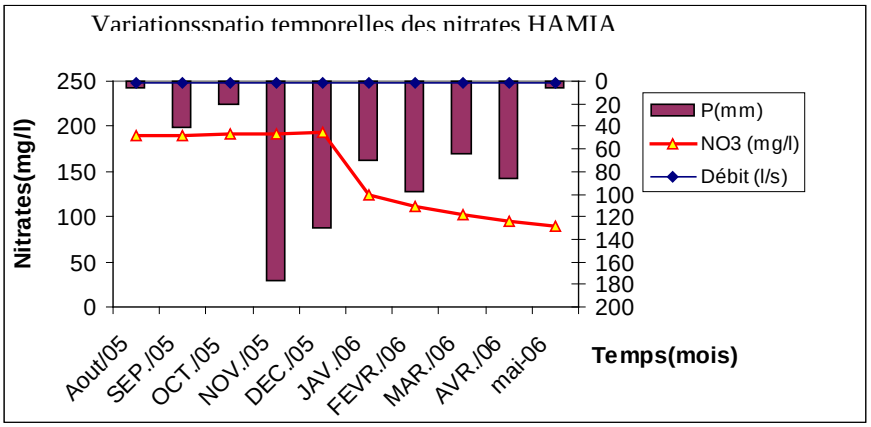


Fig. 61 : Répartition spatio temporelle des nitrates-Hamia (2005/2006).

(Q : 1 à 1.5 l/s).

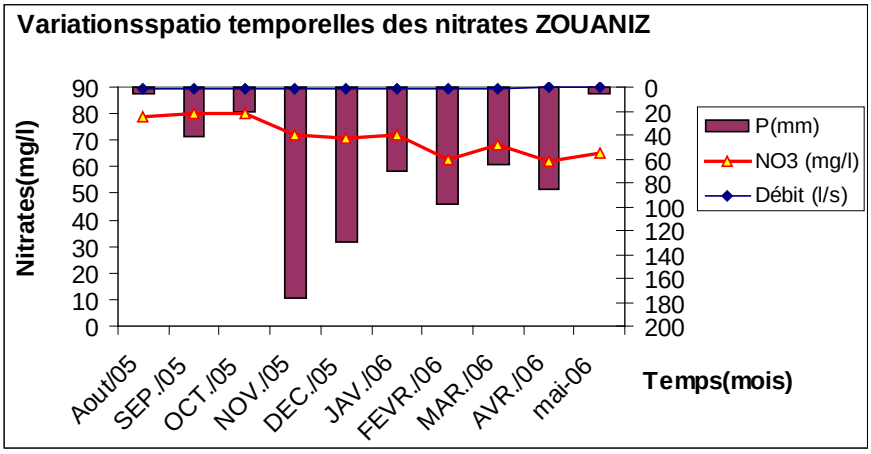


Fig.62 : Répartition spatio temporelle des nitrates-Zouaniz (2005/2006) (Q : 0.65 à 1.5 l/s).

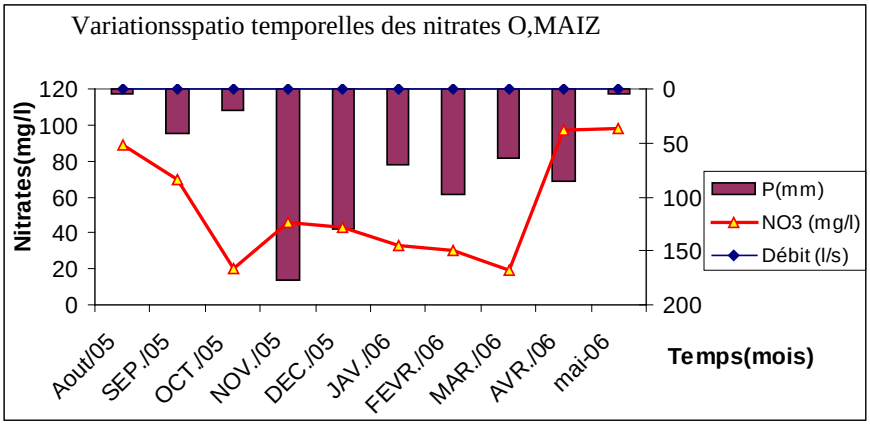


Fig. 63 : Répartition spatio temporelle des nitrates-O.Maiz (2005/2006). (Q : 1 à 1.5 l/s).

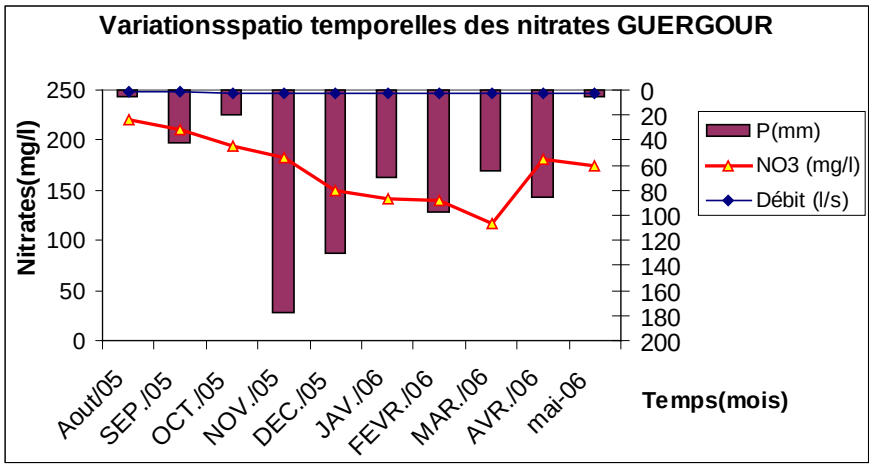


Fig. 64 : Répartition spatio temporelle des nitrates-Guergour (2005/2006).

(Q : 1.2 à 1.5 l/s).

b.~~C'est la zone qui se situe depuis Medjez Ammar à l'ouest jusqu'à Nador à l'Est de part et d'autre de l'oued seybouse.~~

~~Dans cette zone, les eaux souterraines contiennent des teneurs en nitrates nettement supérieures aux normes de 50mg/l de NO_3 (89-220 mg/l).~~

~~Les résultats d'analyses des eaux de surface ont révélé la présence des matières organiques, des éléments métaux et métaux lourds dont les teneurs sont encore admissibles. Ces éléments mutagènes et cancérigènes ont un effet chronique et sont donc nocifs pour la santé.~~

~~V-3-3-2.~~ Zone à moyen risque de pollution :

Mis en forme : Non souligné, Police de script complexe :Arial, (Complexe) Arabe (Algérie)

~~**degré de pollution**~~ Elle correspond à la nappe des calcaires néritiques et sénonjens d'Héliopolis (fig.65 à 67). Dans sa partie Sud, agglomérée et d'activités agricoles intenses,~~C'est la zone d'Héliopolis -el -fedjoudj située au nord de Guelma sur la rive' gauche de l'oued seybouse. Dans les eaux souterraines~~ les teneurs en nitrates sont ~~relativement~~ élevées (57 à 70~~69 – 74~~ mg/l) et ne chutent en dessous de la norme (50 mg/l) qu'à partir du mois de décembre. Cette diminution

serait attribuée à une dilution par les eaux des précipitations~~). L'origine peut être agricole ou des déchets d'élevage~~.

Dans sa partie Nord , les teneurs en No^{-}_{3} oscillent entre 1 et 6 mg/l. Elle comprend les hauteurs de Guelaat Bou Sbaa et caractérisée par l'absence des activités agricoles, elle est donc à l'abri de toute pollution anthropique. L'origine des nitrates ne peut être que naturelle.

Dans sa partie Sud Ouest, les teneurs en nitrates oscillent entre 50 et 74 mg/l, elles sont donc supérieures à la norme et sont d'origine purement agricole dans la mesure où cette partie rentre dans le domaine du périmètre d'irrigation du secteur d'El Fedjoudj. Donc, les eaux d'irrigation seraient à l'origine du lessivage et transport des fertilisants azotés répandus à la surface du sol.

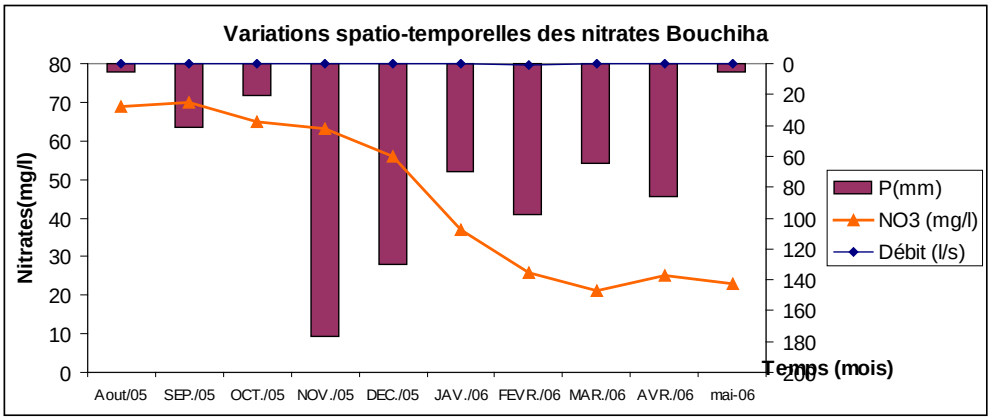


Fig. 65 : Répartition spatio temporelle des nitrates-Bouchiha (2005/2006).

(Q : 0.3 à 0.35 l/s).

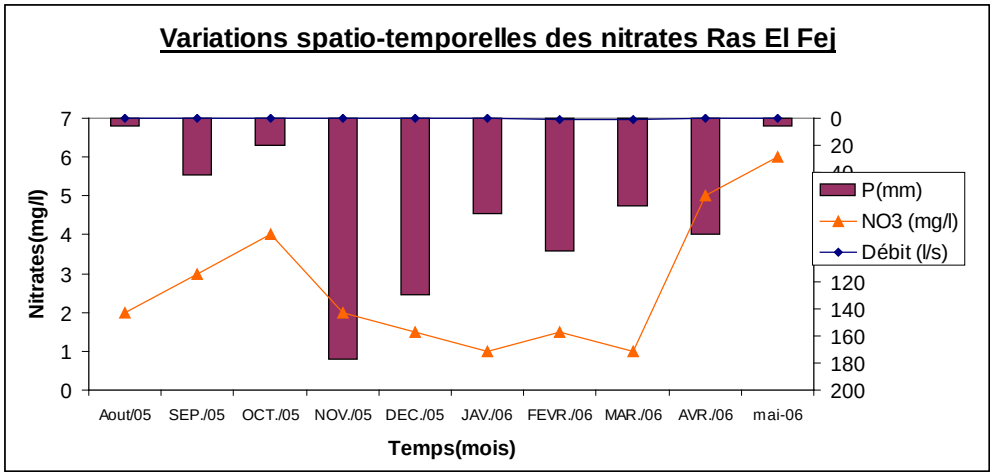


Fig. 66 : **Répartition spatio temporelle des nitrates-Ras El Fej (2005/2006).**

(Q : 0.12 à 0.35 l/s).

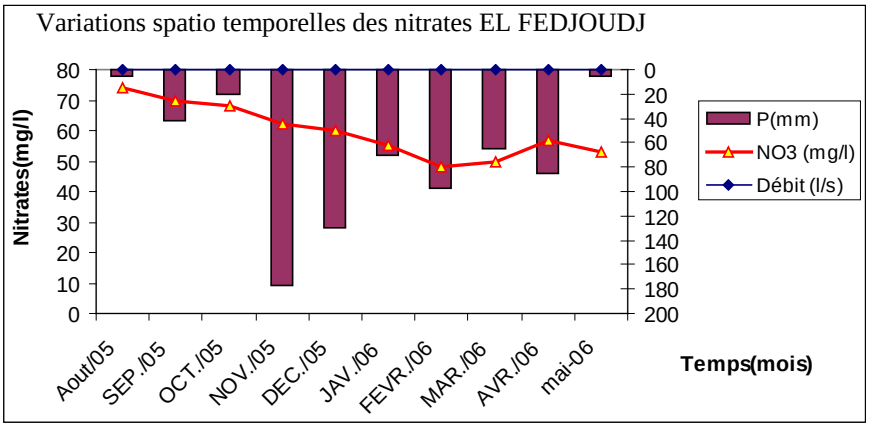


Fig. 67 : Répartition spatio temporelle des nitrates-El Fedjoudj (2005/2006).

(Q : 0.13 à 0.35 l/s).

c. Zone à faible risque de pollution :

Elle correspond à la nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua (fig.68 et 69). Les teneurs en nitrates varient entre 5 et 14 mg/l dans le flanc Nord et entre 8 et 33 mg/l dans le flanc Ouest. Dans les figures 68 et 69, les courbes présentent une même allure de décroissance continue jusqu'au mois de mars, (période des hautes eaux), puis une croissance rapide indiquant une augmentation de la teneur en nitrates dans l'aquifère , relativement supérieure dans le flanc Ouest.

En effet, le lessivage et le transport des fertilisants présents dans les couches superficielles des sols (cultivés), vers la nappe à travers la zone non saturée, seraient à l'origine de ces teneurs.

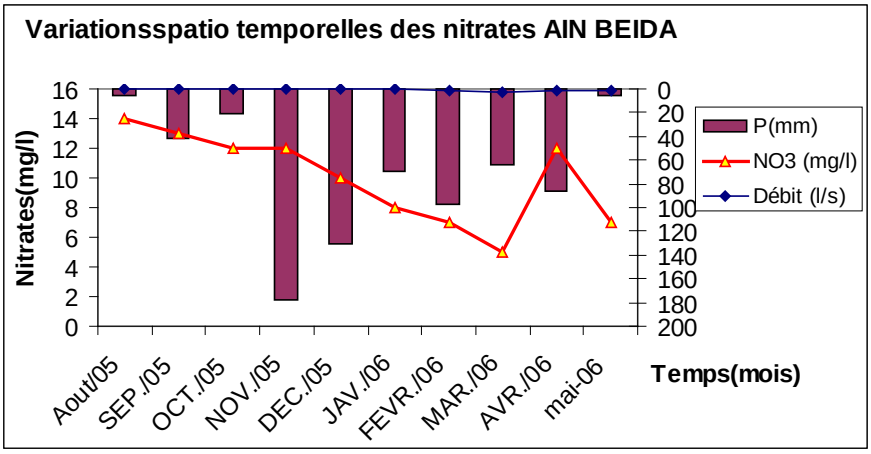


Fig. 68 : Répartition spatio temporelle des nitrates-Ain Beida 2005/2006).

(Q : 0.12 à 2.2 l/s).

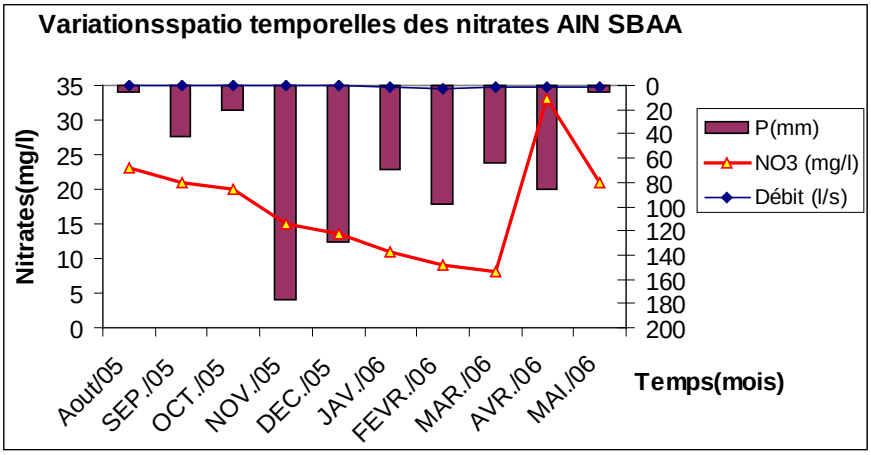


Fig. 69 : Répartition spatio temporelle des nitrates-Ain Sbaa (2005/2006).

(Q : 0.16 à 2.2 l/s).

A l'issue de cette interprétation, notre secteur d'étude est exposé à une pollution d'origine particulièrement agricole. Il est subdivisé en trois zones à degrés de pollution décroissants :

* Zone à haut risque qui coïncide avec le périmètre d'irrigation et la vallée de l'Oued Seybouse et où l'instabilité spatio- temporelle des No_3^- est constatée.

* zone à moyen risque, subdivisée en trois parties. Dans le Nord, les nitrates sont d'origine naturelle, dans le Sud, ils sont d'origine agricole et domestique et dans le Sud Ouest ils sont d'origine agricole.

~~* Les eaux des cours d'eau de la rive gauche de la Seybouse n'ont pas fait l'objet d'analyses qui peuvent nous permettant de donner une idée sur leur degré de pollution, mais le lessivage de la décharge publique de Bouguerguer située à l'amont d'un affluent de la Seybouse constitue sûrement une source de pollution potentielle pour la zone.~~

~~**V-3-3-3. La**~~ zone à faible risque, où les faibles teneurs des nitrates reflètent les faibles activités agricoles et l'absence totale d'activités industrielles.

Mis en forme : Justifier en bas, Retrait : Avant : 0 cm, Première ligne : 1.27 cm

Mis en forme : Police :Non Gras, Non souligné, Police de script complexe :Arial, Non Gras, (Complexe) Arabe (Algérie)

Mis en forme : Police :Non Gras, Non souligné, Police de script complexe :Arial, Non Gras, (Complexe) Arabe (Algérie)

~~Elle est caractérisée par un relief très accidenté et une géologie de surface favorisent des ruissellements importants. Donc, les eaux souterraines sont pratiquement à l'abri des polluants qui peuvent résider dans le sol. Dans les eaux deS deux sources Ain Beida et Sellaoua , les résultats des analyses physico-chimiques n'indiquent aucune pollution. Les teneurs des eaux en nitrates sont inférieures aux normes, malgré l'importance des activités agricoles et élevage. A la lumière de ces observations on peut considérer cette zone comme la moins polluée de notre région d'étude.~~

Mis en forme : Police :Gras, Police de script complexe :Arial, Gras, (Complexe) Arabe (Algérie)

IV.4. PROTECTION DE LA RESSOURCE EN EAU :

Mis en forme : Retrait : Avant : 0 cm

Mis en forme : Non souligné

La localisation et l' identification des différentes pollutions dans la zone d'étude ont permis de dégager à court terme, certaines mesures de protection des ressources hydriques.

a. La nappe alluvionnaire de Guelma :

Compte tenu du taux élevé de pollution par les nitrates remarqué surtout dans l'axe Guelma – Belkheir, Boumahara, les eaux souterraines de la nappe alluvionnaire de Guelma risquent de recevoir aussi, indirectement tous les autres polluants présents dans les eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents par le biais de l'irrigation.

Pour remédier à ce problème, deux stations de relevage sont réalisées sur l'Oued Skhoun et l'Oued Maiz. Leurs rôles sont, la collecte des eaux usées et leur transfert vers la station d'épuration dont les travaux ~~qui est en cours~~ de réalisation sont en cours d'achèvement. ~~à un taux d'avancement supérieur à 90%.~~ La mise en service de la dite station d'épuration prévue en 2007 et le traitement des déchets solides de la décharge publique de Bouguerguer (Est d'Héliopolis) qui revêt le caractère d'un C.E.T classe II, contribueront en partie~~contribuera~~ à l'amélioration de la qualité physico-chimique
des eaux déversées dans l'Oued Seybouse et par la même, dans la nappe alluvionnaire. Par ailleurs, l'utilisation objective d'engrais selon les besoins des cultures, éviterait le transfert de l'excès de nitrates vers la nappe.

b. La nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis :

Dans cet aquifère, la partie Nord est naturellement protégée et loin de toute sorte de pollution de par sa situation géographique. Par contre, la partie Sud, étant~~ou~~ le siège d'un tissu urbain important et en extension~~niveau piézomètrique se trouve à 3 m(piézo. 1, réalisé à l'intérieur de l'annexe universitaire d'héliopolis) du sol~~, la nappe est susceptible de recevoir les purins et lisiers et probablement les eaux usées à partir des fosses septiques qui sont en partie à l'origine des nitrates décelés dans la source de Bouchiha. Cependant, dans la partie Sud Ouest de

l'aquifère, où~~ou~~ les nitrates sont d'origine agricole, il y a lieu de soumettre l'utilisation des fertilisants et pesticides à des contrôles~~un contrôle~~ et suivis objectivement rigoureux.

c. La nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba-Sellaoua :

Même si les teneurs des eaux en nitrates restent inférieures aux normes, le flanc Ouest présente ~~les plus gran~~des valeurs relativement élevées. Cette élévation relative est liée à l'existence d'une petite agricole exercée sur des ~~de~~ parcelles ~~agricoles~~ situées sur les hauteurs ouest de l'aquifère , les eaux de pluies lessivent les surfaces du sol, et transportent à travers la zone non saturée des formations carbonatées les nitrates vers la nappe.

Conclusion :

L'interprétation de la carte de pollution a permis:

- D'identifier la nature et déterminer la quantité des engrais utilisés dans les trois aquifères.
- D'évaluer le degré de pollution dans les trois aquifères et de confirmer que la plaine alluvionnaire est l'aquifère le plus pollué.

- De confirmer l'origine des nitrates dans chacun des trois aquifères (agricole, élevage, urbaine,…).
- De prévoir les mesures nécessaires pour la protection des ressources hydriques dans la région.

Conclusions et recommandations :

La confrontation des différents outils traités dans ce travail a permis de tirer les conclusions et recommandations suivantes :

* La région d'étude obéit à un climat méditerranéen, semi aride, caractérisée par deux saisons distinctes, l'une sèche et chaude et l'autre pluvieuse et froide. Les températures oscillent entre 4°c (janvier) et 36°c (août). Elle reçoit une précipitation moyenne de 574 mm dont 18 % sont ruisselés et 14 % infiltrés. Le bilan hydrique établi selon la méthode de Thornthwaite, fait ressortir une évapotranspiration réelle de 436,50 mm engendrant un déficit agricole de 468 mm.

* Cette région correspond à une dépression d'une surface moyenne de 122 km^2 à valeur de bassin allongé d'Est en Ouest, dans laquelle se sont accumulés des dépôts du Néogène constitués essentiellement d'alluvions (graviers, limons, conglomérats, travertins…) et adossé au Nord comme au Sud à des reliefs constitués de terrains allochtones appartenant pour l'essentiel au domaine tellien, formé de marnes et de carbonates d'age méso- cénozoïque et dont la sédimentation, de mer ouverte, s'est effectuée en domaine pélagique (unités telliennes).

* Dans la région d'Héliopolis, au Nord, ces nappes recouvrent le néritique constantinois qui présente la terminaison orientale du domaine et qui apparaît à la faveur de fenêtres, au pic du Djebel Débar, à l'Est de Hammam ouled Ali, à mechta Bouzitoune, à Héliopolis et à l'Ouest de Nador.

* Dans la région de Ras El Agba-Sellaoua, à l'Ouest, elles correspondent au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes ; un Eocène calcaire massif à *nummulites* à la base, surmonté par un calcaire massif à *globigérines*.

* Dans la nappe alluvionnaire, la haute terrasse présente les meilleures potentialités hydriques. L'épaisseur et les valeurs de transmissivité sont plus importantes. Elle est alimentée par les infiltrations de pluies et la nappe des travertins au Sud.

La basse et moyenne terrasses, mieux distinctes dans la partie Est que dans la partie Ouest de la nappe, présentent un intérêt aquifère de moindre importance.

Les écoulements souterrains se font du Sud vers le Nord, où l'Oued Seybouse favorise un drainage d'Ouest en Est de la plaine.

* Les calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis, présentent aussi un grand intérêt aquifère compte tenu de l'extension et de l'épaisseur des formations carbonatées et surtout du débit prélevé. L'écoulement général se fait d'Ouest en Est, depuis le pic oriental de djebel débar jusqu'à hammam bredaa où émergeait la source romaine à la faveur des affleurements calcaires.

* Les calcaires éocènes de Ras El Agba – Sellaoua sont relativement moins connus. Les deux uniques forages en exploitation, réalisés au Nord Ouest de Ras El Agba, ne fournissent que peu d'informations quant à leurs potentialités hydriques et leur géométrie. L'écoulement des eaux souterraines se fait suivant deux directions, séparé par une ligne de partage des eaux. Dans la zone de Ras El Agba faisant partie du bassin versant de Bouhamdane, l'écoulement est orienté Sud Est – Nord Ouest, dans la zone de Sellaoua faisant partie du bassin versant de Oued Cherf, il est orienté Sud Ouest – Nord Est. Le débit d'exhaure des forages et la pérennité des deux sources objet de l'étude, font penser à un réservoir non négligeable.

L'interprétation des différents résultats d'analyses physico chimiques et isotopiques, a permis de conclure :

* Que l'origine du chimisme des eaux dans les trois aquifères est étroitement liée à l'interférence de plusieurs facteurs (pluies, géologie, sens des écoulements, activités anthropiques….) :

- Dans la plaine alluvionnaire, les faciès chimiques sont chlorurés calciques à l'Est et bicarbonatés calciques à l'Ouest. Le substratum marneux gypsifère et les lentilles d'argile influencent le premier faciès, les travertins du Sud en revanche marquent le caractère du second.

A l'Est de Oued Zimba, les eaux sont très dures, présentent une alcalinité supérieure à la norme et sont de qualité médiocre, à l'Ouest elles sont dures, présentent une alcalinité inférieure à la norme et sont de qualité passable.

- Dans les aquifères d'Héliopolis et Ras El Agba, les faciès chimiques bicarbonaté calcique sont d'origine calcaire. Les eaux sont assez douces.

* Les valeurs des isotopes de l'eau ont permis de classer les quatorze sources étudiées en trois classes ;

- **1ere classe:** (**1** à **5**) situées à droite de MWL :

Les eaux sont enrichies en **O^{18}** : **(- 4,7 ÷ - 6) ‰.** et appauvries en **δD** : **(- 30,4 ÷ - 52,7) ‰.**

1- Oe. Maiz, 2- Guergour, 3-Bouchiha, 4- A. Abdallah, 5- A. Hamia.

- **2eme classe** : (**8** à **12**) situées à gauche de la ligne de la méditerranée occidentale, enrichies en **δD** : **(- 9,6 ÷ -14,8) ‰.** et relativement riches en **O^{18}** : **(- 5,5 ÷ -7,3) ‰.**

8- Zouaniz, 9- A. Defla, 10- A. Ben Ali, 11- Rosfa, 12- source thermale O/ Ali.

- **3ème classe** : **(6, 7, 13 et 14),** relativement appauvries en, **O^{18}** : **(- 6,8 ÷ - 7,7) ‰.** et relativement en **δD** : **(-19,6 ÷ - 42,6) ‰.**

6- A. Beida, 7- Source thermale Hm.Meskhoutine, 13- Ras El Fedj, 14- A.Sbaa.

* Cette classification a permis deconfirmer l'origine différente des sources thermales de hammam Meskhoutine et hammam ouled Ali.

- De confirmer l'origine des nitrates (agricole, élevage, urbaine,…) dans les trois aquifères.

Selon le degré de pollution défini dans la région d'étude, trois niveaux de pollution ont été dégagés :

Mis en forme ...

Mis en forme ...

Mis en forme ...

Mis en forme : Police :(Par défaut) Arial, 12 pt, Police de script complexe :Arial, 12 pt

Mis en forme ...

Mis en forme : Police :(Par défaut) Arial, 12 pt, Police de script complexe :Arial, 12 pt

Mis en forme ...

Mis en forme ...

Mis en forme ...

Mis en forme : Police :(Par défaut) Arial, 12 pt, Police de script complexe :Arial, 12 pt

- La plaine alluvionnaire est une zone à forte pollution, surtout la basse terrasse longeant l'oued seybouse.
- La région d'Héliopolis revêt un caractère de moyenne pollution, parce que seule, la partie Sud Ouest, représentant une bande de faible largeur sur la rive gauche de l'Oued Seybouse est exposée à la pollution.
- La région de Ras El Agba-Sellaoua est caractérisée par une pollution faible, parce qu'elle est moins exposée aux divers polluants, de par son altitude et son relief escarpé.

Les mesures recommandées, pour la protection des ressources hydriques dans les trois aquifères sont les suivantes :

* Le traitement sur place ou le stockage des rejets et déchets industriels (unités industrielles de production, stations de lavage et de carburant, élevage, raffinerie…).
* Eviter les infiltrations des rejets domestiques et industriels vers les aquifères et faire recours à des transferts par canalisations vers la stations d'épuration (cas de Oued Maiz et Oued Skhoune ; mise en service prochaine de la station d'épuration), ou vers des lagunes pour un traitement microbiologique (projet en phase d'étude par la DHW de Guelma).
* Traiter les déchets solides dans des centres d'enfouissement techniques (à l'exemple du C.E.T de Bouguerguer dans la région d'Héliopolis).
* Prévoir d'autres stations d'épuration pour les autres affluents de Oued Seybouse (à l'amont du barrage de Bouhamdane et à l'aval de la plaine alluvionnaire).
* Surveiller et contrôler l'utilisation des fertilisants et pesticides afin de minimiser ou éviter la migration des excès vers les eaux souterraines.

Références bibliographies :

A.B.H- C.S.M (Agence des Bassins Hydrographiques ; Constantinois, Seybouse, Mellègue). **(2005) :** Qualité des eaux souterraines dans le bassin de la Seybouse, *Rapport interne 46* pages

Algéo. Alger Géophysique. **(1997) :** Etude géophysique dans la plaine de Guelma. *Rapport interne.* 28 pages

A.N.R.H.: Agence Ntionale des Rssources Hdriques, Constantine. **(2004) :** *Les cahiers de l'agence,rapport interne.* 32 pages

C.R.A.A.G. Centre de Recherches Astronomiques et Géophysiques Algérien. **(2004) :** Etude géophysique par gravimétrie de la région de Oued Zénati, Guelma. *Rapport interne.* 42 pages

Detay M. (1993) : Le forage d'eau ; réalisation, entretien et réhabilitation. Edition Masson. 379 pages.

Detay M. (1996) : Hydrogéologie multidisciplinaire. Edition Masson.

Detay M. (1997) : La gestion active des aquifères. Edition Masson Paris. 416 pages.

Débiche 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(NE Algérien). Th. Doc. Université de FRANCHE COMTE. 199pages.

Djabri L. (1996) : Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la seybouse. Origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Th. doct,Es sciences, université Badji Mokhtar, Annaba. 261 p.

D.P.A.T. (2006) : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire. *Rapport interne, monographie de la wilaya de Guelma.* 36 pages

D.S.A. (2006) : Direction des Services Agricoles W. de Guelma, 2006. Développement rural dans la wilaya de Guelma. *Rapport interne*. 46 pages

E.NA.GEO. (1971) : Entreprise Nationale de Géophysique. Etude géophysique dans la région de De Guelma. 52 pages

Furry V. (1997) : Les eaux souterraines en Picardie *(Mémoire D.E.S.S).* Université Picardie Jules Verne. 30 pages.

Gharbi S, Kherouf S, Kaidi H. (2002) : Etude et reconnaissance hydrogéologique à partir des données géologiques et géophysiques de la région de (Hammam Brédaa-El Fedjoudj). Mémoire d'ingénieur. Université Badji Mokhtar. Annaba. 60 pages

Gaston R. (1993) : L'hydrologie de l'ingénieur Edition Eyrolles.

Gaud B. (1976) : Etude hydrogéologique de la nappe alluvionnaire de Guelma. Rapport interne, page : de 318 à 333

Grillot. cours de D.E.A, en hydrochimie EUST Languedoc, 50 pages.

Guilleminc C. et Roux J. C. (1992) : La pollution des eaux souterraines, *manuels et méthodes* Article n° 23 édition B.R.G.M.

Hélène C. J, Kamel Z. Yves T. et Abdelkrim D. (2001) : Caractérisation isotopique des pluies en Tunisie. *Essai de typologie dans la région de Sfax. p : de 625 à 631.*

Laborde J.P. (1997) : Eléments d'hydrologie de surface, cours de l'université de DEA, PA3S,de l'ENSG NANCY. France

Lahondère J. C. (1987) : Les séries ultra telliennes d'Algérie nord orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural. Th. Doct. Es sciences. Université Paul Sabatier, Toulouse. 242 pages

M.E.A.T. : Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire. **(2002)**. *Perspectives et politique de l'eau en Algérie. Rapport interne,* 66 pages

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 Badji

Mokhtar, Annaba.

Robert E. C, Samantha A. F and William E.. W. (2000): Isotopic, geochemical and biological tracing of the source of an impacted karst spring, Weldon spring, Missouri. *Article*, p: 99 à 103.

Rodier J. (1996). L'analyse de l'eau ; eaux naturelles, eaux résiduelles, eaux de mer. Chimie, physico chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. 8ème édition Dunod Paris. 1383 pages.

Saaidia B. et Chaab S. (2002) : Reconnaissance hydrogéologique à partir des données géologiques et géphysiques de la région de « Hammam Bredaa-El Fedjoudj ». Article, pages

Sari A E.W. (2002) : Initiation à l'hydrologie de surface, *cours et exercices*, édition Houma. 223 pages.

Shoeller H. (1962) : Les eaux souterraines, hydrologie dynamique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources. Edition Masson et Cie.

Vila J M, Busnardo R, Devries A, Magne J et Sigal J. (1968) : Données stratigraphiques sur la série renversée et charriée du Djebel Bousbaa et étude de son cadre structural (région de Guelma, constantinois, Algérie). B.S.G. Paris France, (7), X, p 206-212.

Vila J M. (1978) : La nappe néritique constantinoise : élément majeur de la chaine alpine d'Algérie orientale. 6ème réun. Ann. Sc. Terre. Orsay, p. 404.

Vila J. M. (1980) : La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Th. Doct. Es sciences naturelles, Paris 3 tomes, 665 pages, 199 figures, 40 planches

Zeddouri A. (2003) : Contribution à l'étude hydrogéologique et hydro chimique de la plaine alluviale de Guelma (Essai de modélisation), Guelma NE Algérien. Mémoire de magister, université Badji Mokhtar, Annaba. 107 pages