



Faculté des Sciences de la Terre
Département de géologie

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

THEME

**Epuisement de la nappe aquifère de la région de F'kirina
(W. d'Oum El Bouaghi), et ces répercussions sur la gestion des
ressources en eau**

Option : Hydrogéologie environnemental et modélisation.

Présenté par : Younssi Houssam Eddine

Directeue de mémoire : Mr. Saaidia Bachir M.C Univ. Badji Mokhtar- Annaba

Devant le jury :

Président: Mr. Nafaa. K. M.C. Univ. Badji Mokhtar- Annaba

Examineurs: Mr. Chaab. S. M.C. Univ. Badji Mokhtar- Annaba

Mr. Khanchoul. K. M.C. Univ. Badji Mokhtar- Annaba

Epuisement de la nappe aquifère de la région de F'kirina (W. d'Oum El Bouaghi), et ces répercussions sur la gestion des ressources en eau

Un aquifère peut être comparé à un compte bancaire, et les eaux souterraines sont analogue à l'argent dans ce compte, donc gérer efficacement et équitablement ces ressources en eau est l'un des défis les plus importants auxquels la plaine de F'kirina doit faire face, surtout avec les enjeux liés à la gestion de la ressource en eau qui ne cessent à croître en importance sous le double effet de la croissance démographique et de l'augmentation des besoins par habitant. Ainsi que l'eau étant menacée par sa rareté, le gaspillage, la pollution et la grande sollicitation des secteurs agricole et industriel.

Occupant la partie sud est de la wilaya d'Oum El Bouaghi, la plaine de F'kirina s'étend sur une superficie de 650 Km² et reste la plus importante plaine de cette région, elle assure l'alimentation en eau potable de trois villages (Ain Beida, F'kirina, Oued Nini, et ces Mechtats.), avec une population de plus de 133 milles habitants.

De part son contexte naturel et l'aridité de son climat, la plaine de F'kirina est un espace vulnérable et difficile à gérer. La sécheresse qui sévit périodiquement dans cette région, ajoutés à l'irrégularité habituelle des pluies et des cours d'eau, expliquent le recours à l'exploitation de la nappe phréatique.

Le climat est caractérisé par une forte variabilité dans le temps et l'espace des précipitations et par une intensité de l'évaporation. Ceci a conduit à la dégradation des potentiels de production
En matière de potentialités hydriques, la moyenne pluviométrique atteint les 400 mm/an sur l'ensemble du bassin, traduisant un apport annuel globalement faible, de l'ordre de 0,11 millions de m³ par an.

Outre, la plaine dans sa partie Est est en contact avec une sebkha (la Garaet Tarf) donc une probabilité d'une contamination de la nappe par les eaux de Sebkha. Ainsi qu'une pollution agricole dans la plaine du F'kirina n'est pas à exclure.

Vue cette situation, parait angoissante, nous essayons de d'appliquer les concepts d'une gestion intégrée et durable des ressources en eau, en se basant sur un diagnostic quantitatif et qualitatif des potentialités hydriques dans le bassin, pour arriver à mettre les grands axes de cette nouvelle vision qui a pour but d'améliorer la gestion actuelle de l'eau, et d'éviter la surexploitation de la plaine.

Mots Clés:

Epuisement, surexploitation, plaine de F'kirina, Garaet Et Tarf, Gestion intégrée, ressources en eau, pollution, potentialités hydriques, besoins.

Depletion of the aquifer of F'kirina (W. Oum El Bouaghi), and the impact on the management of water resources

An aquifer can be compared to a bank account, and groundwater are similar to money in this account, therefore, effectively and equitably manage these water resources is one of the biggest challenges that the plain F'kirina must cope, especially with issues related to management of water resources that continue to grow in importance under the double effect of population growth and increasing per capita needs. As water is threatened by its scarcity, waste, pollution and stress of the great agricultural and industrial sectors.

Occupying the south east of the wilaya of Oum El Bouaghi, F'kirina plain covers an area of 650 km² and is the largest plain in this region, it provides drinking water to three villages (Ain Beida F'kirina, Oued Nini, and these Mechtat.), with a population of over 133 thousand inhabitants.

Due to its natural context and arid climate of the plain F'kirina is a vulnerable area, difficult to manage. The drought in the region periodically, added to the normal irregularity of rains and rivers, explain that the exploitation of groundwater.

The climate is characterized by high variability in time and space rainfall and intense evaporation. This has led to degradation of potential production

In terms of water potential, the average rainfall reaches 400 mm / year across the basin, reflecting a low intake generally not the order of 0.11 million m³ per year.

In addition, the plain in its eastern part in contact with a sabkha (the Garaet Tarf) therefore a likelihood of contamination of ground water by Sebkh. As an agricultural pollution in the plain F'KIRINA not be excluded.

View this situation seems alarming, we try to apply the concepts of an integrated and sustainable management of water resources, based on a quantitative and qualitative assessment of potential water in the basin to reach to the main This new vision that aims to improve the current management of water and avoid overexploitation of the plain.

Keywords:

Exhaustion, overexploitation, plain Fkirina, Garaet Tarf, integrated management, water resources, pollution, water potential, needs.

استنزاف المياه الجوفية في لمنطقة فكيرينة (ولاية ام البواقي) ، و تأثيرها على إدارة الموارد المائية

طبقة المياه الجوفية التي يمكن مقارنتها بحساب مصرفي ، والمياه الجوفية هي مماثلة للمال في هذا الحساب ، ولذلك ، على نحو فعال ومنصف إدارة هذه الموارد المائية هي واحدة من أكبر التحديات التي يجب على سهل فكيرينة مواجهتها ، ولا سيما مع المسائل المتعلقة بإدارة الموارد المائية التي لا تزال تنمو في الأهمية تحت التأثير المزدوج لنمو السكان وزيادة نصيب الفرد من الاحتياجات. كما المياه مهددة بسبب ندرتها ، والنفايات ، والتلوث ، ونؤكد من القطاعين الزراعي والصناعي العظيم.

يقع سهل فكيرينة جنوب شرق ولاية أم البواقي ، يغطي مساحة قدرها 650 كلم² وهو أكبر سهل في هذه المنطقة ، ويوفر مياه الشرب لثلاث قرى (عين البيضاء ، وادي نيني ، و فكيرينة وعدة مشاتي) و يبلغ عدد سكانها أكثر من 133 ألف نسمة.

نظرا لسياقها الطبيعي والمناخ القاحل من العادي أنها منطقة ضعيفة، يصعب السيطرة عليها. الجفاف في المنطقة دوري، إضافة إلى عدم انتظام هطول الأمطار، يشرح الإفراط في استغلال المياه الجوفية. المناخ يتميز بالتفاوت الكبير في الوقت والمكان هطول الأمطار والتبخر المكثف. وقد أدى ذلك إلى تدهور امكانات الانتاج

، ويصل متوسط سقوط الأمطار 400 مم / سنة في جميع أنحاء الحوض ، مما يعكس انخفاض كمية مداخل الذي عموما ضعيف (0,11 مليون م³ سنويا)

بالإضافة إلى ذلك سهل فكيرينة في جزئه الشرقي في اتصال مع سبخة (قرعة الطرف) ولذلك فإنه هناك احتمال تلوث المياه الجوفية عن طريق السبخة. كذلك التلوث بالزراعة في السهل لا يمكن استبعاده.

عرض هذا الوضع ينذر بالخطر ويبدو أننا في محاولة لتطبيق مفاهيم الإدارة المتكاملة والمستدامة لموارد المياه ، على أساس تقييم كمي ونوعي للمياه في الحوض للوصول الى المحور الرئيسي لهذه الرؤية الجديدة التي تهدف إلى تحسين إدارة المياه الحالية وتجنب استنفاد المياه الجوفية.

المصطلحات:

الإرهاق، والإفراط ، ، والطرف والإدارة المتكاملة ، والموارد المائية، والتلوث، وكمية المياه. ، والاحتياجات ،قرعة الطرف فكيرينة

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ceux qui me

Sont les plus chers au monde:

A Mon père.

A ma très chère mère,

A mes frère Walid et Hamza.

A mes sœurs Hassina Ibtissam, et Fayza.

A mes amis d'enfance Zaghdoud Faycal Fouzi Tarak Rachid kadour, chakip

Lamine, et Chemchoum....

A mes amis de l'université de Constantine Krimou, Issam Hassen, Rima,

Houda, Fayçal et Ikram....

A mes amis de l'université d'Annaba Salim, Imad, fatih, Mouhamed et

Fouzi ...

HOUSSAM Eddine

Remerciements

Au terme de ce travail, nous ne manquons d'adresser nos sincères remerciements à tous ce qui ont contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Nos premières reconnaissances sont adressées tout d'abord à notre promoteur, Monsieur Saaidia Bachir qui a déployé ses efforts, pour nous faire profiter de ces vastes connaissances, de part son suivi continu et ces conseils fructueux et judicieux. Il nous a permis d'élaborer ce mémoire et qui sans aides, ce travail n'aurait point vu de jour.

Nous remercions toute l'équipe de la DHW d'Oum El Bouaghi particulièrement MR: ABD EL ALI, qui a met à notre disposition tous les documents nécessaires, constituant la base de ce travail. Egalement, nous remercions affectueusement tout nos professeur.

Table des Matières

Introduction Général.....	01
---------------------------	----

Chapitre I : Cadre Physique

I.1.Situation géographique	03
I.2. Caractéristiques morphométrique du sous bassin de Garaet Tarf.....	05
I.2.1. Situation géographique.....	05
I.2.2.Etude de la répartition des Surfaces en fonction de l'altitude.....	05
I.2.2.1. Courbe hypsométrique.....	07
I.2.2.2. diagramme des fréquences altimétriques.....	07
I.3.Développement technico- économique	07
I.4. Facteur orographique	09
I.5.Géomorphologie	09
I.5.1. Le relief	09
I.5.2. La plaine	10

Chapitre II : Cadre Géologique

Introduction.....	11
-------------------	----

II.1. Description stratigraphique et lithologique	11
---	----

II.1.1. Le Secondaire.....	11
II.1.1.1. Le Trias.....	11
II.1.1.2. Le Jurassique	13
II.1.1.3. Le Crétacé Basal.....	13
II.1.1.4. Le Barrémien et l’Aptien	13
II.1.1.5. L’Albien	13
II.1.1.5.1. l’Albien sup. à Cénomaniens inf	13
II.1.1.6. Cénomaniens sup.....	13
II.1.1.7. Turonien	13
II.1.1.8. Sénomaniens	13
II.1.1.8.1. Coniacien	13
II.1.1.8.2. Santonien.....	14
II.1.1.8.3. Campanien.....	14
II.1.1.8.4. Maestrichtien	14
II.1.2. Le Tertiaire	14
II.1.2.1. L’Eocène	14
II.1.2.2. Le Miocène	15
II.2. Les styles structuraux	16

II.3. Les dépressions et fosses d’effondrement	16
II.4. Structure et tectonique	17
Conclusion.....	19

Chapitre III : Hydroclimatologie

Introduction	20
III.1. Les facteurs climatiques	21
III.1.1. Les précipitations	21
III.1.2. La température.....	21
III.2. Notion du bilan d’eau	23
III.3.Estimation de l’évapotranspiration	23
III.3.1. Estimation de l’évapotranspiration réelle (ETR)	23
III.4. Estimation de la lame d’eau	26
III.4.1.Le ruissellement	26
III.4.2.. Infiltration efficace	27
Conclusion.....	27

Chapitre IV : Géophysique

Introduction	28
IV.1. L’étude géophysique réalisée dans la région	28
IV.2. Etablissement des cartes de résistivité apparentes.....	29

IV.2.1.Principe d'élaboration des cartes de résistivité.....	29
IV.3. Interprétation des cartes.....	30
IV.3.1. Carte des résistivités apparente AB = 400m.....	30
IV.3.2. Carte des résistivités apparentes AB = 3000.....	30
IV.3.3. Carte structurale	30
IV.4. profils géoélectriques	30
IV.5. Coupe géoélectrique	35
IV.5.1. Coupe géoélectrique H	35
IV.5.2. Coupe géoélectrique I.....	35
Conclusion.....	38

Chapitre V : Hydrochimie

introduction.....	39
V.1. Etude des paramètres physico-chimiques.....	39
V.1.1. Paramètres physiques.....	39
V.1.1.1. La température	39
V.1.1.2. Le potentiel d'Hydrogène (pH)	39
V.1.1.3. La Conductivité électrique.....	40

V.1.1.4. Minéralisation	41
V.1.2. Paramètres chimiques	42
V.1.2.1. Les cations.....	42
V.1.2.1.1. Le Calcium	42
V.1.2.1.2. Le Magnésium	43
V.1.2.1.3. Sodium et Potassium.....	44
V.1.2.1.4. La dureté totale (D.H.T)	45
V.1.2.2. Les anions	45
V.1.2.2.1. Les chlorures	45
V.1.2.2.2. Les sulfates	46
V.1.2.2.3. Les bicarbonates	47
V.1.2.2.3. Les nitrates.....	48
V.1.2.3. Etude des rapports caractéristiques	49
V.1.2.3.1. Rapport caractéristique rMg^{++}/rCa^{++}	50
V.1.2.3.3. Rapport caractéristique rNa^{+}/rCl^{-}	50
V.1.2.3.4. Rapport caractéristique $rHCO_3^{-}/rCa^{++}$	52
V.2. Classification des eaux.....	53
V.2.1. Classification de Stabler	53
V.2.2. Classification de Schoeller – Berkloff	54

V.2.3. Représentation de Piper.....	59
V.2.4. Classification des eaux en fonction de S.A.R	59
V.3. Potabilité des eaux	62
V.3.1. Norme de potabilité selon l’O.M.S.	62
Conclusion.....	64

Chapitre VI : Hydrogéologie

Introduction.....	65
VI.1. Extension et nature des nappes... ..	65
VI.1.1. Etablissement et interprétation des coupes hydrogéologiques.....	65
VI.1.1.1. Interprétation des coupes	65
VI.1.1.2. Type de nappe	67
VI.1.1.3. Coupe hydrogéologique NE – SW (OL1 – GET).....	67
VI.1.1.4. Coupe hydrogéologique NE SW (OL2 – 41).....	69
VI.1.1.5. Coupe hydrogéologique N S (M20 - E 41).....	70
VI.1.1.6. Coupe hydrogéologique E W (GET – A5).....	71
VI.1.2. Conclusion	72
VI.2. Carte piézométrique du bassin d’étude.....	72
VI.2.1. Inventaire des points d’eau.....	75
VI.2.2. Carte piézométrique en période des hautes eaux (juin 2007).....	75

VI.2.3. Carte piézométrique en période des basses eaux (novembre 2007).....	80
VI.3. Caractéristiques hydrodynamiques des nappes	80
VI.3.1. Paramètres hydrodynamiques des nappes	80
VI.3.2. Estimation des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère à partir des essais de pompage.....	82
VI.3.2.1- Nécessité et but des essais de pompage.....	82
VI.3.2.2- Essai de pompage par palier sur le forage H 47.....	82
VI.3.2.1.1. Interprétation qualitative des courbes.....	83
VI.3.2.1.2- Interprétation quantitative.....	85
Conclusion	87

Chapitre VII : Epuisement de la nappe phréatique

Introduction.....	88
VII.1. Les problématiques de l'eau dans la région de F'kirina	88
VII.1.1. Les changements climatiques	88
VII.1.1.1 Les précipitations et leur variabilité	88
VII.2. Les ressources et diagnostic de l'état actuel des eaux.....	90
VII.3. Les besoins en eau dans la région d'étude	90

VII.3.1.L'alimentation en eau potable, (AEP).....	90
VII.3.2.L'alimentation en eau agricole (AEA)	91
VII.3.3.L'alimentation en eau pour l'industrie	93
VII.4.La répartition de l'infrastructure hydraulique dans la plaine de F'kirina	94
VII.4.1. Les forages.....	94
VII.5.Le problème de l'épuisement de la nappe du mio- plio-quaternaire	96
VII.5.1.Le bilan de la nappe phréatique de F'kirina	96
VII.5.1.2.La décharge de la nappe.....	96
VII.5.2.Variation de niveau piézométrique de la nappe	96
Conclusion générale et recommandations.....	99

Liste Des Tableaux

<i>N° de tableau</i>	<i>Titre de tableau</i>	<i>Page</i>
Tableau n° 01	Répartition altimétrique par tranches en fonction des surfaces partielles.....	05
Tableau n° 02 :	Les coordonnées géographiques de la station d'Ain Beida.....	20
Tableau n° 03 :	Variations des précipitations mensuelles et saisonnières sur la période (1987-2007).....	21
Tableau n° 04 :	Variations des températures moyennes mensuelles	22
Tableau n° 05 :	Bilan hydrique à la station d'Ain Beida (1987-2007).....	24
Tableau n° 06 :	Ruissellement selon la formule de Tixerant-Berkaloff	26
Tableau n° 07 :	La valeur de l'infiltration efficace.....	27
Tableau n° 08 :	potabilité des eaux de la région d'étude.....	62
Tableau n° 09 :	Caractéristiques hydrodynamiques des nappes de la région d'étude	82
Tableau n° 10 :	Evolution des precipitation.....	88
Tableau n° 11 :	L'alimentation en eau potable dans la région d'étude.....	91
Tableau n° 12 :	L'alimentation en eau agricole	92
Tableau n° 13 :	Affectation des ressources en eau dans la région d'étude.....	93
Tableau n°14:	variation du niveau piézométrique.....	97

Liste des figures

<i>N° de figure</i>	<i>Titre de figure</i>	<i>Page</i>
Figure n° 01 :	Situation géographique de la zone d'étude.....	03
Figure n° 02 :	Sous bassin versant n°07-07 (Garaet Et Tarf).....	06
Figure n° 03 :	Diagramme altimétrique du sous bassin des Garaet Et Tarf.....	08
Figure n° 04:	Courbe hypsométrique du sous bassin de Garaet Et Tarf.....	08
Figure n° 05:	Carte géologique de la zone d'étude	12
Figure n° 06 :	Structure et Tectonique de la région d'étude	18
Figure n° 07 :	Précipitations moyennes mensuelles (1987-2007)	22
Figure n° 08 :	Températures moyennes mensuelles, (1987 – 2007)	22
Figure n° 09 :	Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques à la station d'Ain Beida (1987-2007).....	25
Figure n° 10 :	Diagramme de la variation de la RFU, du déficit et de l'excédent à la station d'Ain Beida (1987-2007).....	25
Figure n° 11 :	plan de situation des zones	29

Figure n° 12 :	Carte des résistivités apparentes AB = 400 m.....	31
Figure n° 13 :	Carte des résistivités apparentes AB = 3000m.....	32
Figure n° 14 :	Carte structurale de la région de F'kirina.....	33
Figure n° 15 :	les profils de la zone H	34
Figure n° 16 :	coupe géoélectrique H.....	36
Figure n° 17 :	coupe géoélectrique I.....	37
Figure n° 18 :	Carte d'isoconductivité.....	40
Figure n° 19 :	Carte d'isominéralisation	41
Figure n° 20 :	Carte d'égale valeur en Ca^{++}	43
Figure n° 21 :	Carte d'égale valeur en Mg^{++}	44
Figure n° 22 :	Carte d'égale valeur en (Na+K).....	45
Figure n° 23 :	Carte d'égale valeur en Cl.....	46
Figure n° 24 :	Carte d'égale valeur en SO_4	47
Figure n° 25 :	Carte d'égale valeur en HCO_3	48
Figure n° 26 :	Carte d'égale valeur en NO_3	49

Figure n° 27 :	Carte du rapport rMg^{++}/rCa^{++}	50
Figure n° 28 :	Carte du rapport rSO_4^{-}/rCa^{++}	52
Figure n° 29 :	Carte du rapport rNa^{+}/rCl^{-}	53
Figure n° 30 :	Carte du rapport $rHCO_3^{-}/rCa^{++}$	53
Figure n° 31 :	Carte de faciès chimique	55
Figure n° 32 a :	Classification de Schoeller- Berkaloff	56
Figure n° 32 b :	Classification de Schoeller- Berkaloff.....	57
Figure n° 32 c :	Classification de Schoeller- Berkaloff.....	58
Figure n° 33 a :	Représentation de Piper	60
Figure n° 33 b :	Représentation de Piper.....	60
Figure n° 34 a :	classification des eaux en fonction du S.A.R	61
Figure n° 34 b :	classification des eaux en fonction du S.A.R	57
Figure n° 35 :	Carte de potabilité des eaux dans la région d'étude.....	63
Figure n° 36 :	carte de situation des forages	66
Figure n° 37 :	Coupe hydrogéologique I (NE – SW)	68
Figure n°38 :	Coupe hydrogéologique II NE – SW.....	69

Figure n° 39 :	coupe hydrogéologique III, (N – S).....	70
Figure n° 40 :	coupe hydrogéologique IV, (E – W).....	71
Figure n° 41.a:	Logs stratigraphiques des forages.....	72
Figure n° 41.b	Logs stratigraphiques des forages.....	73
Figure n° 41.c	Logs stratigraphiques des forages.....	74
Figure n° 42 :	carte d'inventaire des points d'eaux.....	77
Figure n° 43 :	Carte piézométrique en période des hautes eaux (juin 2007).....	79
Figure n° 44 :	Carte piézométrique en période des basses eaux (novembre 2007)....	81
Figure n° 45 :	Courbe de descente du forage H 47.....	84
Figure n° 46 :	Courbe de remontée du forage H 47.....	84
Figure n° 47 :	Précipitations annuelles de la station d'Ain Beida entre 1970 et 2007..	89
Figure n° 48 :	L'alimentation en eau agricole.....	92
Figure n° 49:	Affectation des ressources en eau dans la région de Fkirina.....	93
Figure n° 50:	Schéma récapitulatif des nombres de forages dans la plaine de F'kirina.....	95

Figure n° 51:	Variation de niveau piézométrique de la nappe phréatique.....	97
Figure n° 52:	Niveau de la nappe en juin 1987.....	98
Figure n° 53:	Niveau de la nappe en juin2007.....	98

Liste des Acronymes

- ABH** : Agence de Bassin Hydrographique.
- ADE** : Algérienne des Eaux.
- AEA** : Alimentation en eau pour l'agriculture.
- AEI** : Alimentation en eau pour l'industrie.
- AEP** : Alimentation en eau potable.
- AGID** : Agence de gestion pour l'irrigation et le drainage
- ANBT** : Agence Nationale des Barrages et de Transfert.
- ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
- CDARS** : commissariat de développement aux régions sahariennes
- CGG** : La Compagnie Générale de Géophysique
- CM** : Calcaires des Maestrichtien
- DHW** : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya.
- DPAT** : Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire.
- DSA** : Direction des Services Agricoles.
- GIRE** : Gestion Intégrée des Ressources en Eau.
- MRE** : Ministère des Ressources en Eau.
- NMPQ** : nappe du mio-plio-quaternaire
- OMS** : Organisation mondial de la santé.
- ONA** : Office National d'Assainissement.
- ONID** : Office National d'Irrigation et de Drainage.
- ONM** : Office National de Météorologie.
- ONS** : Office National de Statistiques.

Introduction

Générale

Longtemps considérées comme inépuisables, les ressources en eau font l'objet d'une attention accrue de la part de la communauté internationale qui souligne, à juste titre, le caractère stratégique et emblématique d'une gestion durable de ces ressources.

L'eau est pourtant abondante, mais sa répartition sur la terre est largement inégalitaire. Certains pays souffrent d'un manque d'eau important pour assurer les besoins vitaux élémentaires de leurs populations, tandis que d'autres ne savent plus comment maîtriser le trop plein d'eau chronique qui envahit progressivement les terres arables et déplace des flux entiers de population. Les réserves en eau douce de la planète ne constituent qu'une infime partie de l'eau présente sur terre (tout juste 3 %). Or, si l'on considère que près de 70% de cette eau douce reste emprisonnée dans la glace et dans les neiges et que l'eau contenue dans l'atmosphère, les rivières et les lacs représente moins d'1 % du stock d'eau douce, on comprend pourquoi les eaux souterraines (99 % du stock d'eau douce continentale) sont une richesse essentielle à préserver (Shiklomanov, 1993). Cependant, ce relevé des stocks ne reflète pas les flux globaux de ressources renouvelables. Notons que les eaux souterraines représentent environ un tiers de l'écoulement global des eaux continentales, (de l'ordre de 13 000 km³ /an pour un total d'environ 43 000 km³ /an), ce qui permet à ces ressources de soutenir le débit des cours d'eau superficiels. La baisse du niveau piézométrique des eaux souterraines peut donc provoquer l'assèchement temporaire de certains cours d'eau exutoires. Généralement de meilleure qualité que les eaux de surface, les eaux souterraines contribuent à une large part de l'alimentation en eau potable et permettent l'essor d'une activité économique (en particulier dans les secteurs agricoles et industriels) dont le développement est conditionné par la qualité comme par la quantité de ressources disponibles.

Parmi ces activités économiques, l'irrigation demeure largement tributaire des eaux souterraines, surtout dans les régions aux climats arides et semi-arides où la disponibilité en eaux de surface est restreinte. Ainsi, l'exploitation des eaux souterraines est un facteur crucial de développement

économique et social d'une région. Foster (2000) affirme que des forages ont été pratiqués pour extraire de l'eau du sous-sol depuis la préhistoire. Mais l'exploitation des aquifères à grande échelle est un phénomène qui s'est surtout développé durant la deuxième moitié du XXe siècle. Cette exploitation a parfois été encouragée par les gouvernements qui voyaient dans le développement de l'irrigation un moyen de satisfaire

les besoins des populations rurales, ainsi qu'une voie pour accroître leur popularité, sans se soucier des caractéristiques propres au fonctionnement des aquifères. Le progrès technique, couplé avec la croissance du nombre de forages pratiqués, souvent de manière anarchique,

a considérablement accru la fragilité de l'équilibre entre recharge naturelle et prélèvements d'origine anthropique. Tandis que les eaux souterraines pouvaient paraître une ressource disponible en quantité infinie lorsque les techniques de prélèvements étaient encore archaïques.

La notion de surexploitation des aquifères est au centre d'un débat scientifique qui a connu un essor dans le courant des années 1970. Cette notion est appliquée essentiellement dans des situations climatiques arides et semi-arides ; et plus particulièrement dans les régions où l'irrigation à grande échelle des cultures s'est développée. Suivant le point de vue adopté et la hiérarchisation des priorités affichées, la notion de surexploitation ne renverra pas aux mêmes définitions. Il n'existe d'ailleurs à strictement parler aucune définition rigoureuse de cette notion. Ceci tient à un certain nombre de facteurs affectant le point de vue adopté. En effet, sur quelle superficie le bilan entre entrées et sorties de l'aquifère doit-il être évalué ? Sur quelle période est-il nécessaire de prendre en considération ce bilan : sur une année hydrique, une décennie, un siècle ? Comment tenir compte des incertitudes inhérentes au cycle de l'eau et de la difficulté même qui subsiste pour évaluer les quantités entrant dans l'aquifère sans même parler du stock global de ressources disponibles ? Malgré ces limites, la notion de l'épuisement des aquifères renvoie généralement à une situation où les quantités extraites sont estimées être plus importantes que la recharge de la nappe.

Dans ce cadre, notre étude sur la plaine de F'kirina a pour objectif, l'identification des caractéristiques du bassin, la quantification de ses ressources en eau, pour arriver à la fin de mettre les grands axes d'une gestion durable et rationnelle des ressources en eau.

Chapitre I : Cadre Physique.

I.1. Cadre Géographique:

La plaine de F'kirina est située à l'Est du pays, à la limite des hautes plaines constantinoises, des monts du Mellegue , des monts des Harectas et de ceux de Nememchas Sa superficie est de l'ordre de 650 km²

Pour les limites naturelles on distingue les zones suivantes:

Au Nord : la ligne de partage des eaux formé par le djebel El Galaa Kebira(1246 m), Djebel Ammamrat El Kebira (1203 m),et le djebel El Forne (1184).

Au Sud: la ligne de partage des eaux formé par le djebel Boutakhma (1291m), djebel fedj Amer (1259m), et le Djebel Bou Tebina (1226m).

A l'Est: la ligne de partage des eaux formé par le djebel El Medjifla (1174m), le Djebel Fedjijet (1291m), et le Kef El Assa (1117m).

A l'Ouest: une vaste zone plate limite des hautes plaines constantinoises et par la Garaet Et Tarf.

Du point de vue administratif, la région d'étude appartient à la wilaya d'Oum El Bouaghi, avec deux principales agglomérations:

La ville de Ain El Beida et la ville de F'kirina qui sont distantes l'une de l'autre de 17 Km.

Les voies de communication sont nombreuses, avec le principal axe routier Ain Beida - Khenchla.

La route Meskiana-Khenchla dans la partie sud.

La voie ferrée (Constantine - Oueled Rahmoune) traverse la zone septentrionale.

Avec l'existence de voies sous forme de pistes praticable et commodes à la circulation

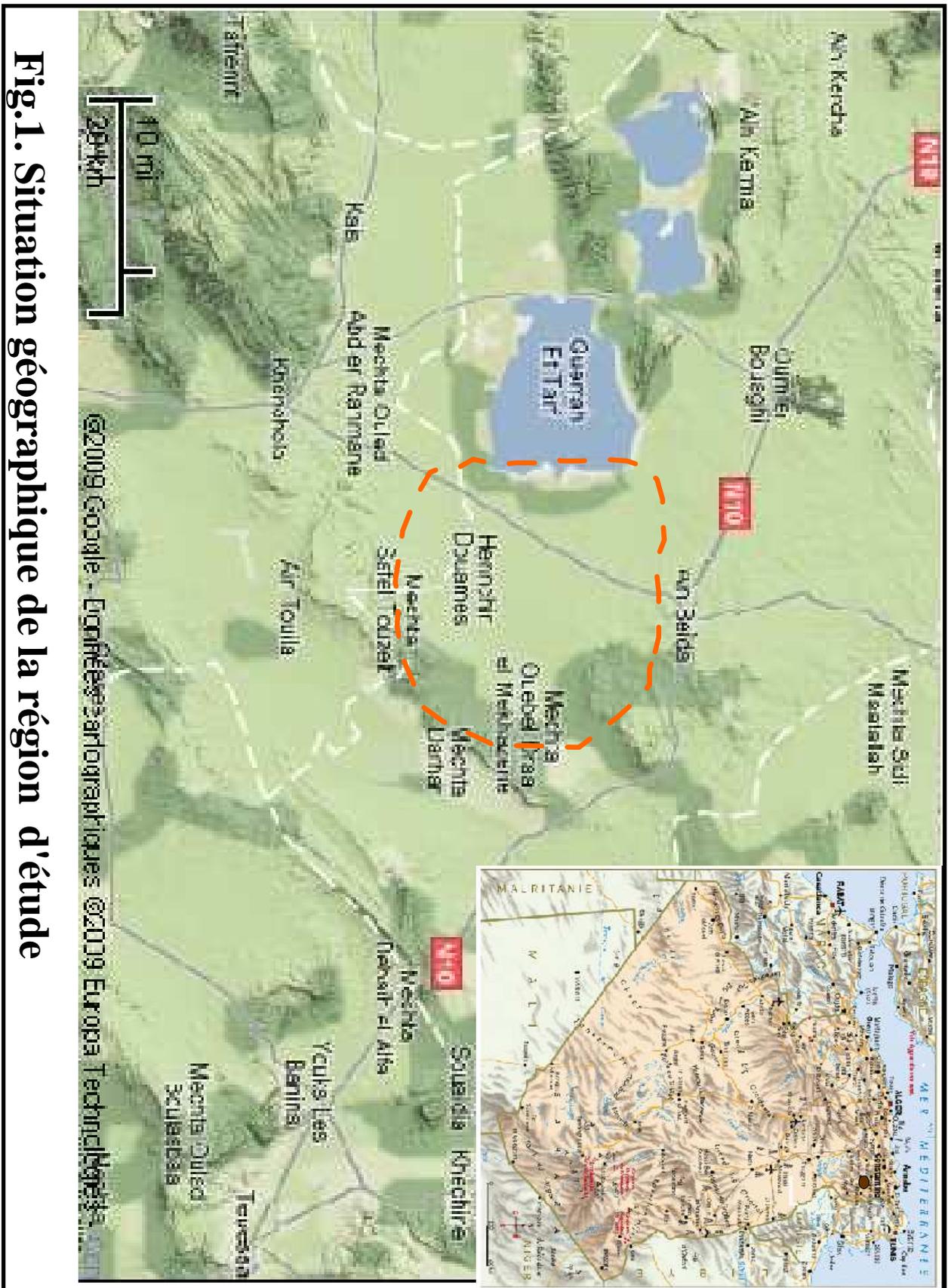


Fig.1. Situation géographique de la région d'étude

I.2. Caractéristiques morphométrique du sous bassin de Garaet Tarf :

Cadre physique

I.2.1. Situation géographique :

La plaine de F'kirina appartient au sous bassin versant de Garaet Tarf. Le sous bassin versant de Garaet Tarf d'une superficie de 2430 km², appartient au bassins versant des hauts plaines Constantinoises (9578 km² de superficie).il présente une dénivelée de 1269m, sa forme allongée, sa faible pente, la nature géologique des terrains d'affleurement, ses températures spécifiques et sa couverture végétale ; sont des paramètres qui favorisent l'évapotranspiration et l'infiltration sur le ruissellement.

I.2.2.Etude de la répartition des Surfaces en fonction de l'altitude.

La plupart des facteurs météorologiques (pluie, température en particulier) et des facteurs hydrologiques (débit spécifiques), étant fonction de l'altitude, et plutôt des pentes.

Il est intéressant de calculer la répartition du bassin versant en km² et en %, et la surface totale par tranche d'altitude.

Tableau n° 1. Répartition altimétrique par tranches en fonction des surfaces partielles.

Tranche d'altitude.	Surface en km ² .	Pourcentage des surfaces.	Surfaces cumulées en %.	Altitudes cumulées en %.
1350	1,30	0,32	0,32	100
1350 – 1300	5,30	1, 32	1,64	95
1300 - 1250	10,12	2,53	4,17	85
1250 – 1200	16,62	4 ,15	8,32	75
1200 – 1150	19,90	4,97	13,29	65
1150 – 1100	22,45	5,61	18,90	55
1100 – 1050	42,38	10,59	29,49	45
1050 – 1000	47,70	11,92	41,41	35
1000 – 950	79,35	19,83	61,24	25
950 – 900	95,45	23,86	85,10	15
900 – 850	48,83	12,20	97,30	5
850	10,60	2,65	100	0

Cadre physique

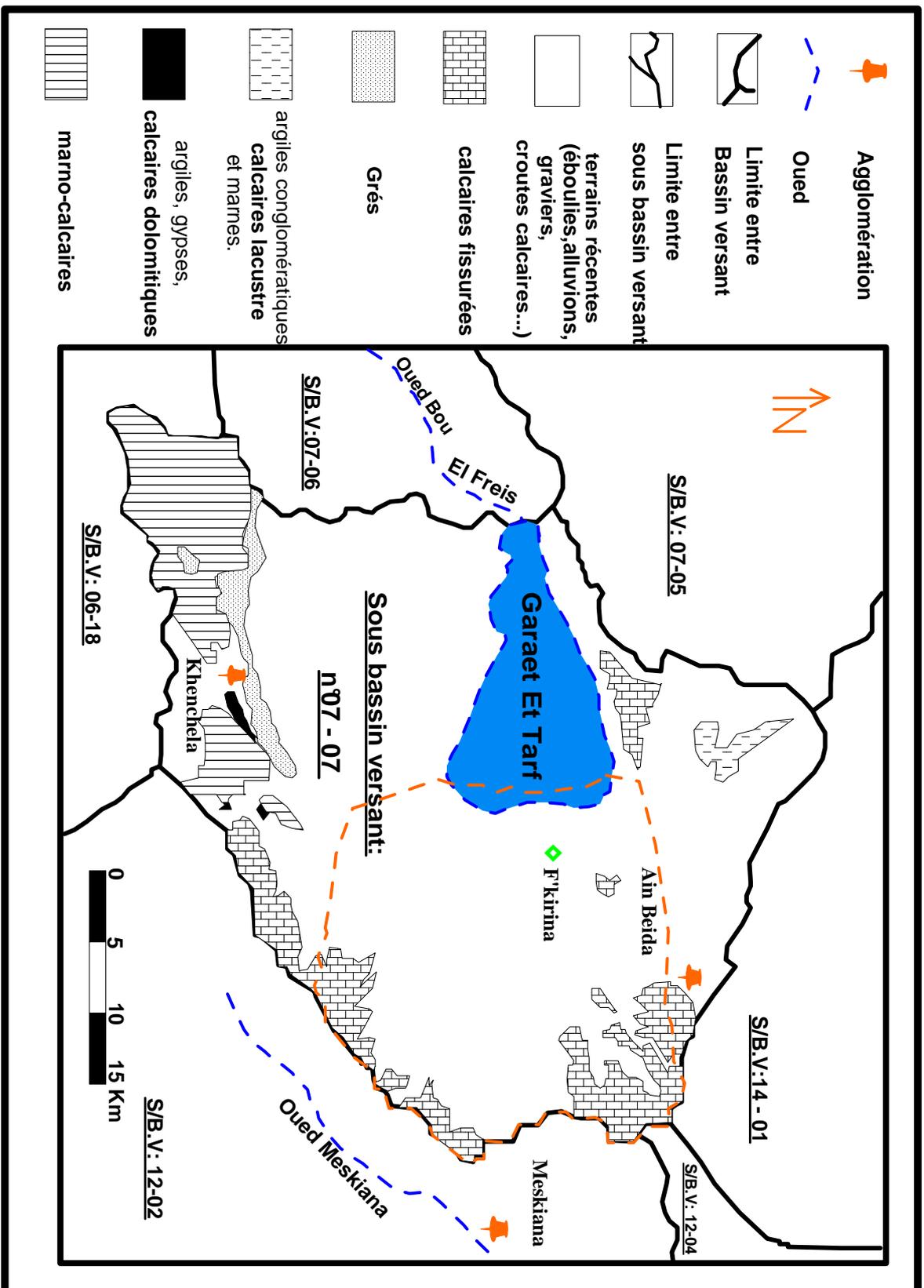


Fig.2. Sous bassins versant N° 07-07 (Garaet Traf)

Les données du tableau 1 permettent de tracer :

- ❖ La courbe hypsométrique du sous bassin de la Garaet Tarf.
- ❖ Le diagramme des fréquences altimétriques.

A partir de ces courbes on peut déterminer les altitudes caractéristiques :

- ❖ Altitude moyenne qui correspond à l'ordonnée moyenne de la courbe hypsométrique. Elle est égale à 950 m.
- ❖ Altitude la plus fréquente qui correspond au maximum du diagramme des fréquences altimétriques. Elle est égale à 925 m.

I.2.2.1. Courbe hypsométrique :

On dresse la courbe hypsométrique avec en abscisse les surfaces cumulées, et en ordonnée les altitudes. Les tout est donné en %.

L'allure de cette courbe qui s'amorce par une pente forte au début et qui va en régression, traduit qu'on est en présence d'une plaine.

I.2.2.2. diagramme des fréquences altimétriques :

les données de la courbe hypsométrique peuvent être complétées par un diagramme de fréquences altimétriques, qui donne les surfaces en km² ou en % des éléments compris entre des altitudes échelonnées de 100 à 100.

I.3. Développement technico-économique:

La région de F'kirina, est en sa totalité une région à vocation agricole, principalement de céréaliculture notamment l'orge et le blé tendre et l'élevage du bétail.

Un autre domaine récemment introduit dans la région, est l'activité industrielle, avec la création des nombreuses usines concernant l'industrie légère tel que:

Le complexe de produits textiles d'Ain Beida.

L'usine de liège et de bois (S.N.L.B).

L'usine de SONATRACH.

Cette petite zone industrielle exploite des ressources hydrauliques importantes.

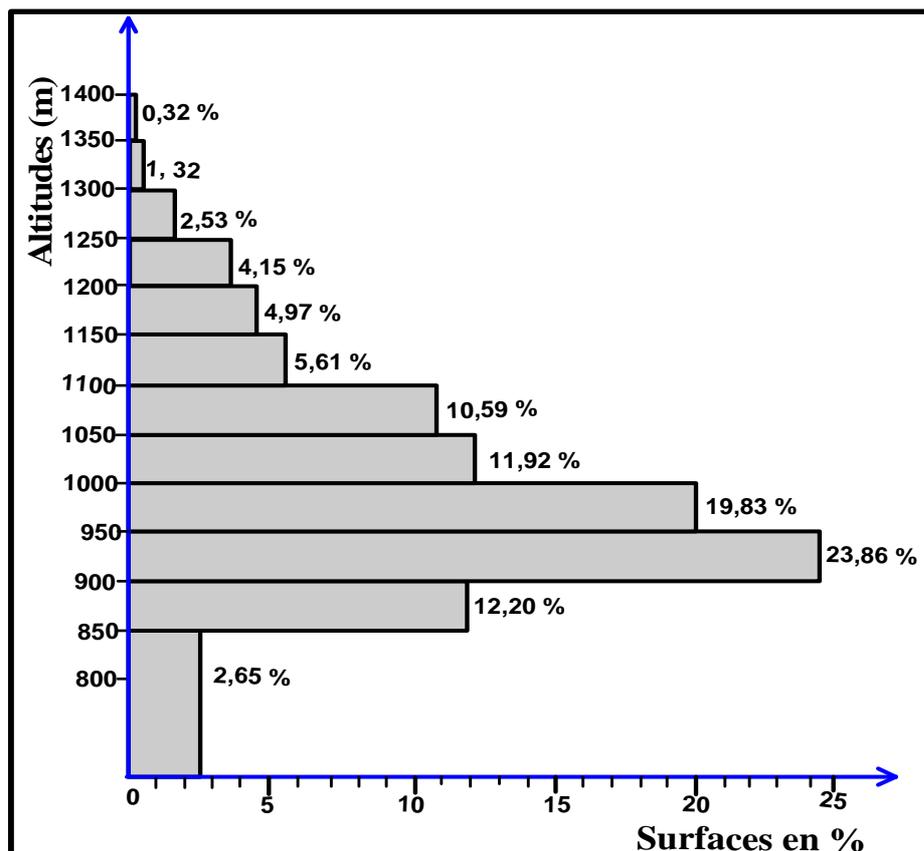


Figure n° 03. Diagramme altimétrique du sous bassin des Garaet Et Tarf

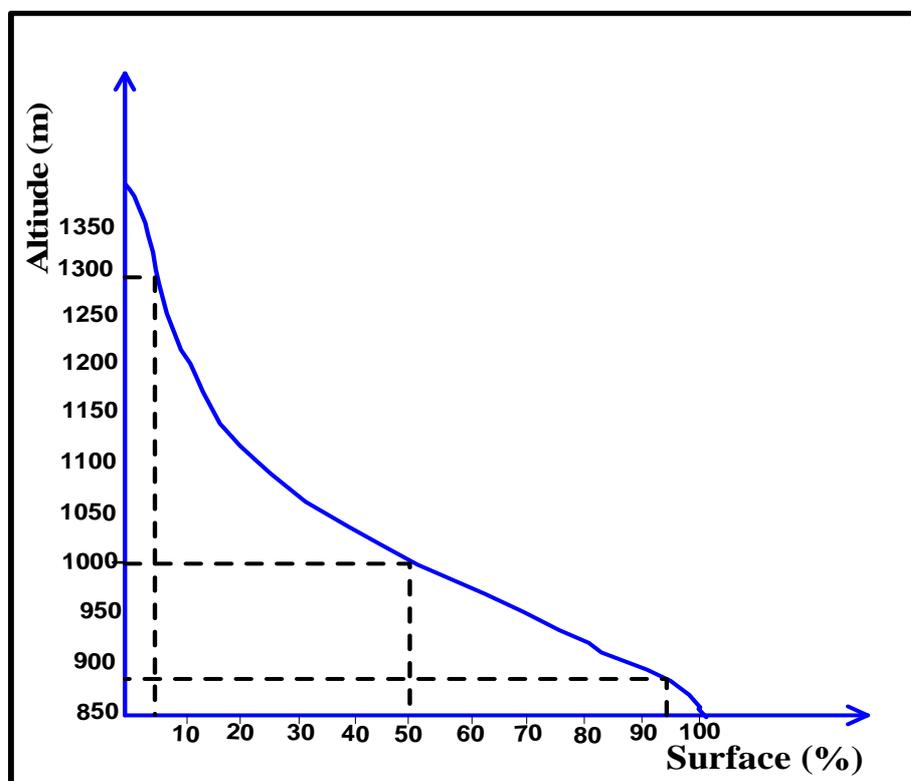


Figure n° 04. Courbe hypsométrique du sous bassin de Garaet Et Tarf

I.3. Facteur orographique:

Dans la région, il existe une multitude de montagne qui bordent la plaine à l'Est, au Nord et au Sud, leurs altitude sont supérieures à 1000m.

Parmi ces montagnes, les plus importantes sont:

Djebel Guern Ahmar (1200m).

Djebel Fedjijet (1291m)

Djebel Boutekhma (1349m).

Djebel Djazia (1192m).

Djebel Bardo (1110m).

Djebel el Gala (1200m)

Djebel el Zorge (1129m).

A partir de ces massifs de nombreux cours d'eaux temporaires donnent naissance; et forment le réseau hydrographique.

D'une façon générale l'écoulement se fait de l'Est vers l'Ouest, en direction de la sebkha de Garaet Et Tarf.

Les trois oueds temporaires les plus importants sont:

- ❖ Oued Nini.
- ❖ Oued oulmene.
- ❖ Oued Isfer.

I.4. Géomorphologie :

En se référant à la carte topographique et géologique de la région de F'kirna à l'échelle de 1 /50000, on remarque que la géomorphologie de la zone d'étude n'est pas très complexe.

I.4.1. Le relief :

Aux bordures de la plaine, sont reparties plusieurs montagnes qui forment la principale ligne du relief, d'altitudes très élevées et variables (supérieur à 1000m), et de direction générale NE-SW.

I.4.2. La plaine

Avec des altitudes variant de 840 à 950 m, la surface est donc pratiquement plane, avec des pentes qui ne dépassent pas les 2% à l'Ouest et 7% à l'Est

La plaine, est entièrement recouverte de formations plio-quaternaires ou on distingue :

- **Les éboulis à blocs** : sont des grosses masses de calcaires situées au piémont des montagnes et qui proviennent des éboulements
- **Les alluvions** : forment l'unique et restreinte de l'oued Nini
- **Les sols salés** : ils sont dispersés dans la plaine, surtout on allant vers l'Ouest près de Gareat Et Tarf
- **Les glacis** : on distingue deux types de matériaux constituant les glacis, les uns d'âge récent : couvrant de très vastes surfaces, les autres d'âge ancien formé de croûtes calcaires et sont perchés par rapport aux surfaces précédentes.

Chapitre II : Cadre Géologique.

Introduction :

Dans ce chapitre, on donnera un aperçu sur l'étude géologique générale de la région de F'kirina. Nous nous sommes basés sur les cartes géologiques aux 1:50.000 N°148 (Oum El Bouaghi), N°149 (Ain Beida), N°176 (F'kirina) et N°204 (Ain Delâa) ainsi que sur les travaux effectués par Salah Guellal et J.M.Vila (1973).

Les formations secondaires et tertiaires sont localisées à l'extrême Est, au Nord-Est et au Sud de la plaine de F'kirina.

En ce qui concerne la plaine, elle est recouverte par le Quaternaire.

II .1. Description stratigraphique et lithologique, (Fig.05) :

II.1.1.Le Secondaire : Le Secondaire de cette région comprend des formations allant du Trias au crétacé supérieur.

II.1.1.1. Le Trias :

Dans la zone d'étude, les formations triasiques sont représentées de façon très discontinue. Quelques affleurement du Trias ont été observés dans les zones Nord-Est et Sud-Ouest d'Ain Delâa et de F'kirina.

Dans les deux cas, ces affleurements sont très réduits et constituent vers le Nord-Est leurs prolongements vers le Nord-Est sont représentées par Djebel El Krouma et Knif, (Nord de Khenchela).

Le matériel triasique rencontré en ces différents points présente régulièrement la même composition lithologique, faite d'argiles versicolores représentées par des dolomies sombres, rubanées et crypto cristallins, des cargneules finement gréseuses et des grés.

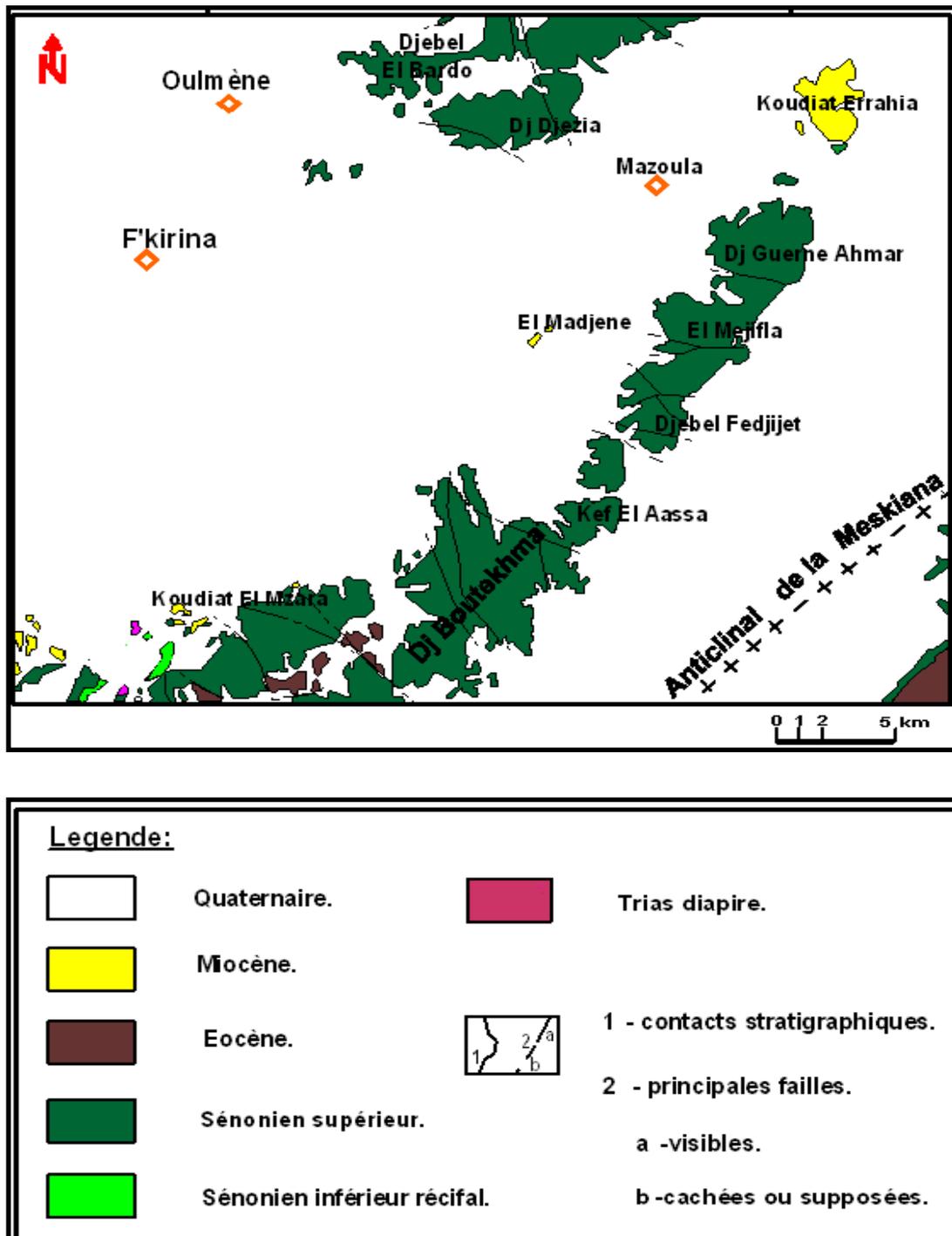


Fig.5. carte géologique de la zone d'étude

II.1.1.2. Le Jurassique : Aucun affleurement du jurassique n'apparaît dans la zone d'étude.

II.1.1.3. Le Crétacé Basal : (Berriasien à Hauterivien) : Le crétacé basal se retrouve rarement à l'affleurement.

II.1.1.4. Le Barrémien et L'Aptien : Ce crétacé inférieur à été reconnu

- Dans l'axe Bou-Arif - Fedjoudj - Et-Tarf.
- Dans la région de Khenchela (Djebel.Pharaoun).
- A la limite Est de la feuille d'Ain Beida (Koudiat El Hadjel).

- **Le Barrémien sup. :** Il est composé de marnes grises noires schisteuses et de grès blanc, fins argilo carbonatés à tendance quartzeuse. Son épaisseur est d'environ 80 m.

- **L'Aptien inf. :** Il est représenté par des marnes gris noir à intercalations de marno-calcaires gris. Son épaisseur est de 100 m.

- **L'Aptien sup. :** Il est formé de micrites et de bio-sparites et d'alternance de marno-calcaires, l'épaisseur atteint environ 300 m.

II.1.1.5. L'Albien : Représenté par des marnes, des grès ferrugineux et des biosparites.

II.1.1.5.1. l'Albien sup. à Cénomaniens inf. : composé par des marnes et des biomicrocrites grises.

II.1.1.6. Cénomaniens sup. : Il affleure dans la marge septentrionale de la feuille d'Ain Beida..Ce sont des marnes écrasées par la fracturation et des filons de calcite.

II.1.1.7. Turonien : représenté par des marno-calcaires avec des calcaires en plaquette à la base. Il affleure lui aussi dans la marge septentrionale de la feuille d'Ain Beida où il est fortement fracturé.

II.1.1.8. Sénonien : Du fait de l'importance de l'érosion antérieure au dépôt du Miocène marin, le Sénonien affleure de façon très irrégulière, il est très épais et atteint les 1200m à 2000m.

La partie supérieur de l'étage, formée régulièrement de calcaires massifs, donne des crêtes continues formant un des éléments caractéristiques de l'orographie de l'ensemble de la région.

Les séries Sénoniennes rencontrées, sont essentiellement marno-calcaires et souvent très fossilifères. Vers le Nord-Est de Khenchela, elles montrent une nette variation de faciès qui se poursuit jusqu'au Djebel El Bardo sous forme de calcaires bréchiens, récifaux et bioclastiques.

II.1.1.8.1. Coniacien : alternances de marnes grises et de calcaires noduleux beiges ou ocre contenant parfois des grains de quartz; l'épaisseur de ce dernier est de centaine de mètres.

II.1.1.8.2. Santonien : alternances de calcaires noduleux et de marnes grises l'épaisseur est de l'ordre de 100 à 150 mètres.

II.1.1.8.3. Campanien : le Campanien est constitué à la base par une barre de calcaires de 75 à 90 m. d'épaisseur surmontée par des marnes grises ou beige et des alternances de marne et de marno-calcaires 60m.

II.1.1.8.4. Maestrichtien : Il est illustré par :

- **Le Maestrichtien Inf. :** Il est représenté par 40 m environ de marnes grises- beiges, suivis d'une alternance de marnes beiges et de biomicrites argileuses ocre.
- **Maestrichtien Sup. :** Ses niveaux déterminent la ligne principale des reliefs, ils sont représentés par :

Des biomicrosparites grises, noduleuses, phosphatées et glauconieuses à passage marneuses à la base, alors qu'au sommet ce sont des biomicrites gris blanchâtres, massives (cassure blanchâtre) à passées noduleuses et à rognons de silex, la puissance de cet ensemble est de 120 m.

Une diminution de la puissance du Maéstrichtien supérieur du sud vers le Nord est à signaler. La séquence inférieure du Maestrichtien à marnes et biomicrites argileuses est régulièrement homogène, sa partie supérieure, du sud au nord, change de faciès, les biomicrosparites périrecifales, massives, passent rapidement dans la région d'Ain Dalâa et de La Meskiana à des micrites crayeuses, au Dj. Taffrent (F'kirina), le toit du Maestrichtien est souligné par une surface ferrugineuse.

II.1.2. Le Tertiaire :

II.1.2.1. L'Eocène : La répartition de l'Eocène est irrégulière au sud (secteur d'étude) où de rares témoins subsistent à la suite des érosions successives.

Il a été reconnu sur les flancs Est et Ouest du vaste anticlinal de la Meskiana, à Garaet Said et au Djebel Taffrent où il affleure à la faveur de larges replis synclinaux. Il s'agit des termes inférieurs de l'Eocène qui ne montent pas plus haut que l'Yprésien supérieur (du fait de l'érosion) et qui présentent une séquence marneuse et une séquence carbonatée séparées par une discordance légèrement gréseuse.

La série inférieure de l'Eocène qui paraît la plus complète se situe à 1 Km au sud de la localité d'Ain Dalaa. Ainsi, au dessus du toit raviné du Maestrichtien supérieur, viennent en concordance :

- 70 m de marnes grises verdâtres à la base.
- Une alternance de marnes gris beiges et de biomicrites finement gréseuses, beige et noduleuses.
- 80 m d'une alternance de micrites gris blanchâtres à nodules phosphatés et de biomicrites, blanchâtres souvent noduleuses à grains de phosphates à nombreux rognons de silex.

On signale l'absence de l'oligocène.

II.1.2.2. Le Miocène : Il est constitué de quatre faciès différents :

- **L'Aquitano-burdigalien :** Correspondant à la base du Miocène, il est discordant sur le Crétacé et est composé de conglomérats rouges dont l'épaisseur ne dépasse pas les 80 mètres.
- **Le Langhien- Serravalien :** Peu épais, environ 40 mètres, et discordant, il est composé par des marnes, des biomicrites et des grès blancs.
- **Le Tortonien Gréseux :** (Discordant sur des terrains allant du Sénonien à l'Albien). Composé de grès blancs grossiers en bancs avec rares intercalations argileuses. Cette formation à une puissance d'environ 300 mètres.
- **Le Tortonien Supérieur Continental :** Environ 150 mètres d'épaisseur, il est représenté par des argiles silteuses de couleur beige et rouge et par des grès.

II.1.3. Le Quaternaire:

Il couvre la quasi-totalité de la plaine et est présenté par :

- ❖ **Les éboulis à blocs :** ces éboulis proviennent du démantèlement des corniches calcaires du Maestrichtien supérieur.
- ❖ **Les alluvions actuelles ou récentes :** il s'agit de limons gris et des graviers, ces alluvions ont une extension limitée aux vallées de l'Oued Nini à l'Ouest et surtout de l'Oued Meskiana à l'extrême Sud-Est de la région d'étude.
- ❖ **Les sols salés de Sebka :** ils ont une extension de quelques hectares et ils sont observables au milieu de la vallée de l'Oued Meskiana.
- ❖ **Les terres arables et les alluvions anciennes :**

La partie occidentale de la région est recouverte de limons sombres, ils correspondent à des alluvions anciennes dont la morphologie est très plate.

❖ **Les glacis polygéniques :**

Ces glacis couvrent de très vastes surfaces, leur organisation en pente douce, sont tout à fait caractéristique, ils ravinent le cycle antérieur des glacis, caractérisées par des croûtes massives.

Il s'agit d'un nappage complexe à débris bien calibrés, parfois légèrement en croûtes, l'aspect est celui des croûtes calcaires rosâtres feuilletées.

❖ **Les croûtes calcaires :**

Ces formations sont perchées au-dessus des glacis polygéniques. Leurs aspect est celui de croûtes massives blanches, entaillées et karstifiées qui forment des surfaces taraudées, et des dépressions de formes variées.

Le réseau hydrographique quaternaire à été influencé de façon considérable par les mouvements tectoniques du Miocène et Pliocène.

II.2. Les styles structuraux :

Les formations parautochtones Nord Auresiennes représentées dans la zone centrale par les Dj. Fedjoudj, Kef Gouriret et Dj. Tarf, les massifs à l'est de Ain Beida ainsi que la ligne de reliefs monoclinaux des Djs. Boutokhma, Fedjidjet et Guern Ahmar illustrent les formations autochtones Nord Aurésiennes.

Le secteur Sud Ouest de la région étudiée au delà de l'axe Kais – Baghaï – koudiat El Mzara et Dj. Stih correspond aux formations autochtones Aurésiennes. Tous ces massifs sont affectés de plissements parfois intensifs selon la direction atlasique prédominante (Nord 40° Est) et cisailés par des failles type atlasique de directions majeures (NE – SO) qui leur donnent un aspect compartimenté.

II.3. Les dépressions et fosses d'effondrement :

Ces structures géologiques sont illustrés aussi bien par les grandes étendues comprises entre les massifs de Ain Beida et le parautochtone Nord Aurésien que par celles comprises entre les massifs d' Ain Beida , l'axe Fedjoudj – Tarf et l'axe des Djebels Guern Ahmar , Taffrent .

Ces dépressions et fossés ont été engendrés par le compartimentage dû aux failles atlasiques, du fait de la nature des matériaux les composants, le plus souvent marneuse ou marnocalcaires, formations ayant réagi plus souplement aux efforts tangentiels auxquels elles ont été soumises. Elles sont aujourd'hui comblées d'un matériel Moi-Plio-Quaternaire.

II.4. Structure et tectonique, (fig.06) :

Les différentes unités structurales en présence sont la résultante de deux importantes phases orogéniques tertiaire ayant engendré les structures et reliefs actuels. Il s'agit de la phase atlasique d'âge fini Lutétien intra Priabonien et de la phase Alpine Miocène, de type tangentiel.

Ces deux tectogenèses génératrices de tectoniques souple et cassante, ont donné naissance aux différentes formes structurales :

Failles de direction générale Nord-Est, Sud-Ouest, en passant par les grands plissements, synclinaux et anticlinaux.

Les formations Plio-Quaternaire sont le siège d'une néotectonique caractérisée par d'importants mouvements verticaux et des compressions modérées.

La direction majeure de la région est SW-NE (direction des plis de l'Aurès), elle est due aux plissements anté-miocène. Le Miocène est discordant sur les terrains antérieurs.

Dès cette époque ont débuté les montées diapiriques du Trias. Disloquant surtout les calcaires récifaux du Crétacé inférieur, celles-ci ont ouvert la voie aux venues minéralisatrices.

Quelques mouvements se sont produits pendant le dépôt du miocène, d'autres, plus importants et postérieurs, ont provoqué des plissements orthogonaux à la direction ancienne des failles et fractures orientées NW-SE.

Les principales unités tectoniques sont les suivantes :

- ❖ L'anticlinorium du massif d'Ain Beïda ;
- ❖ Le prolongement NW du grand anticlinal de Khenchela. Celui-ci, après s'être ennoyé sous la plaine de F' Kirina, réapparaît vers le NW et est matérialisé par la structure anticlinale de Argoub Zitoun jalonnée par des pointements Triasiques.
- ❖ L'anticlinal de la Meskiana.

Entre eux s'intercalent les synclinaux, tel que le synclinal perché de Mzara.

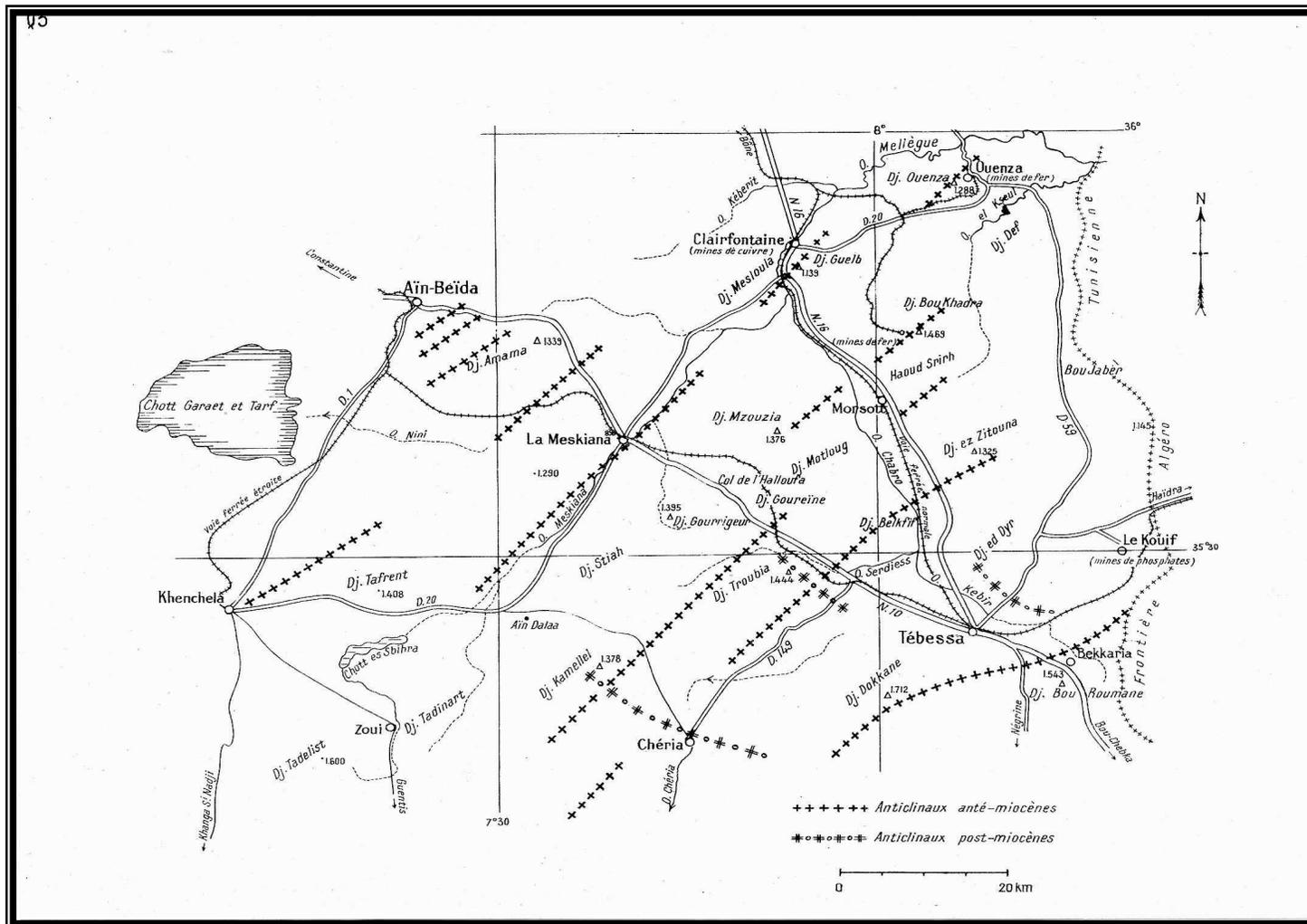


Fig.06. Carte

Structurale et tectonique de la région d'étude.

Conclusion :

La zone étudiée fait partie des domaines para autochtones nord-aurésien,

L'étude géologique de la plaine, basée sur la description géologique de la région a mis en évidence l'existence de trois structures d'importance hydrogéologique :

Un substratum marneux du Maestrichtien inférieur observé au djebel Boutekhma dans la partie sud de la plaine.

Un ensemble appartenant au Crétacé et au Miocène caractérisé par des calcaires maestrichtiens, affleurent près des djebels (El Bardo, Djezia, Fedjidjet, Boutakhma, et Koudiat El Mzara.).

Cet ensemble est d'un intérêt hydrogéologique important, car ces formations carbonatées peuvent formées des karsts et emmagasinées des grandes quantités d'eaux. Il serait le siège d'une nappe profonde.

Un bassin comblé d'une sédimentation hétérogène, notamment alluvionnaire, constitue le Quaternaire, avec une épaisseur de dizaines de mètres.

La perméabilité est acceptable, permettant de stocker de l'eau, et suscitant un intérêt hydrogéologique, pour une éventuelle exploitation de cette nappe superficielle.

Les formations perméables :

Les calcaires Maestrichtien.

Les calcaires Eocène.

Les formations gréseuses du Miocène.

Les formations Quaternaire qui s'étendent sur la totalité de la plaine.

Les lignes de sources apparaissent en bordure du contact calcaire du Maestrichtien supérieur et marnes du Maestrichtien inférieur.

Les formations imperméables :

Les marnes Coniaciennes.

Les marnes campaniennes.

Les marnes du Maestrichtien inférieur.

Les intercalations marneuses de l'horizon marin du Miocène.

Chapitre III :

Hydroclimatologie.

Introduction:

L'hydroclimatologie est une étape très importante pour une étude hydrogéologique. Elle permet de quantifier la part d'eau ruisselée et la part d'eau infiltrée utile à l'alimentation de l'aquifère.

Toute étude hydroclimatologique dépend de deux paramètres essentiels :

- Les précipitations qui nous renseignent sur les quantités d'eau utile au renouvellement de réserves et sur le régime pluviométrique.
- Les températures sont nécessaires pour estimer l'évaporation et l'évapotranspiration qui influent sur la part d'eau contenue dans le sol et par conséquent utilisable.

Ce dernier point est important pour les réserves souterraines en eau que pour la végétation et les cultures agricoles.

L'Algérie est caractérisée par une variabilité climatique liée aux irrégularités topographiques et aux influences opposées de la Méditerranée et du Sahara.

En ce qui concerne notre secteur d'étude le climat est semi-aride froid et sec.

Tableau n°02. Les coordonnées géographiques de la station d'Ain Beida:

Station	X	Y	Z	Période d'observation
Ain Beida	923,65	287,70	998	1987-2007

III.1. Les facteurs climatiques

III .1.1. Les précipitations:

C'est la totalité des eaux météoriques qui tombent sur la surface de la région ; elle est la principale source d'alimentation des bassins.

Les caractéristiques pluviométriques de la zone d'étude sont tirées d'une chronique de 20 ans (1987 – 2007) d'observation à la station d'Ain Beida.

Tableau n°03 : Variations des Précipitations mensuelles et saisonnières sur la période (1987-2007) :

	Sép	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aôt	Moyenne annuelle
	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
P (mm)	45,43	37,42	42,59	45,65	37,06	31,28	35,14	32,09	44,29	22,82	12,54	20,86	407,14
P (mm)	125,43			113,98			111,52			52,21			/
P (%)	31,11			28,27			27,66			12,95			100%

Selon le tableau 03 on remarque que le maximum des précipitations est observé au mois décembre 45,65 mm, et le minimal au mois de juillet 12,54 mm

La saison la plus pluvieuse est l'Automne avec une précipitation 125,43 mm.

III.1.2. La température :

Les températures présentent une variabilité en raison des saisons.

Ce facteur à une grande influence sur le bilan hydrique, du fait qu'il conditionne l'évapotranspiration.

Les températures moyennes mensuelles durant 20 années (1987 – 2007) sont représentées dans le tableau n°04 :

Tableau n°04 : Variations des températures moyennes mensuelles :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne annuelle
T (°c)	22,58	17,33	11,34	8,05	6,87	7,80	10,74	14,49	19,43	24,72	27,51	26,69	16,46

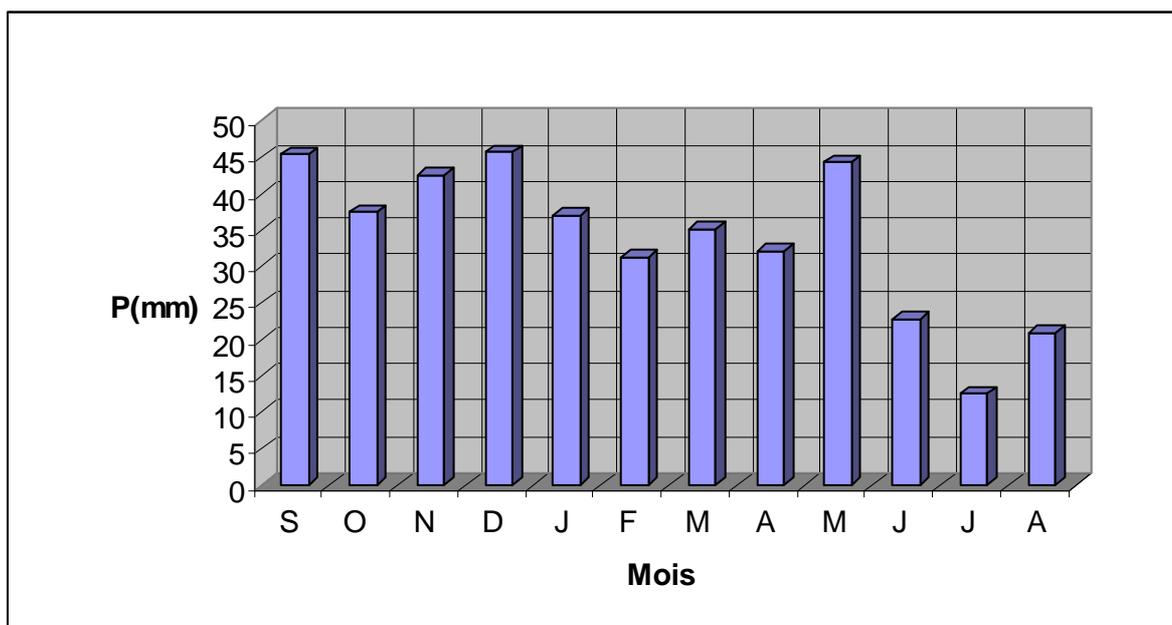


Figure n°07 : Précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Beida. (1987 -2007).

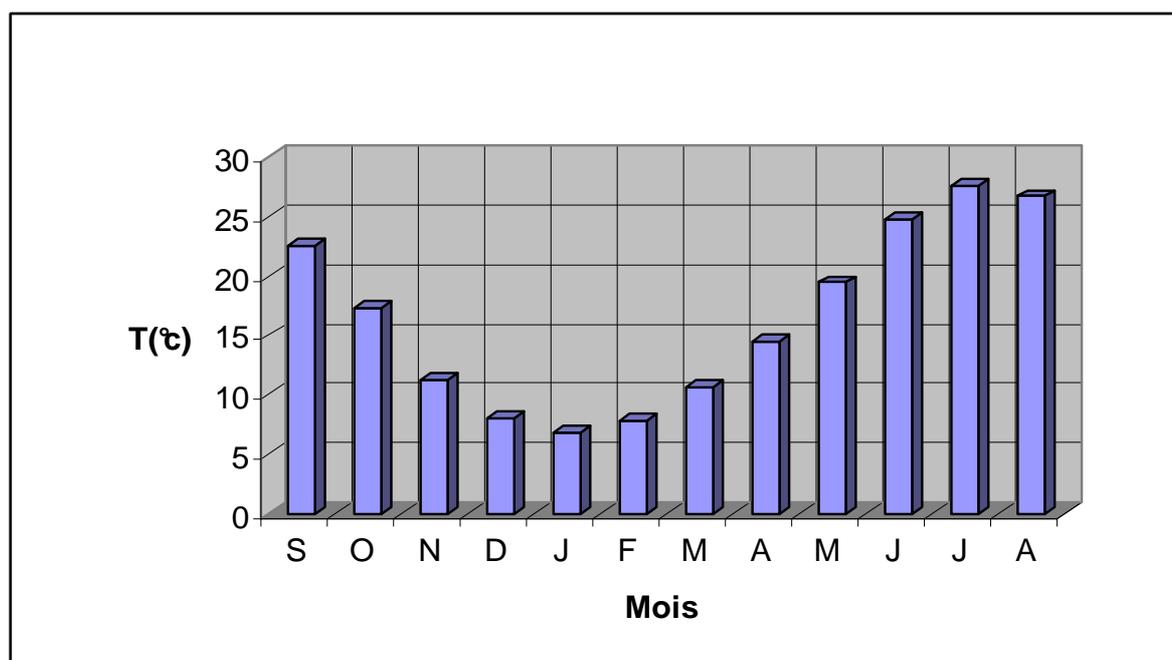


Figure n°08 : Températures moyennes mensuelles, de la station d'Ain Beida (1987 – 2007).
Selon le tableau n° 04 on remarque :

- ❖ La température moyenne de la région 16,46 °C
- ❖ Le mois de juillet représente le mois le plus chaud dans notre région avec une valeur maximal 27,51 °C.
- ❖ Le mois de Janvier et le mois le plus froid avec une température moyenne minimal 6,87 °C.

III.2. Notion du bilan d'eau :

Le bilan d'eau global correspondant à une équation entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la région étudiée, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, ruissellement et évaporation).

Pour cela, Nous nous sommes basés sur les données de station d'Ain Beida avec une période de 20 ans.

III.3. Estimation de l'évapotranspiration :

L'évapotranspiration constitue un des éléments du bilan hydrologique qui représente la quantité d'eau restituée à l'atmosphère sous forme de vapeur, l'évapotranspiration englobe deux processus l'évaporation (physique) et la transpiration par les plantes (biologique).

Les évapotranspirations réelles et potentielles peuvent être mesurées directement sur le terrain à partir d'un bac d'évaporation ou d'un évapomètre, on peut le déterminer par des formules empiriques telle que celle de turc, thornthwaite et d'autre.

III.3.1. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration réelle s'identifie au déficit d'écoulement et peut se calculer à partir de nombreuses formules qui induisent l'utilisation de deux paramètres climatiques à savoir : la pluviométrie et la température.

L'évapotranspiration réelle dépend de plusieurs facteurs selon la formule utilisée, mais le plus importants sont la quantité de pluie tombée dans le bassin mais également la réserve maximale en eau dans sol, le couvert végétale et la température de l'air.

Il est à rappeler que dans le cas où l'évapotranspiration potentielle est égale aux précipitations ceci implique que l'évapotranspiration potentielle représente l'évapotranspiration réelle.

L'excédent des précipitations sur l'évapotranspiration potentielle est emmagasiné dans le sol. Ce qui il augmente les réserves (RU) jusqu'à ce que ce dernier soit saturé (thornthwaite admet que la saturation est atteinte lorsque les réserves superficielles cumulées atteignent 25mm).

Tableau n°05: Bilan hydrique à la station d'Ain Beida (1987-2007) :

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	22,6	9,8	1,03	105,5	45,4	-60,1	0,6	0,0	0,0	45,4	60,1	0,0
O	17,3	6,5	0,97	62,2	37,4	-24,8	-0,4	0,0	0,0	37,4	24,8	0,0
N	11,3	3,4	0,86	26,1	42,6	16,5	0,6	16,5	16,5	26,1	0,0	0,0
D	8,1	2,1	0,81	13,7	45,7	32,0	2,3	8,5	25,0	13,7	0,0	29,5
J	6,9	1,6	0,87	11,1	37,1	26,0	2,3	0,0	25,0	11,1	0,0	26,0
F	7,8	2,0	0,85	13,4	31,3	17,9	1,3	0,0	25,0	13,4	0,0	17,9
M	10,7	3,2	1,03	28,4	35,1	6,7	0,2	0,0	25,0	28,4	0,0	6,7
A	14,5	5,0	1,10	51,7	32,1	-19,6	-0,4	-19,6	5,4	51,7	0,0	0,0
M	19,4	7,8	1,21	94,8	44,3	-50,5	-0,5	-5,4	0,0	49,7	45,1	0,0
J	24,7	11,2	1,22	146,1	22,8	-123,3	-0,8	0,0	0,0	22,8	123,3	0,0
J	27,5	13,2	1,24	179,3	12,5	-166,8	-0,9	0,0	0,0	12,5	166,8	0,0
A	26,7	12,6	1,16	159,3	20,9	-138,4	-0,9	0,0	0,0	20,9	138,4	0,0
Annuel	16,5	78,5		891,6	407,2	-484,4				333,1	558,5	80,1

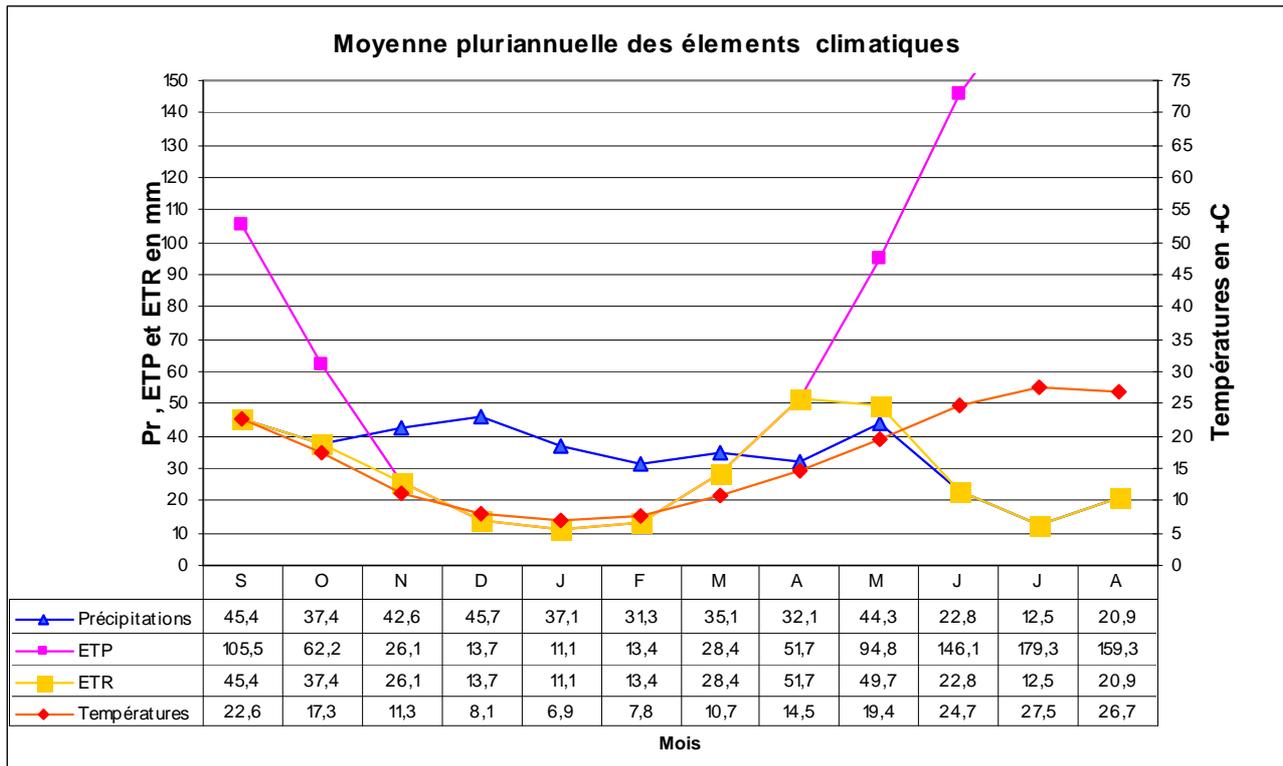


Figure n°09 : Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques à la station d'Ain Beida (1987-2007)

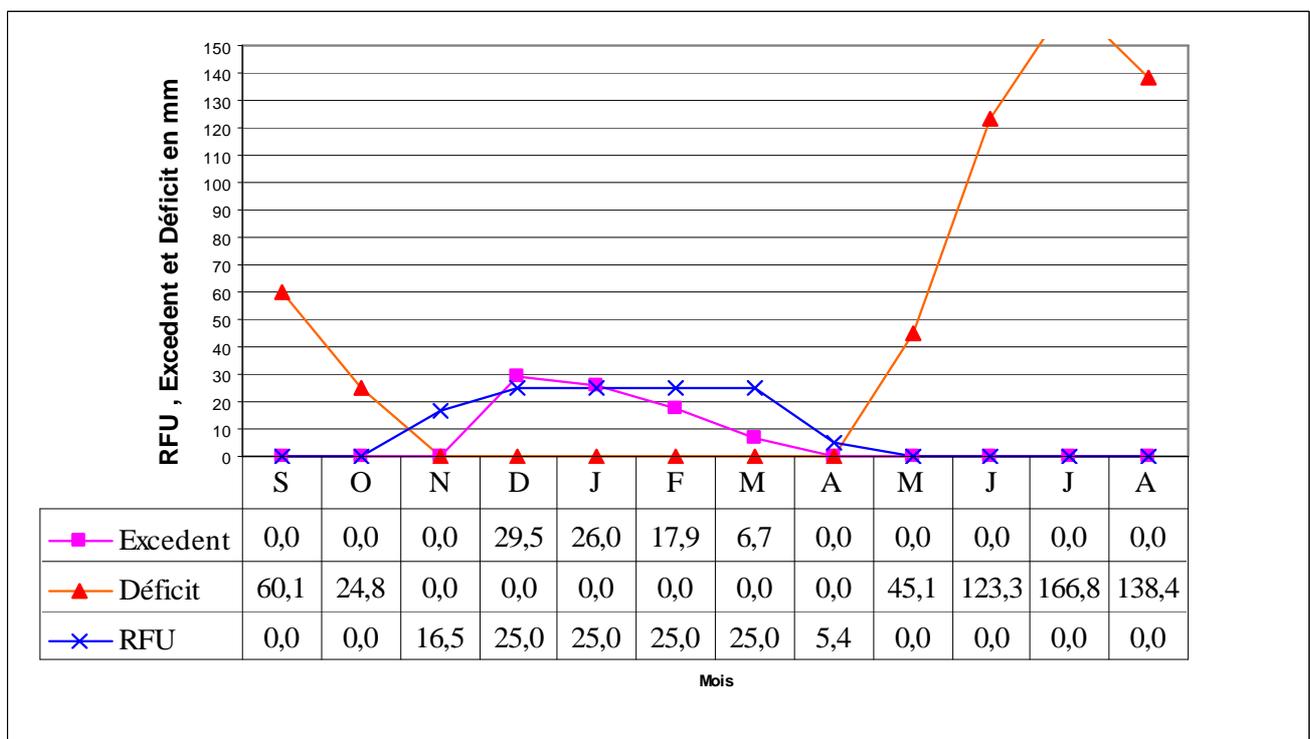


Figure n°10 : Diagramme de la variation de la RFU, du déficit et de l'excédent à la station d'Ain Beida (1987-2007)

Les graphes montrent que la RFU (réserve facilement utilisable) au station d'Ain Beida commence à reconstituer à partir du mois de novembre pour atteindre son maximum de 25 mm durant la période allant de décembre à mars.

Pendant cette période le surplus va se transformer en ruissellement.

La RFU va diminuer progressivement à partir du mois d'avril jusqu'à ce qu'elle s'épuise totalement au mois de mars

III.4. Estimation de la lame d'eau :

III.4.1. Le ruissellement :

Pour déterminer le bilan hydrologique, il est nécessaire d'évaluer le ruissellement dans le but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface du sol.

❖ Formule de Tixerant-Berkaloff :

Si $P \leq 600$ mm

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

Si $P \geq 600$ mm

$$R = P^3/3$$

Avec :

P : précipitation moyenne en m

R : Ruissellement superficiel; en m

ETP : Evapotranspiration potentiel; en m

Tableau n°06 : Ruissellement selon la formule de Tixerant-Berkaloff

paramètres station	P (m)	ETP (m)	R (m)
Ain Beida	0.4072	0.8916	0.028

A

l'issue de cette étude climatologique, on peut établir le bilan hydrologique à partir de différents facteurs déjà calculés.

$$P = ETR + R + I_e$$

vec :

P : précipitation moyennes pluriannuelles en mm / an.

ETR : Evapotranspiration réelle en mm / an.

I_e : Infiltration efficace en mm / an.

III-4-2-Infiltration efficace :

L'infiltration efficace (I_e), s'écrit comme suit : $I_e = P - ETR - R$

Tableau n° 07 : La valeur de l'infiltration efficace

Paramètres Station	P (mm /an)	ETR (mm/an)	R (mm/an)	I_e (mm/an)
Ain Beida	407.2	333.1	28	46.1

Les pourcentages des quantités d'eaux précipitées se répartissent comme suit :

- 81.80 % des précipitation s'évapotranspirent.
- 06.88 % ruissellent à la surface du sol.
- 11.32 % représente l'infiltration efficace.

Conclusion :

En définitive, ce chapitre nous a permis d'obtenir des résultats sur les divers facteurs climatiques (Température, précipitation et l'évaporation) concernant la série de (1987 -2007)

- les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 407.2 mm.
- la température moyenne annuelle est de 16,5°C.
- l'évapotranspiration représente 81.80 % des précipitations (333.1mm).
- Le réserve facilement utilisé (RFU) n'est plein que de décembre à mars et l'épuisement de 8 mois.

A partir des données climatiques on peut dire que la région d'étude est caractérisée par deux saisons :

- une saison peut pluvieuse froide allant du mois d'octobre jusqu'au mois de mai.
- une saison sèche chaude du mois de juin jusqu'au mois de septembre.

Chapitre IV : Cadre Géophysique

Introduction :

Les méthodes géophysiques sont considérées comme des outils performants d'acquisition de données indirectes sur la géologie en vue de l'étude des ressources d'eau souterraines.

La géophysique nous renseigne sur la nature lithologique des formations : (formations résistantes, et conductrices), et leur extension aussi bien horizontale que verticale.

IV.1. L'étude géophysique réalisée dans la région :

Une campagne géoélectrique a été réalisée en 1976 par la (C.G.G), à la demande du service hydrogéologique de l'ANRH ex INRH de Constantine.

Cette campagne couvre presque toute la wilaya d'Oum Bouaghie. La région est subdivisée en plusieurs zones, (fig.11).

Le secteur d'étude correspond à la zone H, cette zone est bordée à l'Ouest par la Garaet Et Tarf, à l'Est, au Sud Est et au Nord Est par les affleurements du Crétacé supérieur.

Sur l'ensemble de la zone, 378 sondages ont été effectués avec une longueur de ligne : $AB = 3000$ mètres, et 525 sondages avec $AB = 400$ mètres.

Ces sondages électriques ont permis l'élaboration de :

- deux cartes de résistivité apparente, l'une avec $AB = 400$ m et l'autre avec $AB = 3000$ m.
- une carte structurale et des coupes géoélectriques.

IV.2. Etablissement des cartes de résistivité apparentes :

Il faut avant tout préciser que plus la longueur de la ligne AB est grande, plus la profondeur d'investigation est importante, elle varie entre $AB / 10$ et $AB / 4$.

Le dispositif utilisé sur le terrain pour l'acquisition des données est le quadripôle de Schlumberger.

IV.2.1. Principe d'élaboration des cartes de résistivité :

Le profilage de résistivité se définit comme une méthode d'exploration horizontale à une profondeur d'investigation sensiblement constante.

Les cartes d'isoresistivité peuvent être construites à partir des mesures des profils de résistivité, soit à partir de mesures de sondages électriques pour une longueur de ligne AB donnée.

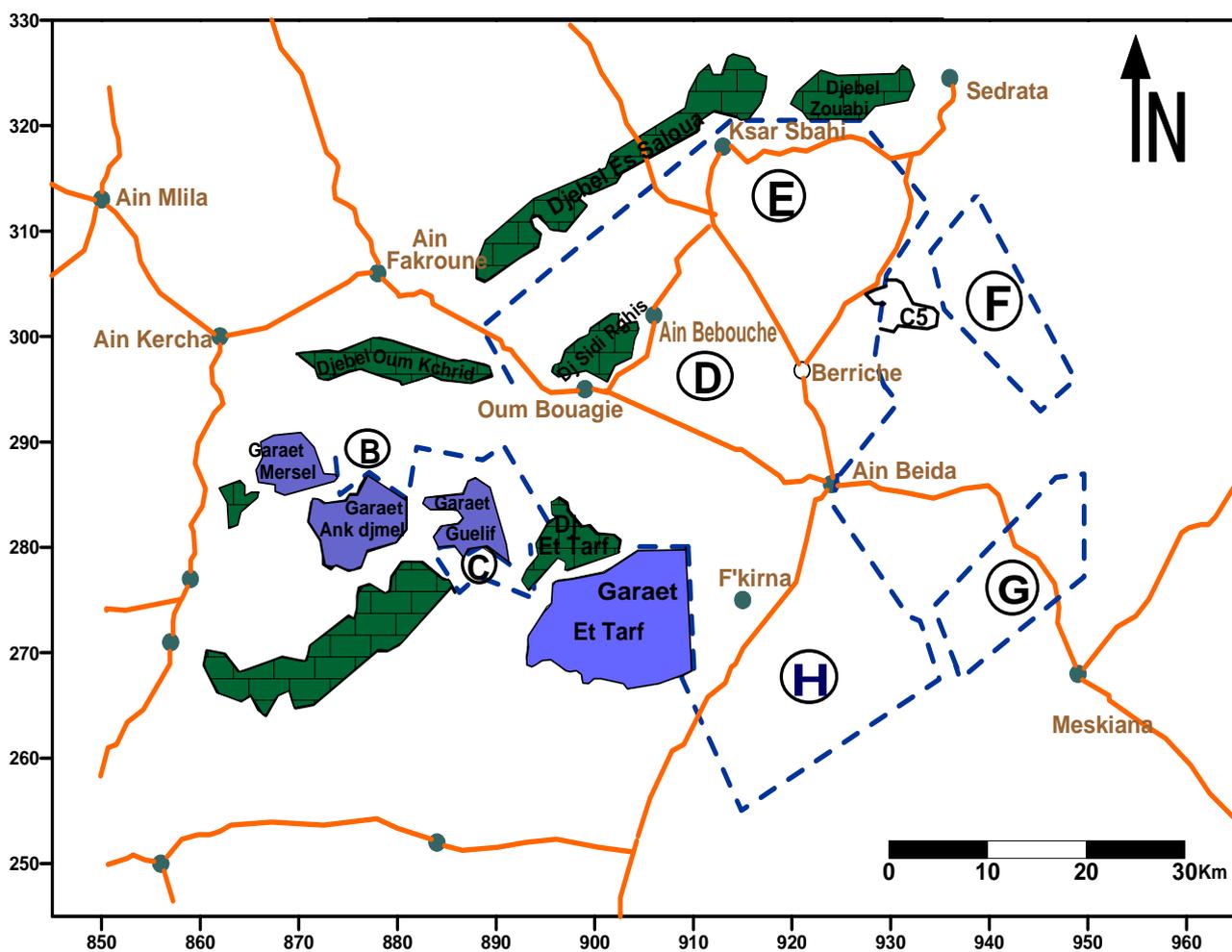


Fig.11 : plan de situation des zones

IV.3. Interprétation des cartes :

IV.3.1. Carte des résistivités apparente AB = 400m, (fig.12) :

Dans l'ensemble le secteur étudié qui est représenté par des formations quaternaires et des formations du Crétacé supérieur affleurant à l'extrémité Nord Est et Sud Est la résistivité varie entre 10 à 20 Ω .m.

Donc les horizons peu profonds du secteur étudié montrent des résistivités apparentes généralement faibles, ces valeurs peuvent être dues soit à l'importance de l'épaisseur du remplissage, soit à l'influence d'un substratum conducteur.

IV.3.2. Carte des résistivités apparentes AB = 3000, (fig.13) :

Pour une longueur de ligne AB = 3000, la profondeur d'investigation est apparemment plus importante. L'examen de la carte géologique montre des calcaires puis des marnes.

D'après cette carte, nous remarquons que les résistivités apparentes varient entre 10 et 30 Ω .m.

Donc, nous avons une influence des niveaux résistants, marqué par la courbe d'équirésistivité 30 Ω .m.

Pour les autres parties du secteur prospecté nous remarquons l'importance de l'épaisseur du remplissage mio-plio-quaternaire.

IV.3.3. Carte structurale, (fig.14) :

La carte structurale établie à partir de l'interprétation des coupes de sondage électriques, effectuée dans la région d'étude met en évidence des discontinuités électriques orientées Nord – Est, Sud – Ouest.

Ces discontinuités, peuvent être attribuées soient à des failles ou au zone de fort pendage ou à une changement de faciès.

Pour les fosses d'effondrements possible nous les trouvons également, le long de la route, Ain Beida - F'kirina, aux alentours du points G₅₅ et près du massif Boutekhma.

IV.4. profils géoélectriques, (fig.15):

A partir des données des résistivités apparentes, il a été réalisé un certain nombre de coupes géoélectriques suivant des profils orientés Nord-Ouest, Sud-Est.

Compte tenu du nombre considérable de coupes disponibles, il nous a paru raisonnable de représenter et d'interpréter seulement les coupes H et I.

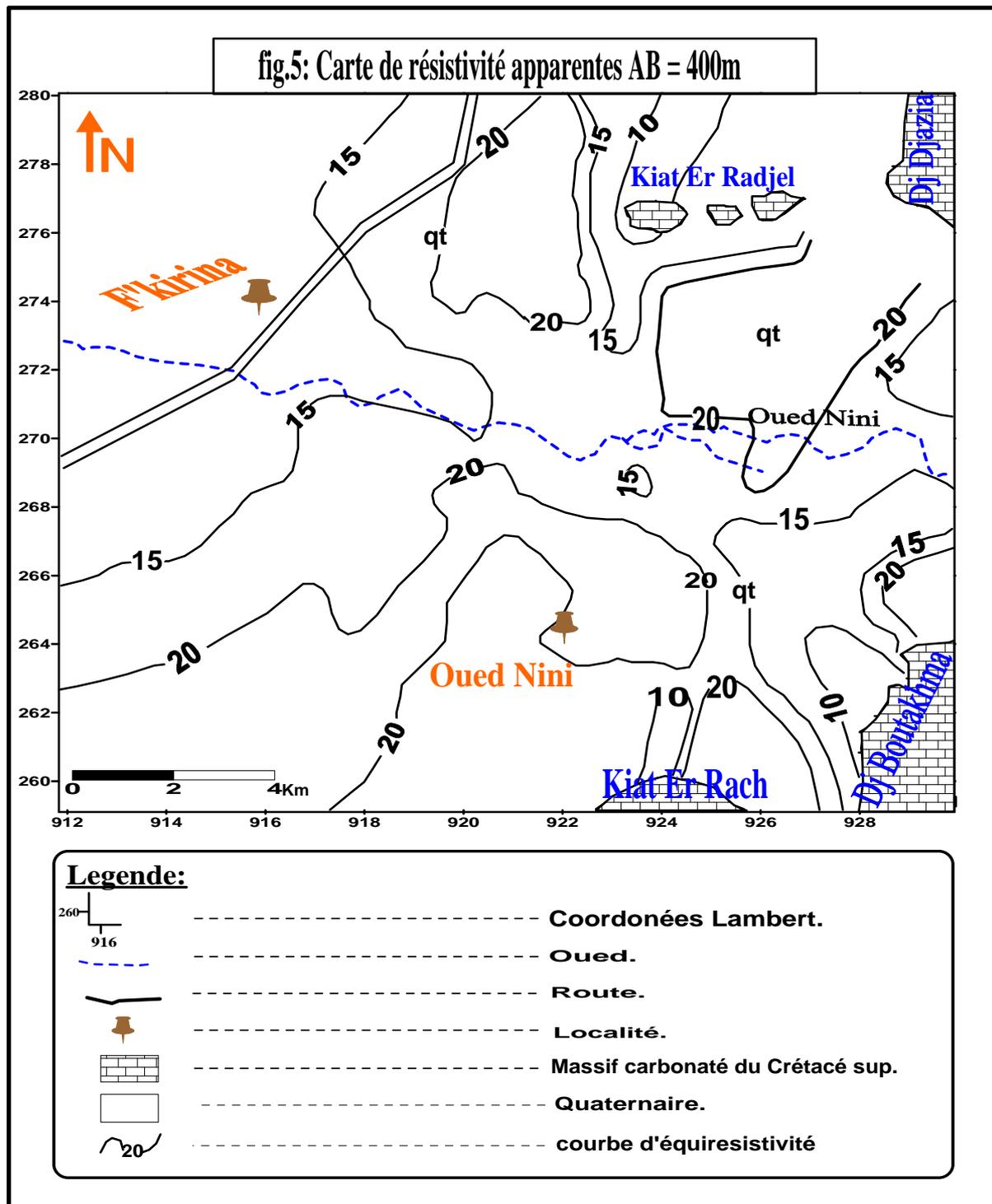


Fig.12. Carte des résistivités apparentes AB = 400m

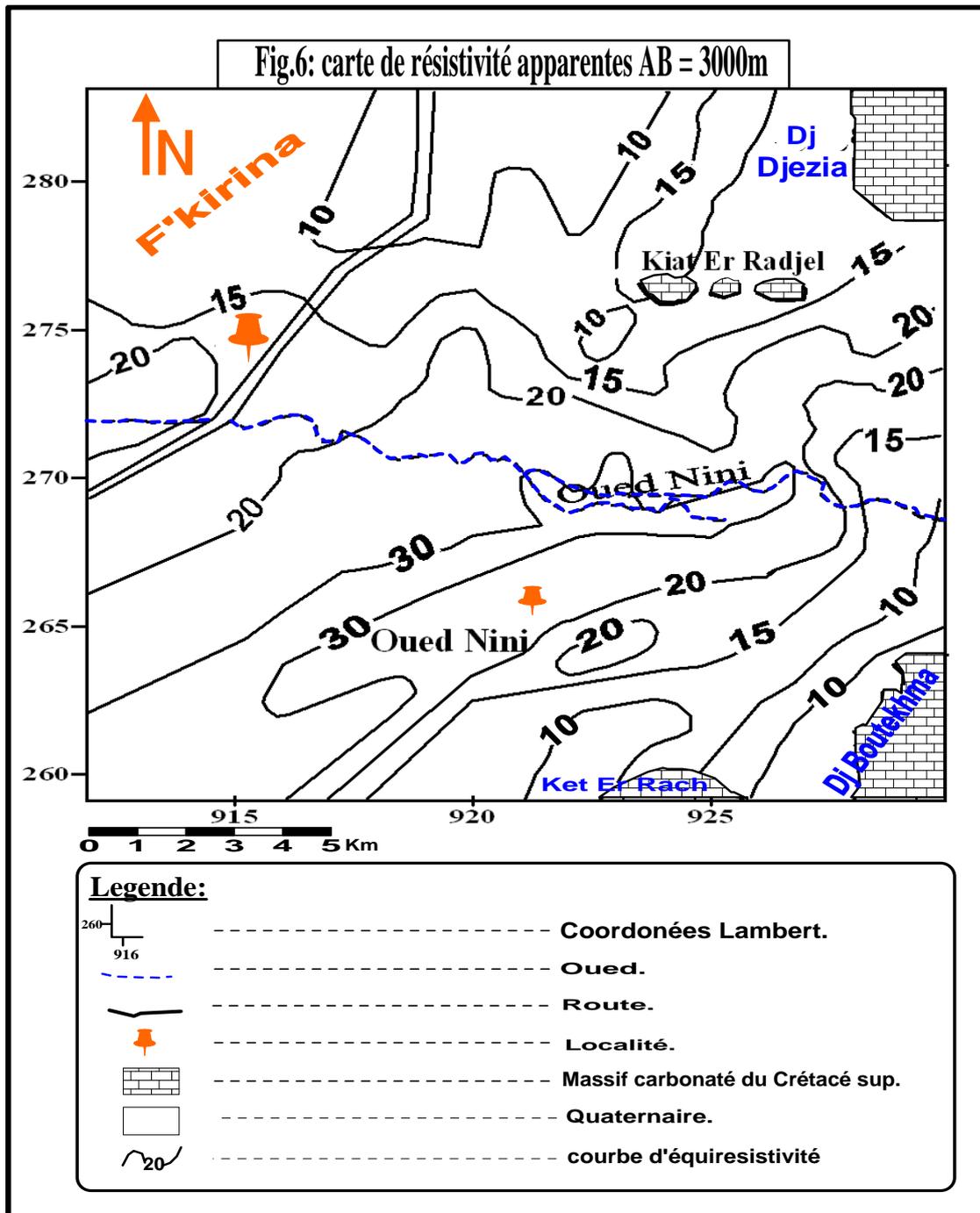


Fig.13. Carte des résistivités apparentes AB = 3000m

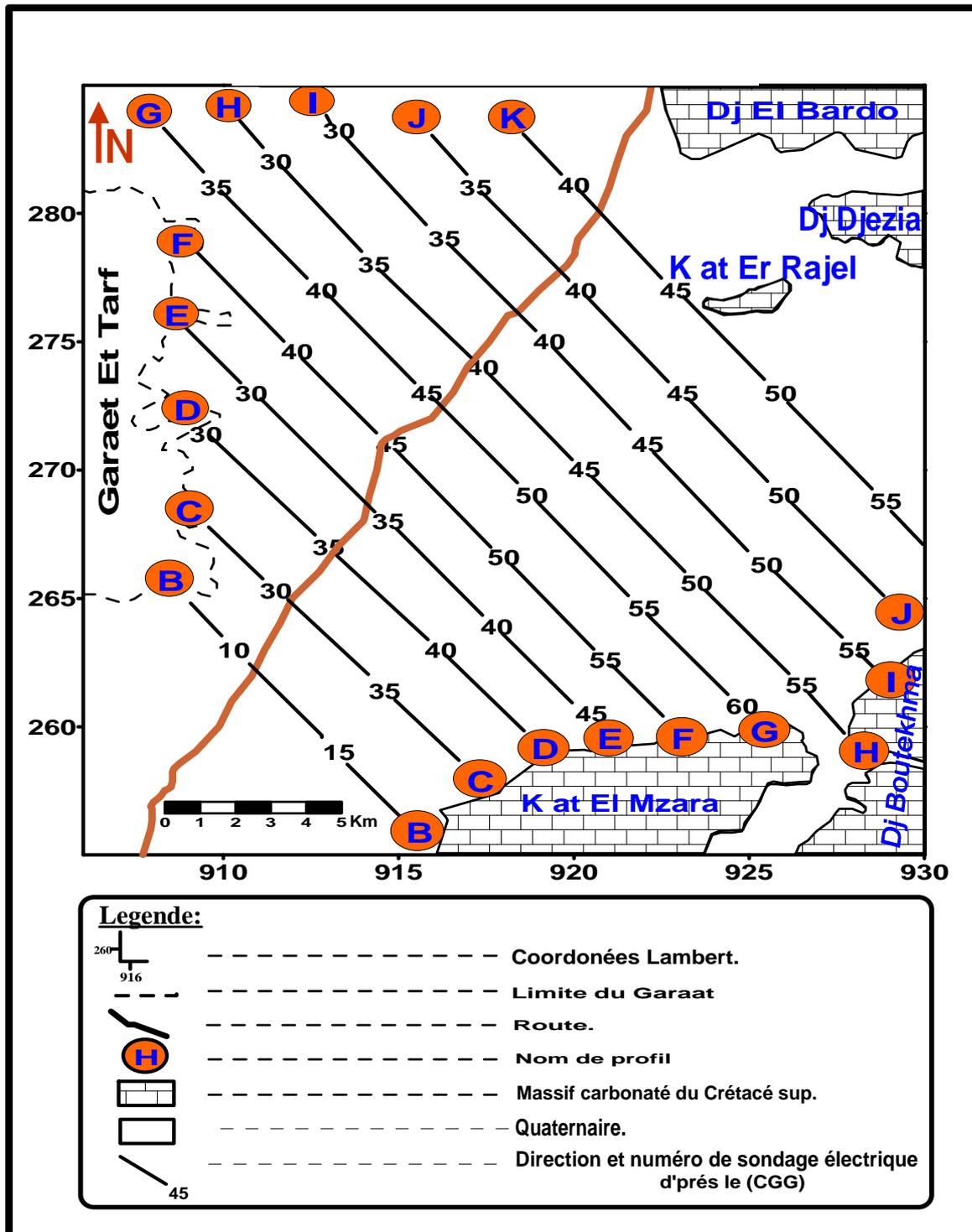


Fig.15 : les profils de la zone H

IV.5.Coupes géoélectriques

IV.5.1. Coupe géoélectrique H, (fig.16) :

Cette coupe montre d'une façon générale l'existence d'un substratum qui le plus souvent :

- Résistant et très accidenté, (failles avec fort pendage).
- Présente une allure ondulée et il se trouve à une profondeur d'environ 400 mètres.
- Pourrait correspondre au toit des calcaires du Crétacé moyen ou inférieur.

Au dessus de ce substratum existe un ensemble de couches dont l'allure suit celle du substratum.

Les résistivités de ces couches présente une alternance de faible à fortes valeurs.

Ce ci est probablement dû à l'alternance des couches correspondant d'après les forages à des argiles, graviers, calcaires tertiaires et quaternaires.

IV.5.2. Coupe géoélectrique I, (fig.17) :

Cette coupe est parallèle à la précédente, et présente les mêmes caractéristiques électriques, avec un substratum qui présente des ondulations, au dessus des alternances de couches de faibles épaisseurs, ou de lambeaux de couches, à la différence de l'autres, cette coupe ne présente pas de discontinuités électriques.

On peut localiser le substratum à des profondeurs qui pouvant atteindre parfois 200 mètres.

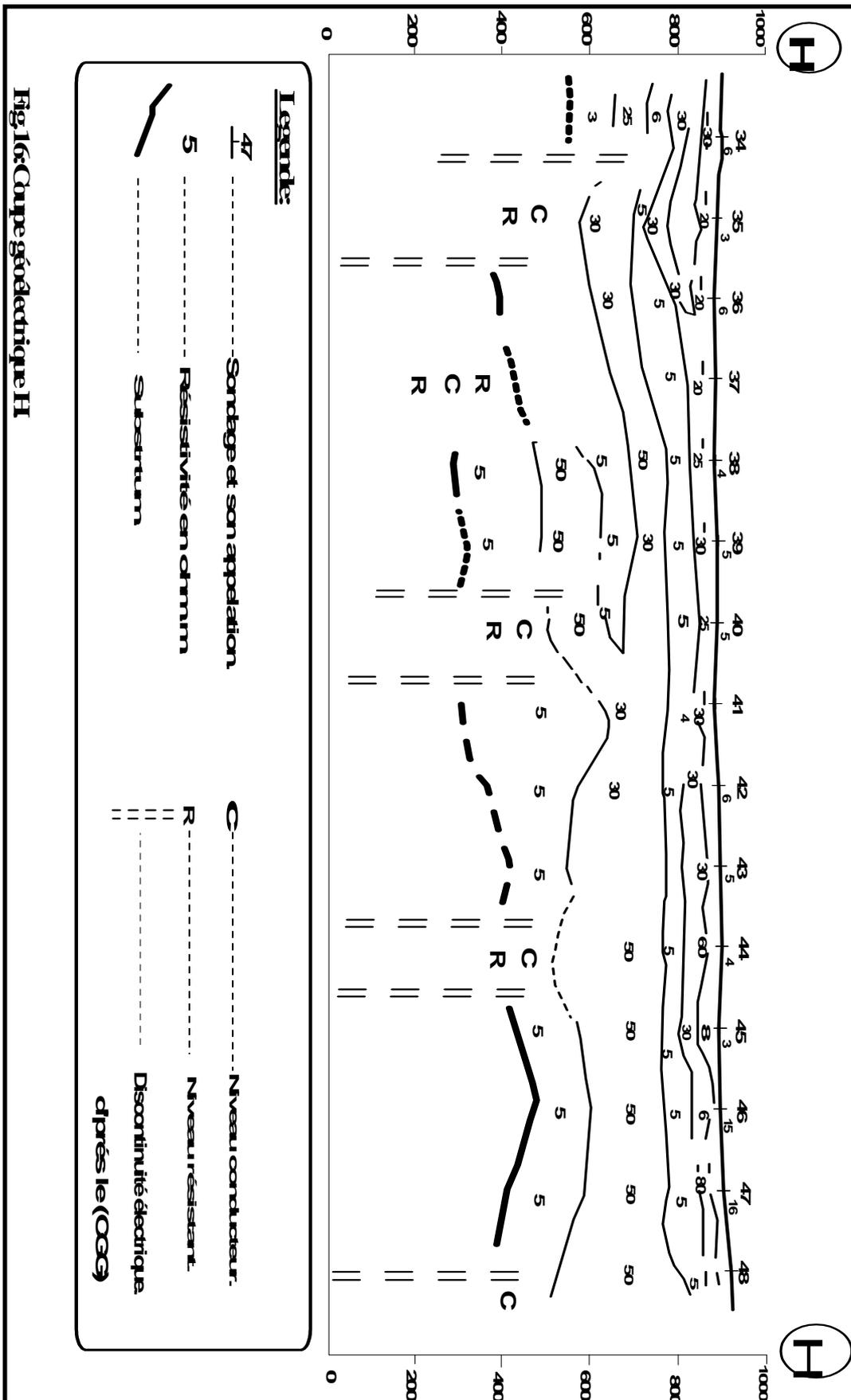


Fig.16: Coupe géoélectrique H

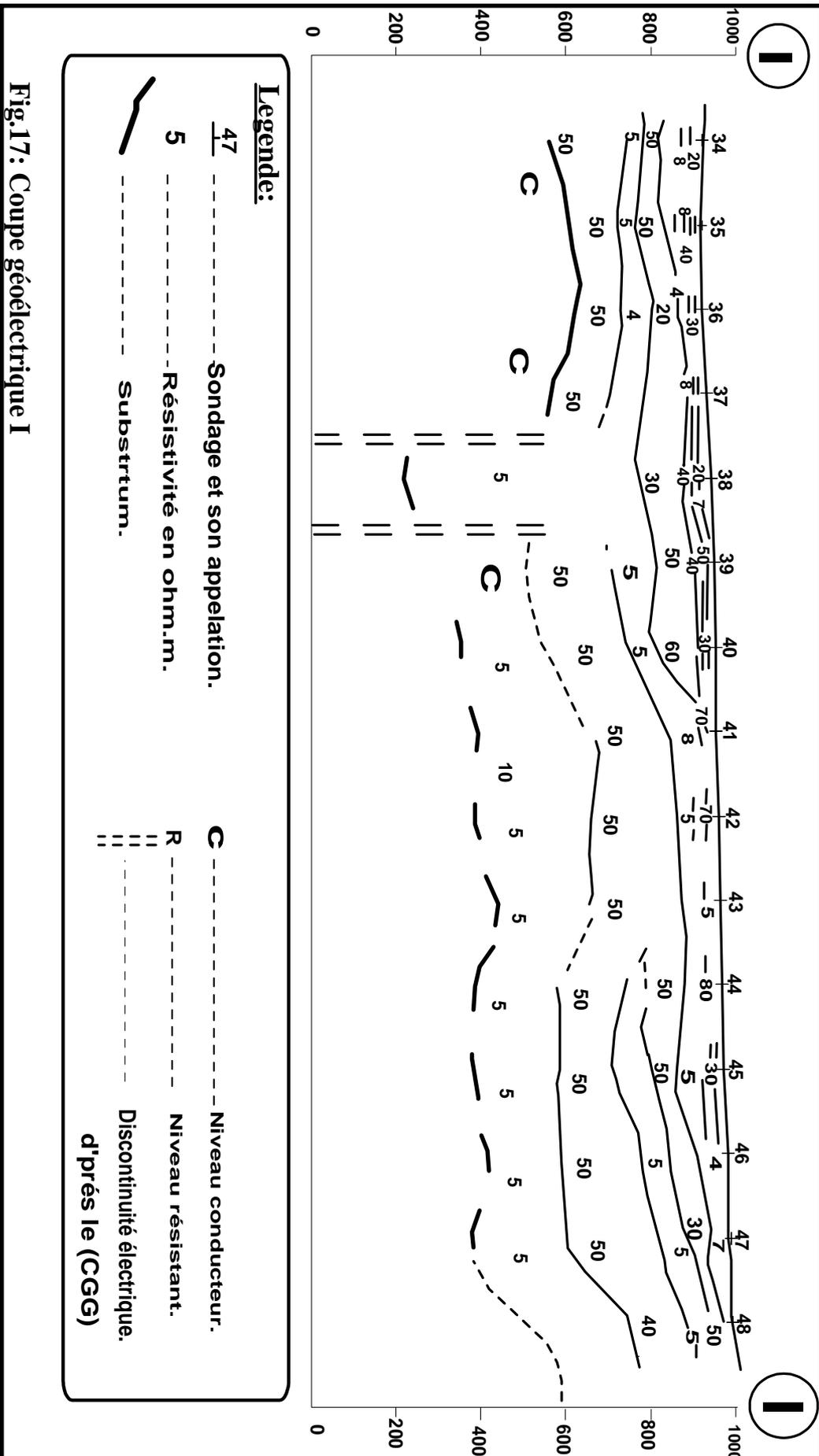


Fig.17: Coupe géoélectrique I

Conclusion :

La prospection par sondage électrique entreprise dans la région de F'kirina, a permis de mettre en évidence :

- Des niveaux de différentes résistivités et en particulier les horizons résistants superficiels et profonds, pouvant avoir un intérêt aquifère.
- Les zones très conductrices semblent sans intérêt aquifère, elles sont représentées par des marnes, les argiles et les eaux salées.
- Les discontinuités électriques; peuvent être attribuées à des failles, elles peuvent jouer le rôle soit de limite étanche ou de zone d'alimentation entre les nappes, donc un échange d'eau entre les zones profondes et peu profondes seront possible.

Chapitre IV :

Hydrochimie

Introduction :

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc de la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages tels que pour l'irrigation et les produits industriels.

L'interprétation de la composition chimique des eaux, permet de comparer les eaux entre elles pour expliquer l'alimentation des nappes, l'écoulement.

L'étude physico-chimique des eaux souterraines de la plaine de F'kirina est basée sur la campagne d'échantillonnages effectuée par l'ANRH de Constantine l'année 2003.

Les analyses chimiques ont été effectuées au laboratoire de chimie des eaux, de l'ANRH de Constantine.

V.1. Etude des paramètres physico-chimiques :

V.1.1. Paramètres physiques :

VI.1.1.1. La température :

La température est un paramètre intéressant dans l'étude des eaux, elle joue un rôle important dans la solubilité des minéraux.

V.1.1.2. Le potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH de l'eau est défini par la concentration des ions H^+ contenus dans la solution.

$$PH = \log (1/ H^+).$$

Le pH des eaux naturelles est lié à la quantité de CO_2 gazeux atmosphérique et le CO_2 pédologie dissout.

V.1.1.3. La Conductivité électrique, (fig.18) :

La conductivité électrique traduit la quantité de sels contenue dans l'eau; ceci confère à la solution la propriété de conduire l'électricité. Elle permet, donc, de donner une estimation de la minéralisation des eaux, et elle s'exprime en μ mhos/cm.

La conductivité des eaux de la plaine est très variable, les fortes valeurs sont observées dans la partie Nord de la plaine près du Garaet Et Tarf, et Djebel Djazia.

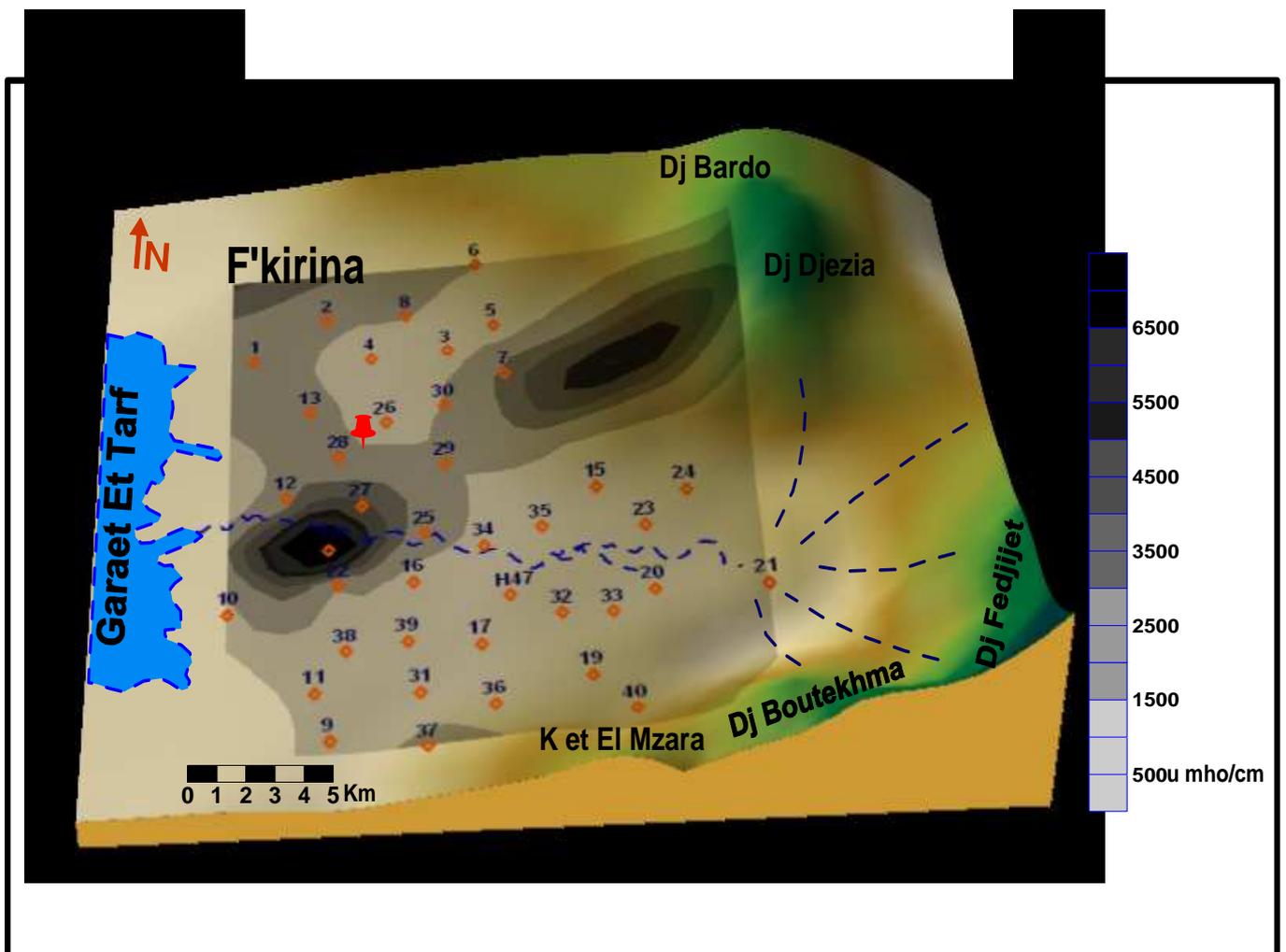


Fig.18. Carte d'isoconductivité

V.1.1.4. Minéralisation: (Fig.19) :

Elle présente la totalité des espèces dissoutes dans l'eau. Dans la plaine de F'kirina, les valeurs de la minéralisation sont généralement importantes comprises entre 372 mg/l (puits 9 et 11) et 5704 mg/l (Puits 14).

La carte d'isominéralisation montre que les valeurs les moins élevées sont observées dans la partie Est de la plaine, et que les valeurs les plus élevées sont situées dans la partie Ouest, si on superpose la carte piézométrique avec la carte de minéralisation, on peut remarquer que la minéralisation augmente avec l'écoulement des eaux souterraines.

Les valeurs les plus élevées ont été observées autour du puits 14, qui est situé en bordure de l'Oued Nini et à proximité du Garaet Ettarf, et dans la partie Nord Est près du Djebel Bardo.

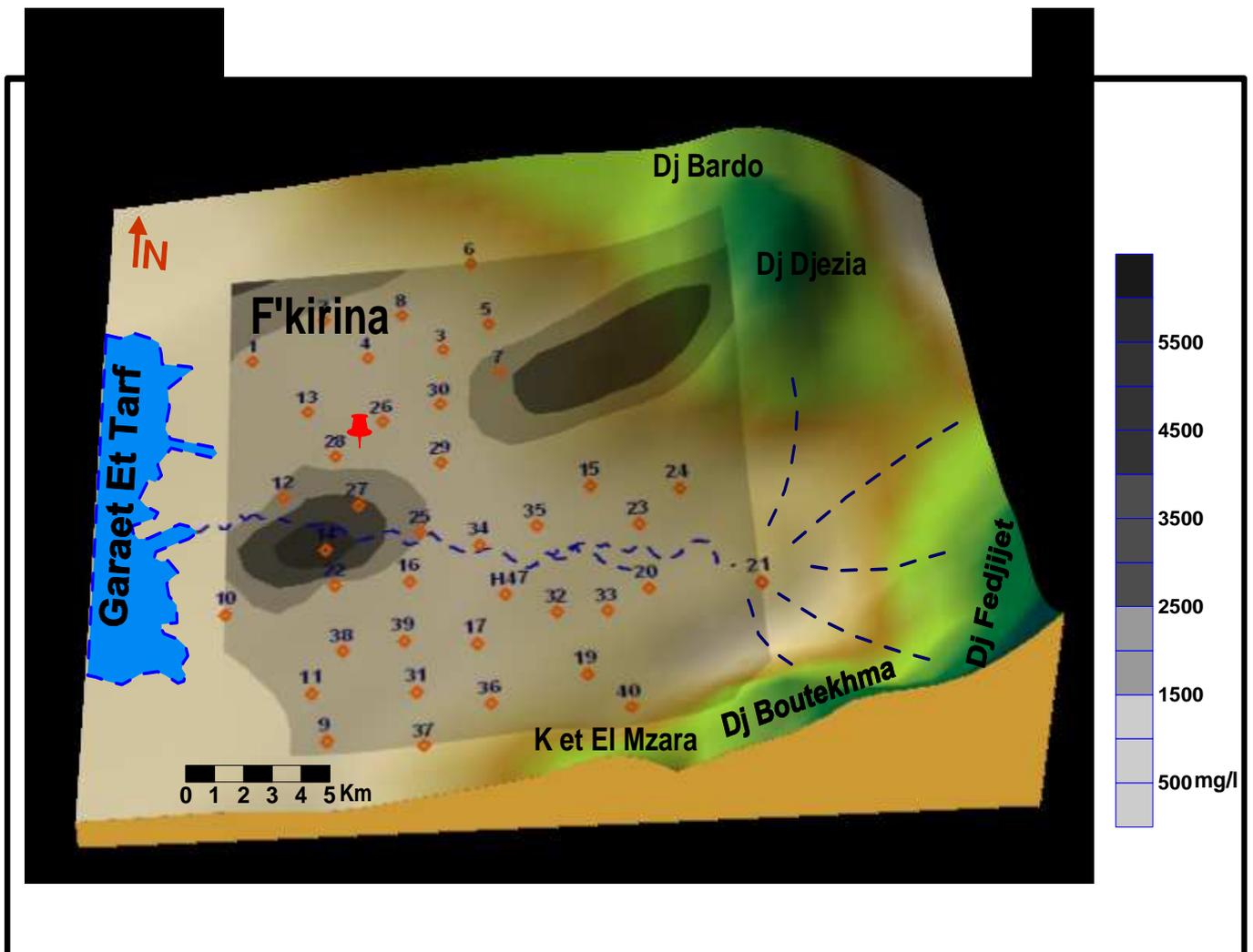


Fig.19. Carte d'isominéralisation.

V.1.2. Paramètres chimiques :

Dans l'aquifère, l'eau peut subir les effets de plusieurs phénomènes (dissolution, échange) capable de modifier l'aspect chimique de l'eau suivant la nature lithologique des terrains traversés.

Les éléments dosés sont :

- **Les cations** : Calcium (Ca^{++}), magnésium (Mg^{++}), le sodium et le potassium ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), et la dureté totale.
- **Les anions** : Chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^{--}), bicarbonates (HCO_3^-), et les nitrates (NO_3^-).

V.1.2.1. Les cations :

V.1.2.1.1. Le Calcium, (Fig.20) :

Il résulte de la dissolution par infiltration des eaux de surface à travers les formations géologiques carbonatées ou autres minéraux contenant cet élément, due à la présence des gaz carboniques dans l'eau. Le gaz provient de l'atmosphère et des couches superficielles du sol en raison de l'activité bactérienne.

La teneur en Calcium varie entre 60 et 490 mg/l.

D'après la carte d'égalité de valeur en Ca^{++} , nous constatons deux zones de forte teneur en calcium ; la première autour du puits 14 (720 mg/l), et l'autre près du Djebel Djezia et Djebel Bardo.

Cette forte teneur en calcium autour du puits 14 est liée à la présence des croûtes de calcaires et des calcaires tuffacés dans cette zone de la plaine.

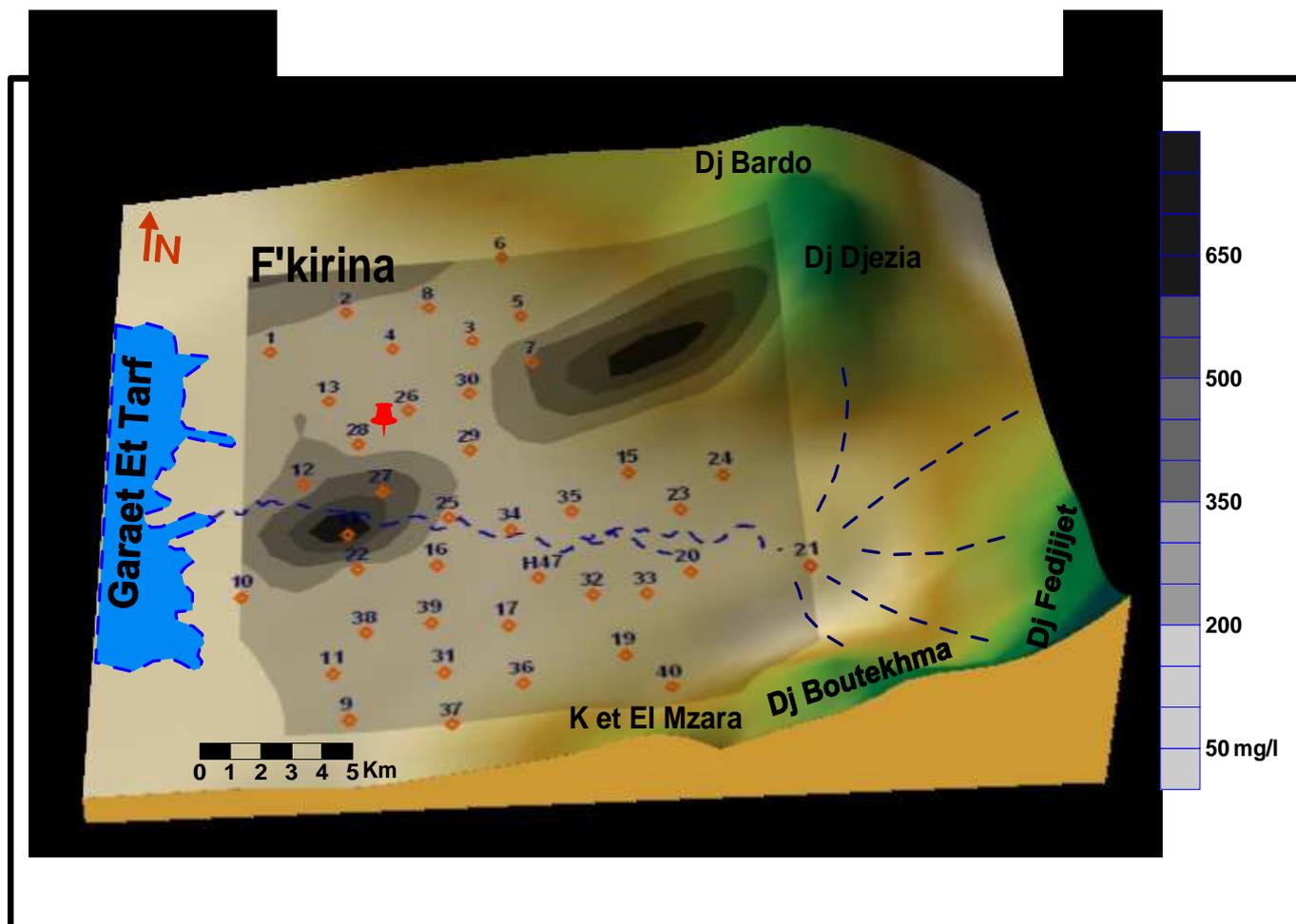


Fig.20. Carte d'égal valeur en Ca^{++}

V.1.2.1.2. Le Magnésium, (Fig.21) :

La mise en solution de cet ion dans l'eau prend beaucoup de temps, lorsque il s'agit de la dissolution des roches magnésiennes tel que la dolomie, et des formations métamorphiques. En revanche la mise en solution des sulfates de magnésium est beaucoup moins lente.

D'après les normes internationales, la concentration maximale acceptable est de 150 mg/l. Les valeurs dosées varient entre 14 mg/l à 427 mg/l.

La carte d'égal valeur en magnésium montre que la teneur en Mg^{++} est relativement faible dans la quasi-totalité de la plaine, sauf dans la partie Ouest de la carte, (surtout au tour du puit 24 proche du Garaet Et Tarf et de l'Oued Nini,). Ce ci laisse supposer qu'il y a une contamination de la nappe par les eaux de l'Oued et du Garaet.

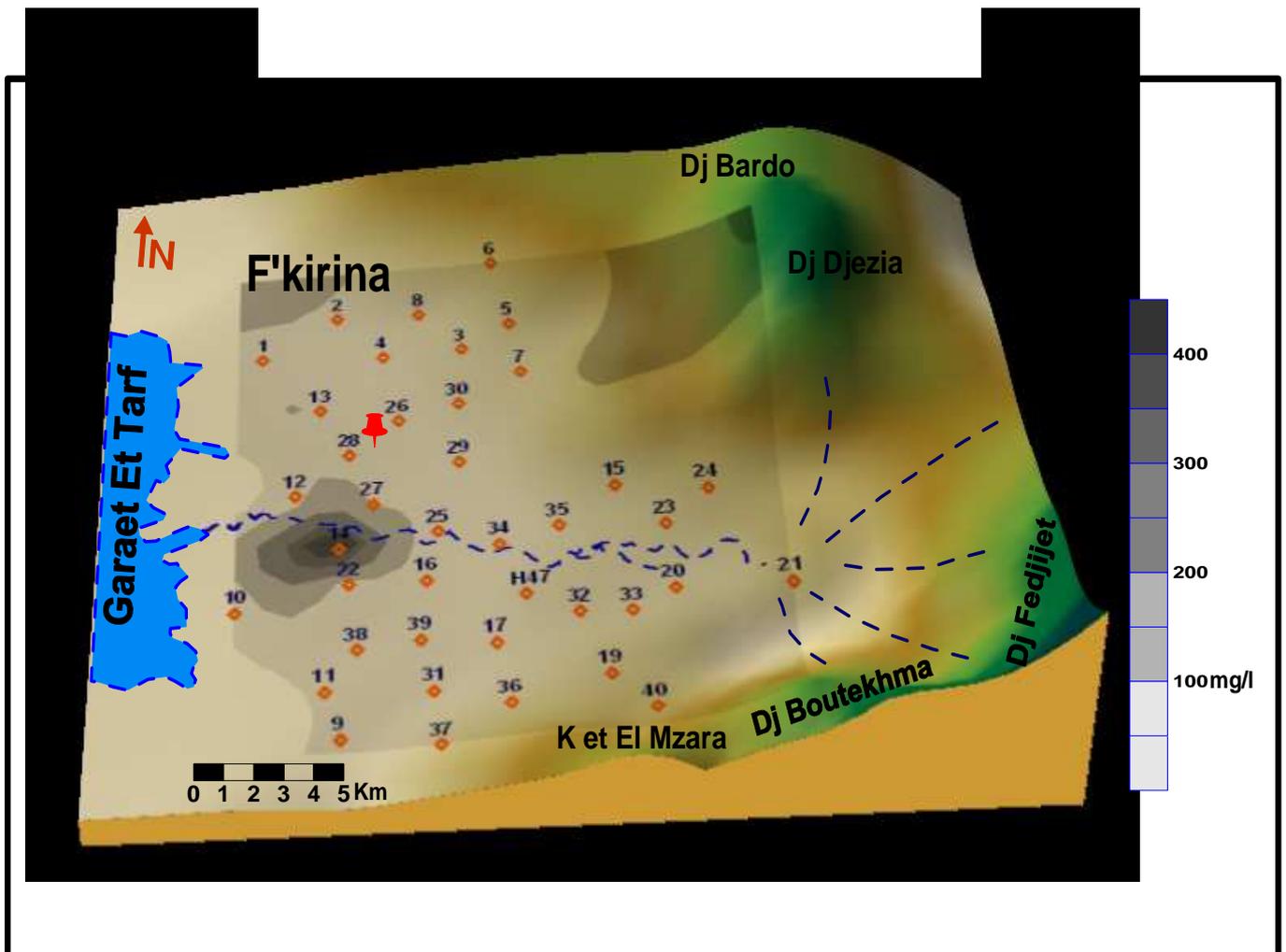


Fig.21. Carte d'égal valeur en Mg.

V.1.2.1.3. Sodium et Potassium, (Fig.22) :

Le Sodium provient de la dissolution du NaCl, et des formations argileuses et argilomarneuses ainsi que des rejets des eaux d'origine industrielles et domestique.

Nous savons que K^+ est en concentration faible dans les eaux du fait de l'absorption de cet élément par les végétations, nous nous intéressons donc que au sodium.

D'après la carte d'égal valeur en Na + K, on remarque que la majorité des eaux de la plaine ont des teneurs élevées en Na^+ ceci peut être due à la nature lithologique des terrains (argiles et marnes), mais les teneurs les plus élevées sont observées dans la partie Ouest près du Garaet et presque toute la partie Nord.

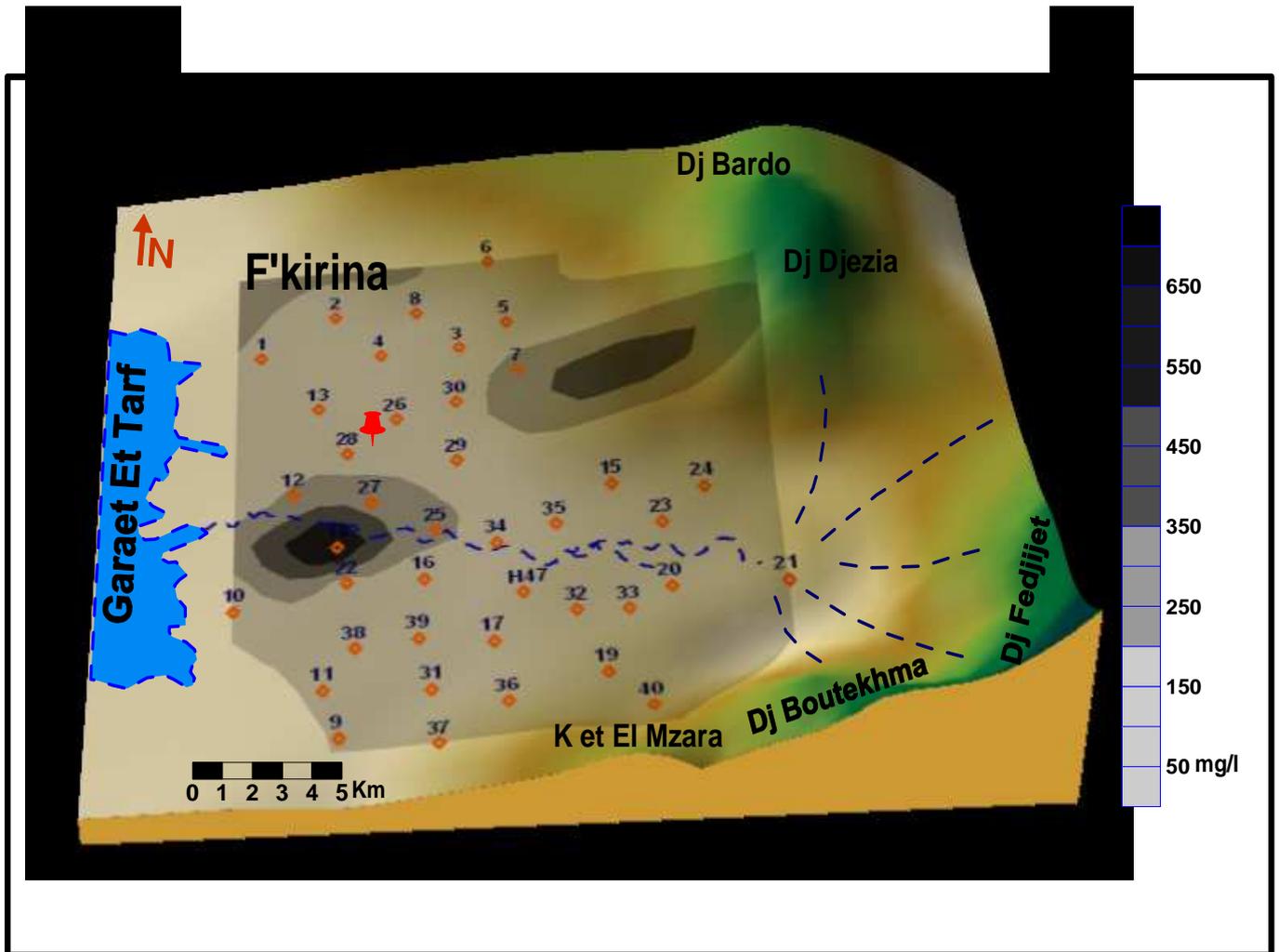


Fig.22. Carte d'égalité de valeur en (Na+K).

V.1.2.1.4. La dureté totale (D.H.T) :

Elle exprime approximativement la teneur de l'eau en ions alcalino-terreux, Ca et Mg.

Elle est égale à la somme de concentration calcique et magnésienne, et elle s'exprime en degré français (°F) ou en me/l, (1 me/l = 5°F).

Dans notre secteur étudié, les valeurs de la dureté totale sont très variables, de 25 à 358 °F.

V.1.2.2. Les anions :

V.1.2.2.1. Les chlorures, (fig.23) :

La teneur en Chlore influe le degré de la minéralisation d'une eau, elle est liée à plusieurs facteurs : processus hydrogéochimiques (argiles et formations triasiques), influence de la mer, ou rejets des eaux usées d'origines domestique et industrielle.

L'analyse de la carte d'égalité de valeur en Cl^- , montre les plus fortes teneurs en chlorures sont toujours situées dans la partie Ouest de la zone d'étude, et dans la partie Nord Ouest. Les concentrations en chlorure sont comprises entre 25 mg/l (P 16) et 1100 mg/l, (P 14).

Le climat du secteur étudié est semi aride, donc nous liions ces teneurs importantes qui dépassent 1100 mg/l, au lessivage superficiel, et à la contamination des eaux de la nappe par les eaux du Sebkhha, (Garaet Et Tarf).

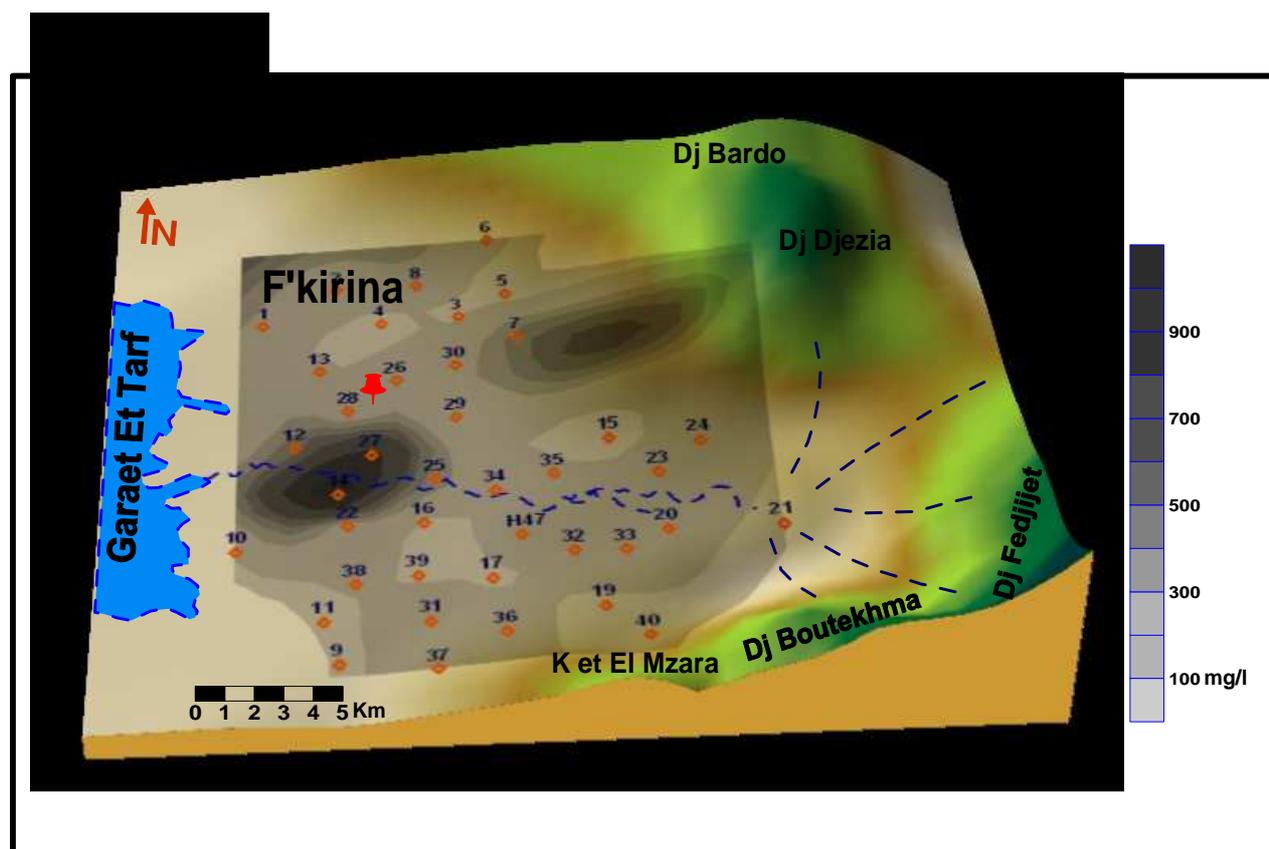


Fig.23. Carte d'égalité de valeur en Cl^- .

V.1.2.2.2. Les sulfates, (fig.24) :

Les Sulfates sont facilement présents dans les eaux naturelles en proportions variables. L'eau de pluie peut en fournir des quantités importantes par oxydation dans l'atmosphère de l'anhydrite sulfureuse dégager par les industries dans l'atmosphère ou par lessivage des terrains argileux et marneux gypsifères.

La carte d'égalité de valeur en SO_4 , montre que les concentration en SO_4 est inférieure à 250 mg/l dans la majorité de la plaine à l'exception de la partie Ouest, et plus exactement autour du puit 14 (2660 mg/l), ceci peut être lié à une dissolution des formations riches en SO_4 , ou à une contamination de la nappe soit par les eaux de l'Oued Nini ou du Garaet.

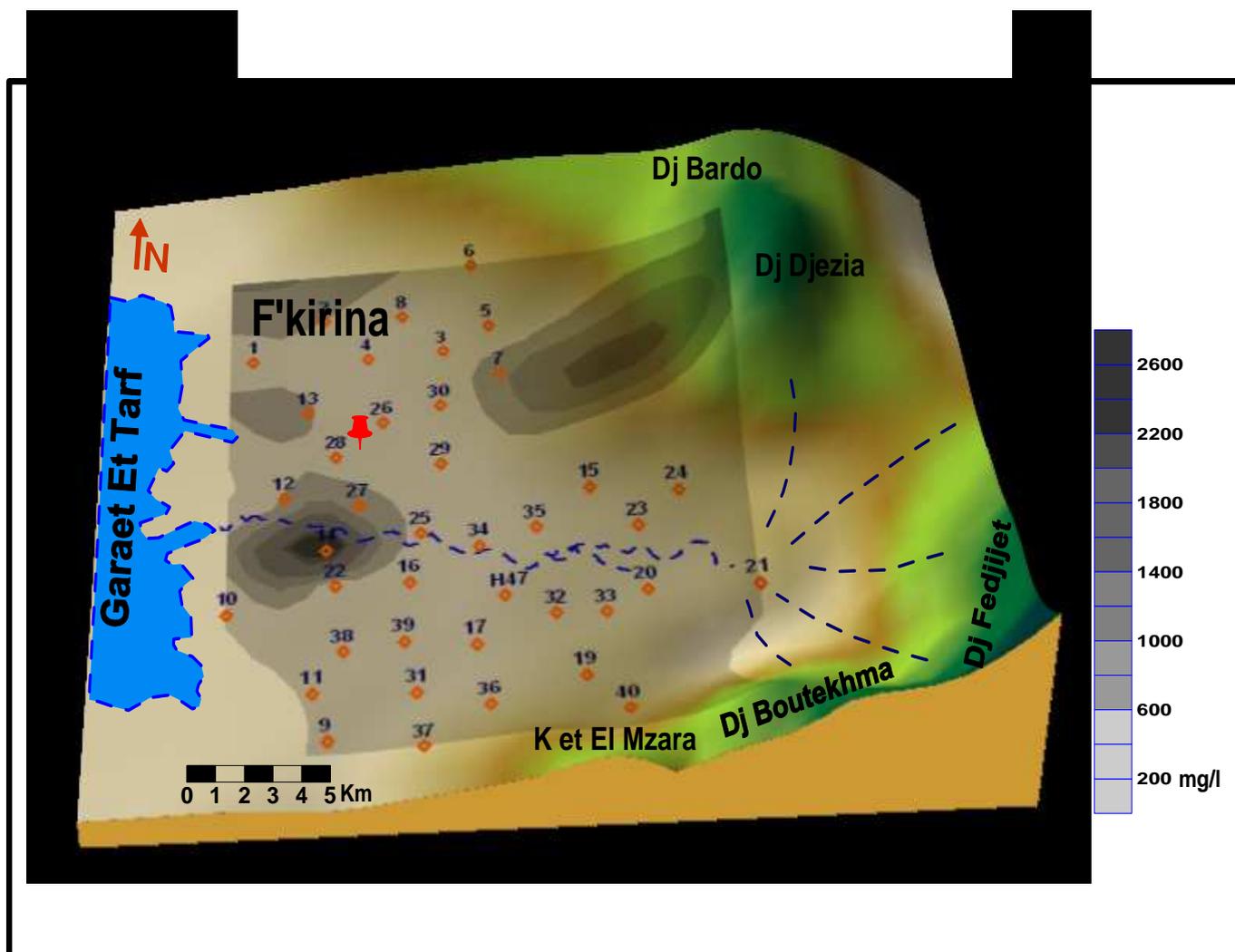
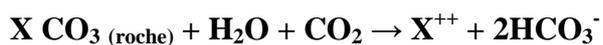


Fig.24.Carte d'égale valeur en SO₄

V.1.2.2.3. Les bicarbonates, (fig.25) :

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche- l'eau et le gaz carbonique (CO₂) selon l'équation générale :



Ils sont produits par le CO₂ aqueux (HCO₃⁻ + H⁺). La concentration des eaux en HCO₃⁻ est en fonction de la quantité du CO₂ dissout dans l'eau. Il conditionne le degré d'agressivité de l'eau.

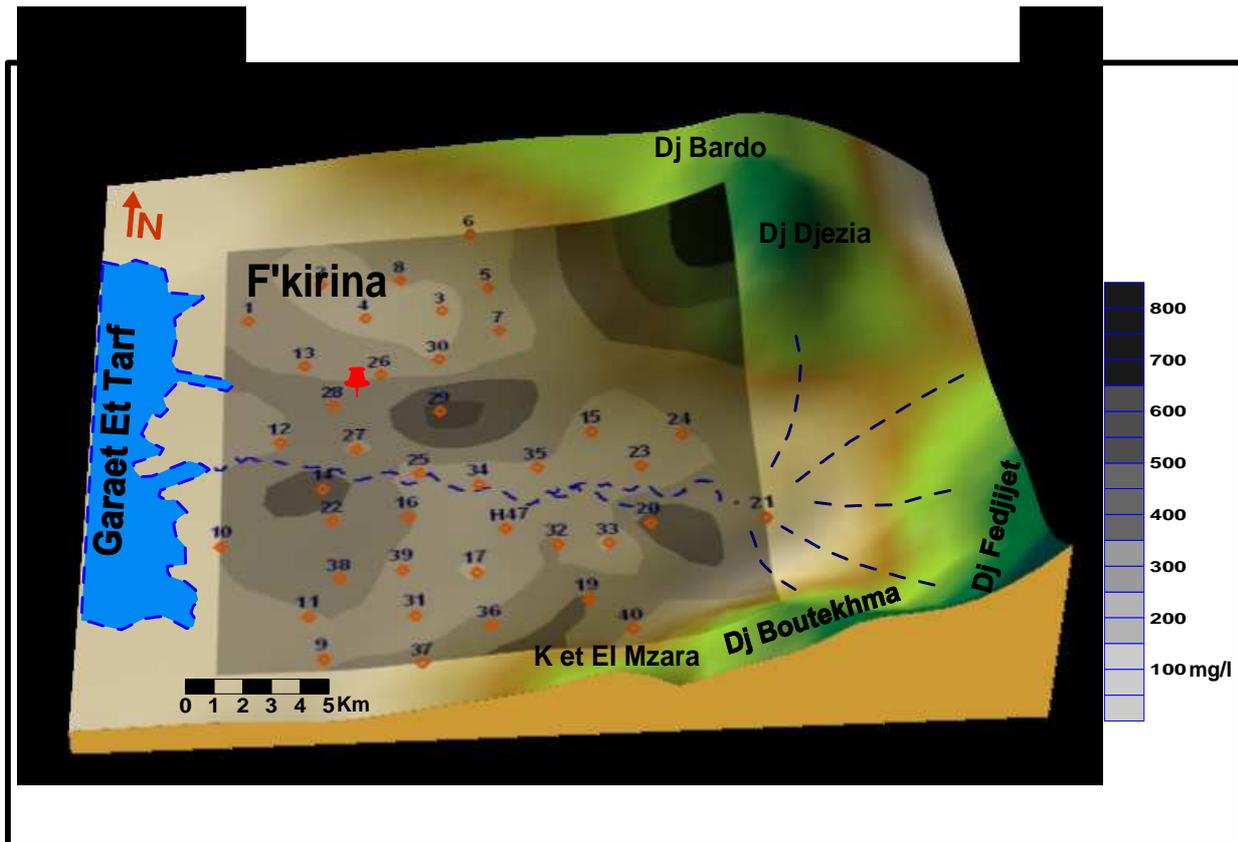


Fig.25. Carte d'égal valeur en HCO_3

La carte d'égal valeur en bicarbonate montre les fortes teneurs sont observées à l'extrémité Sud Est et Nord Est avec des concentration qui dépassent 500 mg/l. donc l'influence des eaux venant des massifs carbonatés. (Djebel Boutekhma au SE et Djebel Djazia et Bardo au NE).

Autour du puits 14 et 29, on rencontre des fortes teneurs, ceci peut être expliqué par l'influence de la nappe des calcaires qui est en liaison hydraulique directe, avec la nappe du plioquaternaire.

V.1.2.2.3. Les nitrates, (fig.26) :

Les nitrates sont le produit de l'oxydation de l'azote de l'atmosphère, par les microorganismes des plantes, du sol ou de l'eau.

Toutes les sources d'azote sont des sources potentielles de nitrate. Dans l'eau, ces substances peuvent provenir de la décomposition de matières végétales ou animales, d'engrais utilisés en agriculture, du fumier, d'eaux usées domestiques et industrielles, des précipitations ou de formations géologiques renfermant des composés azotés solubles.

Normalement, la concentration de nitrates dans les eaux souterraines et les eaux de surface est faible, mais elle peut atteindre des niveaux élevés à cause du lessivage des terres cultivées ou de la contamination par déchets d'origine humaine ou animale.

Les valeurs des nitrates dans notre zone d'étude varient entre 0 et 138 mg/l.

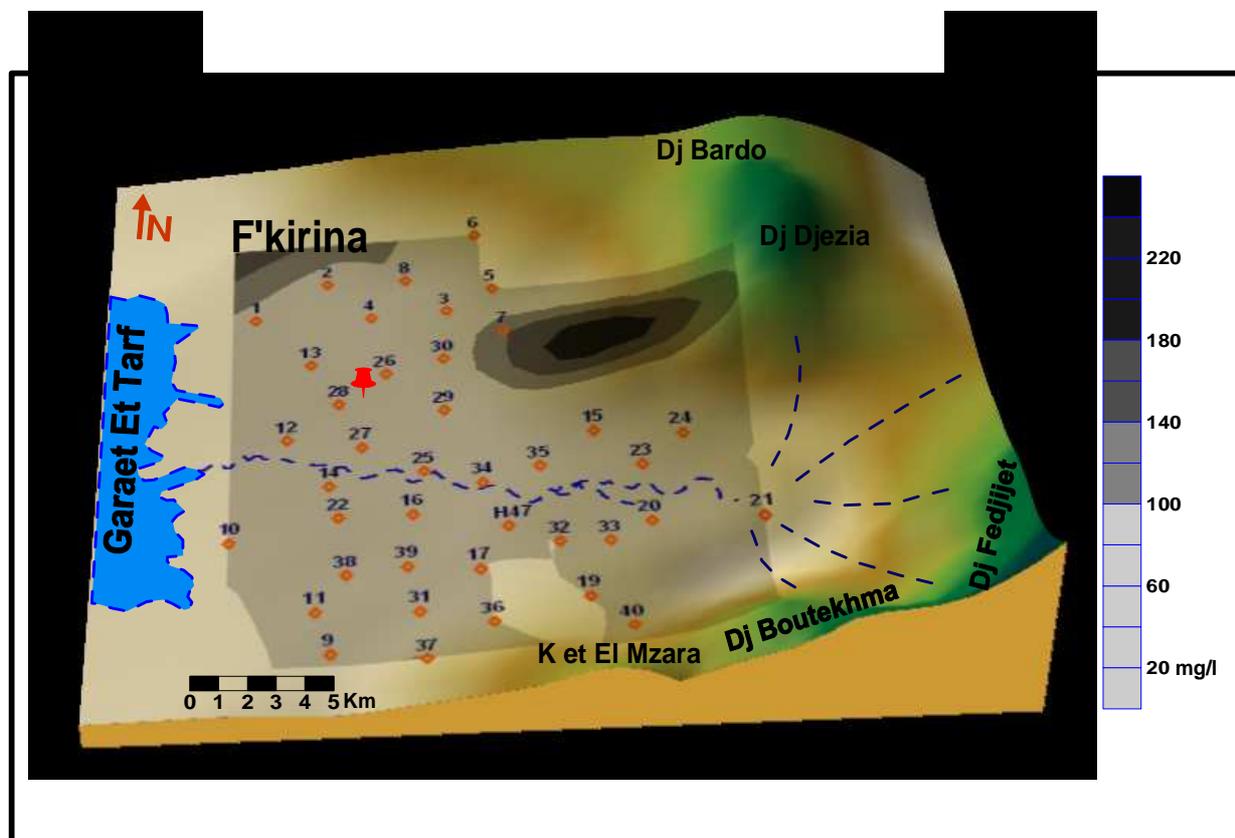


Fig.26. Carte d'égalité valeur en NO_3

La carte d'égalité valeur en NO_3 montre que la majorité des eaux de la nappe sont peut chargées en NO_3 , et que les valeurs les plus élevées sont observées dans la partie Nord de la plaine près du Djebel Djazia, peut être expliquer par une pollution des eaux de la nappe.

V.1.2.3. Etude des rapports caractéristiques :

On appelle rapport caractéristique, le rapport de certains éléments chimiques exprimés en milliéquivalent.

Les rapports étudiés sont :

$r\text{Mg}^{++}/r\text{Ca}^{++}$, $r\text{SO}_4^{--}/r\text{Cl}^-$, $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$ et $r\text{HCO}_3^{--}/r\text{Ca}^{++}$.

L'étude des variations de ces rapports donne de précieuse indications sur l'alimentation et la circulation des eaux souterraines, elle permet aussi de voir l'évolution des eaux d'un stade à un autre pendant leur trajet souterrain.

V.1.2.3.1. Rapport caractéristique rMg^{++}/rCa^{++} , (fig.27):

Lorsque ce rapport est inférieur à 1, le Calcium prédomine, ceci apparaît pour tous les puits de notre plaine à l'exception des puits 15, 23 et 24 dans la partie Est de la plaine, et pour le puits 5 au Nord.

On peut déduire qu'il existe un échange entre les roches carbonatées et l'eau.

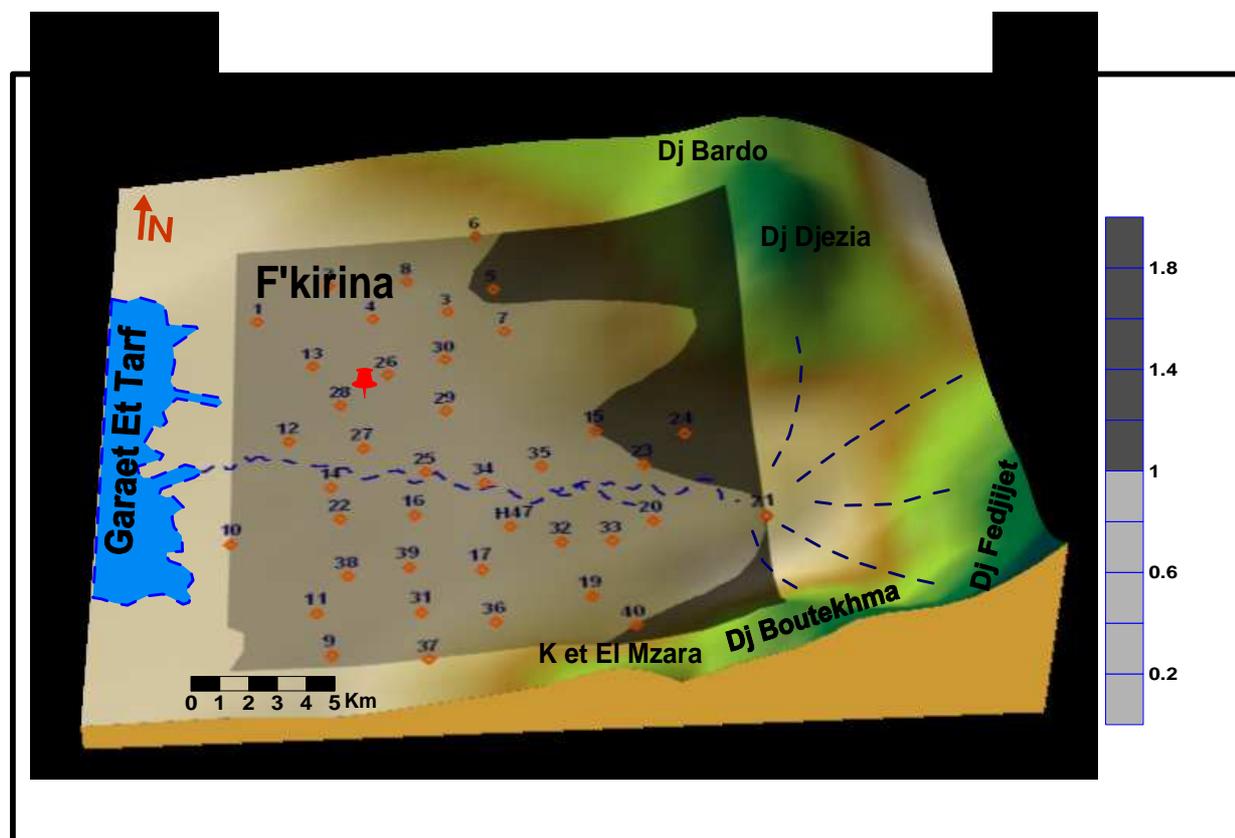


Fig.27. Carte du Rapport rMg^{++}/rCa^{++}

V.1.2.3.2. Rapport caractéristique rSO_4^{--}/rCa^{++} , (fig.28) :

Lorsque ce rapport est inférieur à 1, on aura donc la prédominance du calcium, ceci apparaît dans la majorité de la plaine.

Lorsque ce rapport est supérieur à 1, c'est-à-dire une prédominance des Sulfates, ce qui apparaît dans la partie Nord Est de la plaine, près du Garaet Et Tarf ceci indique qu'il existe une contamination de la nappe par la sebkha dans la partie Nord et non pour la partie Sud.

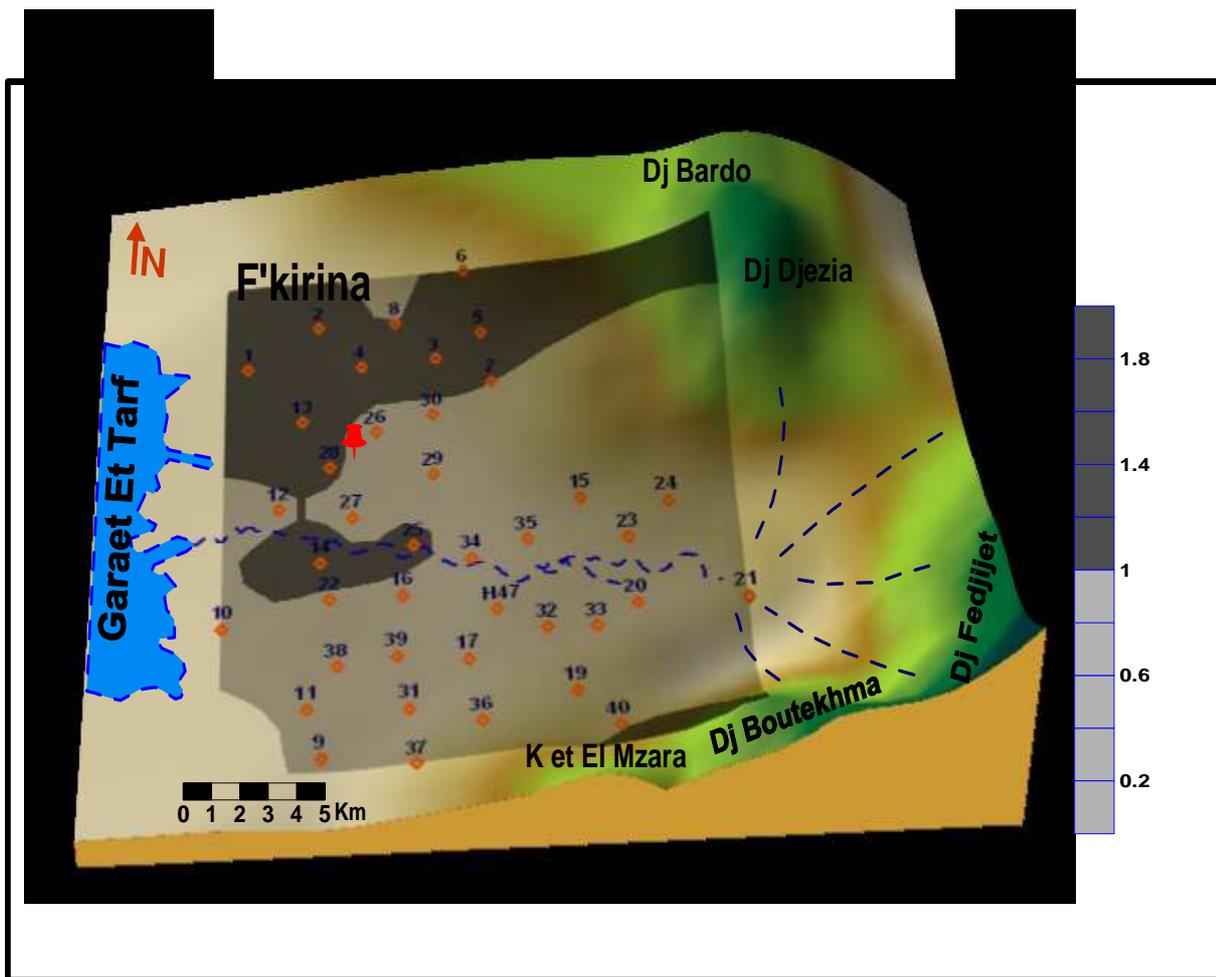


Fig.28. Carte du rapport rSO_4^{2-}/rCa^{2+} .

V.1.2.3.3. Rapport caractéristique rNa^+/rCl^- , (fig. 29) :

D'après la carte du rapport rNa^+/rCl^- nous observons que pour la majorité de la plaine on a une dominance des chlorures ceci est probablement due au lessivage des terrains salifères. Dans la partie Nord et Sud, il y a une dominance des sodium près des massifs carbonatés.

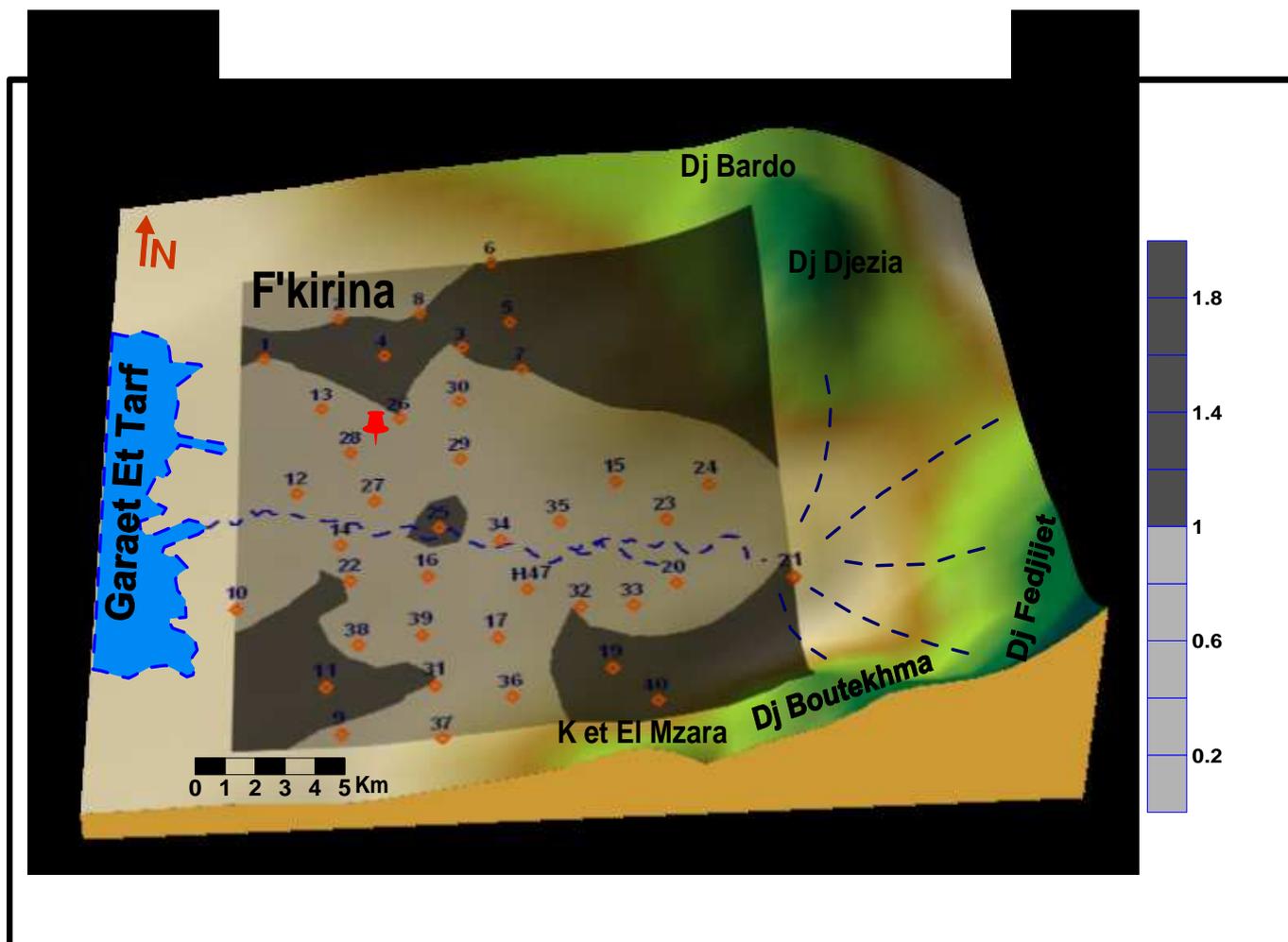


Fig.29. Carte du rapport rNa^+/rCl^-

V.1.2.3.4. Rapport caractéristique $rHCO_3^-/rCa^{++}$ (fig.30) :

La carte du rapport HCO_3^-/rCa^{++} montre que l'eau de la région de F'kirina est riche en calcium dans la partie centrale, et très riche en bicarbonates dans les limites de la plaine, près des massifs carbonatés.

On remarque également une forte teneur en bicarbonates autour des puits : 16, 27, 32, 39 et le forage H47, ceci peut être expliqué par l'influence de la nappe profonde qui est en liaison hydraulique avec la nappe du plioquaternaire, ou la présence des croûtes calcaires dans ces régions de la plaine.

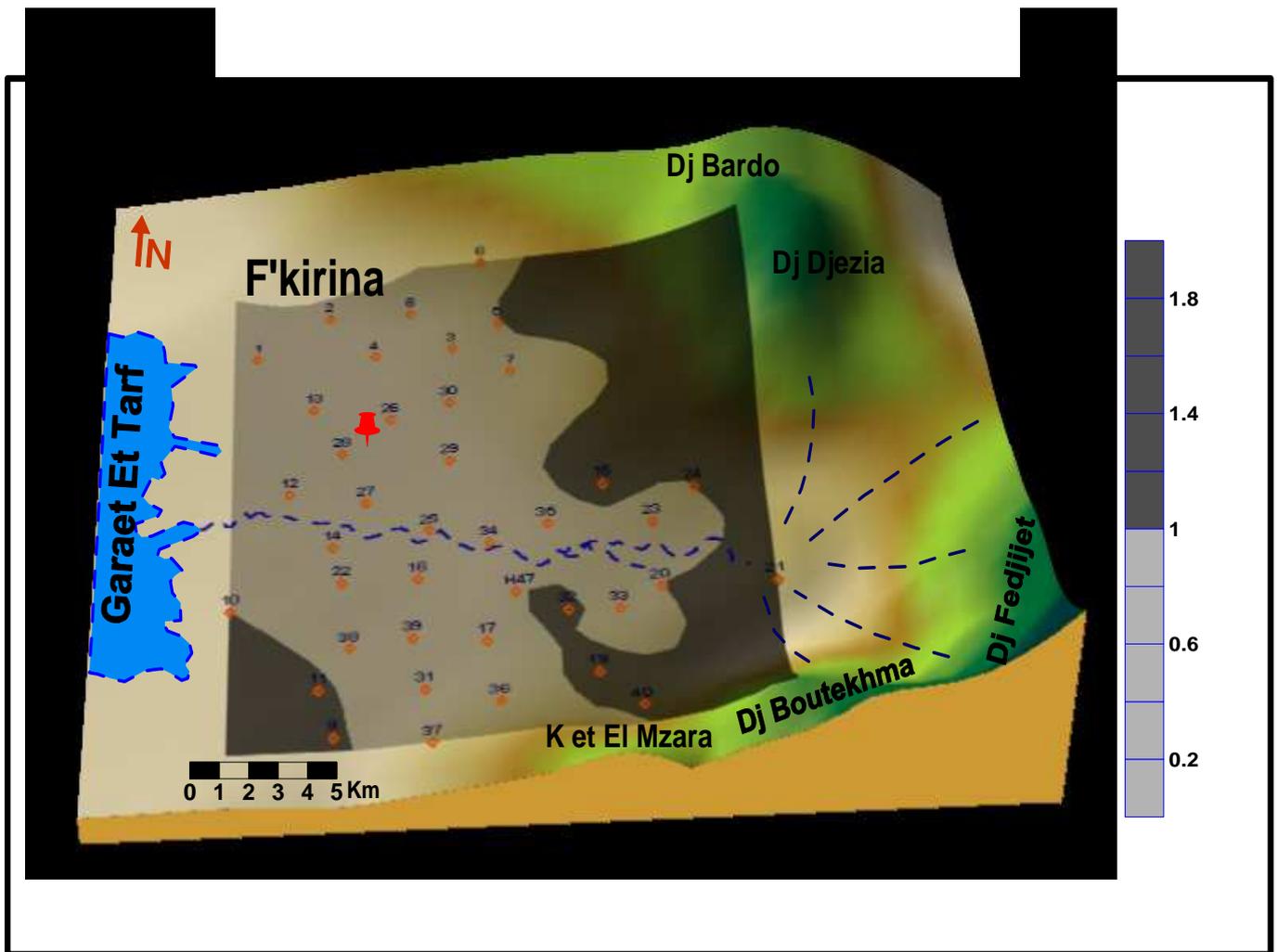


Fig.30. Carte du rapport $r\text{HCO}_3^-/r\text{Ca}^{++}$

V.2. Classification des eaux:

Il existe trois types de classifications présentant un intérêt pour l'hydrogéologie, pour la composition et l'origine de l'eau:

1. Classification de Stabler;
2. Classification de Schoeller – Berkaloff;
3. Et classification de Piper.

V.2.1. Classification de Stabler, (fig. 31) :

Pour cette classification, les concentrations exprimées en milliéquivalent par litre (mé/l) sont réduites en quantités en réaction pourcent par rapport à la concentration totale.

En se basant sur la prédominance de tel anion, on classe de gauche à droite par ordre décroissant les r% des anions et les r% des cations.

D'après cette classification, on distingue les faciès suivants:

- a)- **Faciès bicarbonaté calcique:** ce faciès caractérise la partie Sud, et Nord Est de la plaine, ce qui indique l'alimentation de la nappe de plioquaternaire par les massifs carbonatés.
- b)- **Faciès sulfaté calcique:** ce faciès caractérise la partie Nord Ouest de la plaine, ceci est due au présence des formations triasiques au Nord Ouest du secteur d'étude, ou par contamination des eaux du Sebka.
- c)- **Faciès chloruré calcique:** ce faciès caractérise les puits qui se situent aux bordures de l'Oued Nini

V.2.2. Classification de Schoeller – Berkloff, (fig. 32. a, b, c) :

Ce diagramme est composé de sept échelles logarithmiques verticales équidistantes, correspondant aux principaux éléments chimiques obtenus par l'analyse.

Cette représentation permet de:

- Représenter sur un même diagramme plusieurs eaux, ce qui favorise la corrélation ainsi que la comparaison;
- Déterminer le pH d'équilibre, qui donne une idée sur le caractère agressif, neutre ou incrustant de l'eau:
 - Si le pH mesuré est supérieur au pH d'équilibre, on dit que l'eau est incrustante;
 - Si le pH mesuré est égal au pH d'équilibre, on dit que l'eau est neutre;
 - Si le pH mesuré est inférieur au pH d'équilibre, on dit que l'eau est agressive.

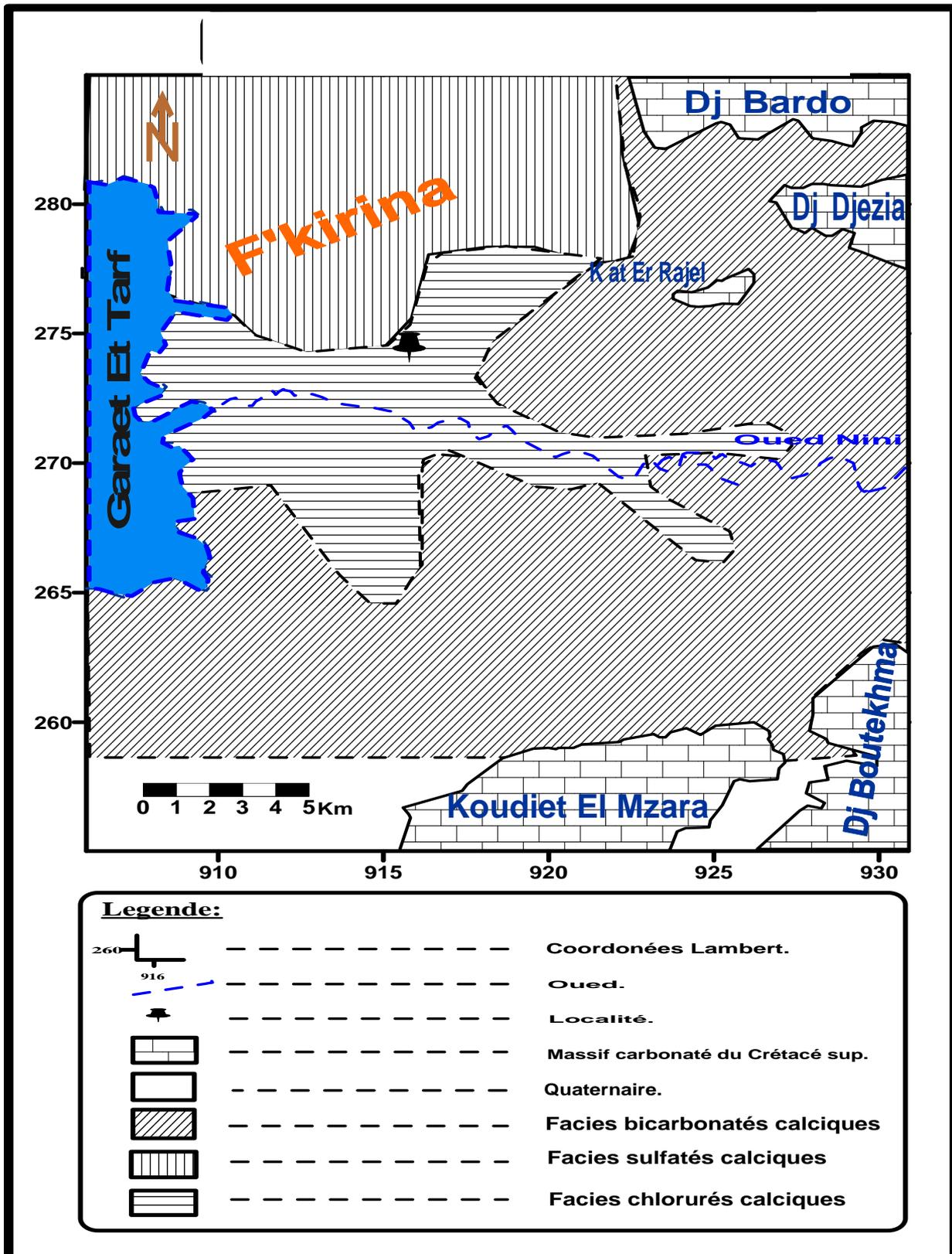


Fig.31. Carte de faciès chimique

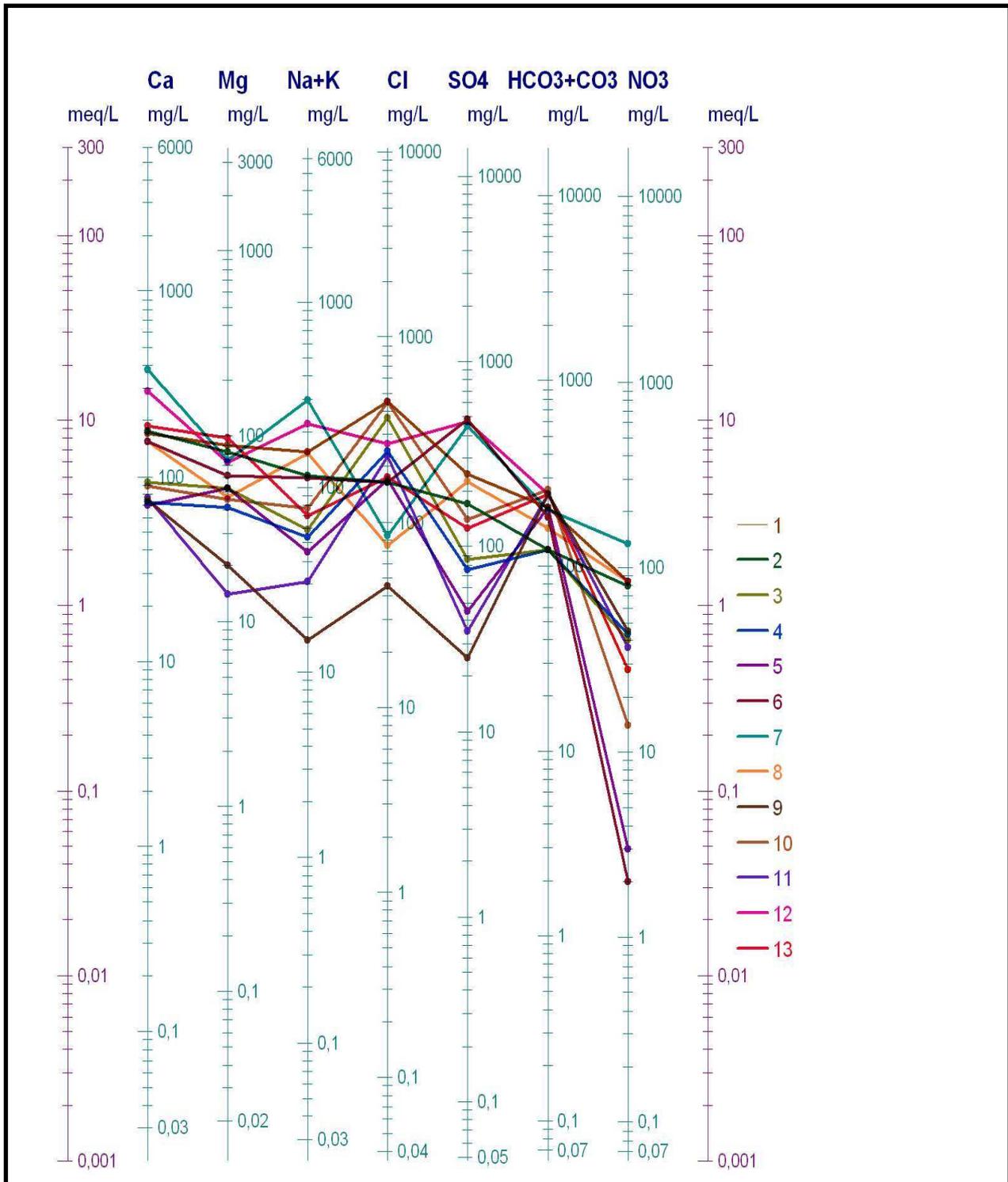


Fig.32.a : classification de Schoeller- Berkaloff

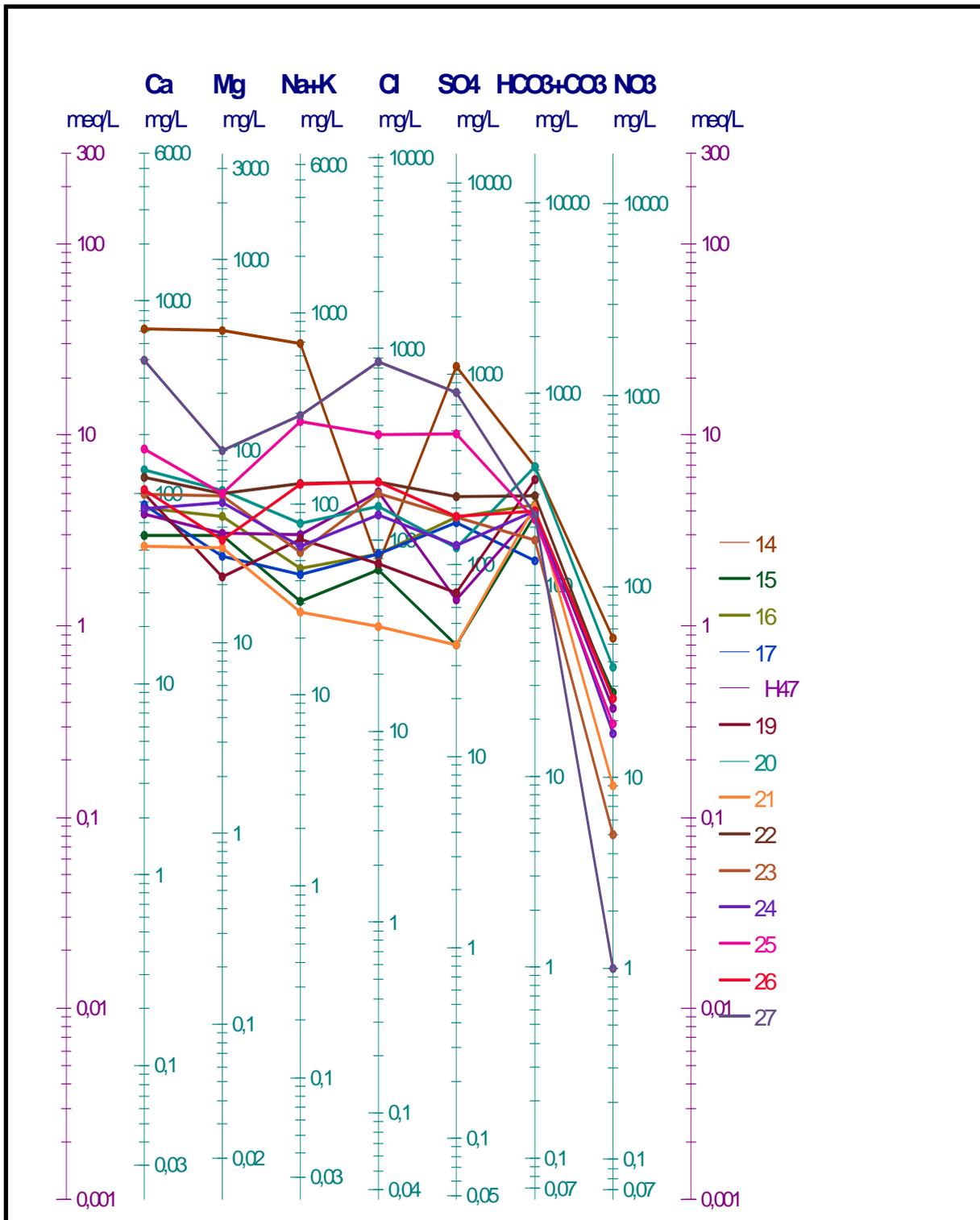


Fig.32.b : classification de Schoeller- Berkaloff

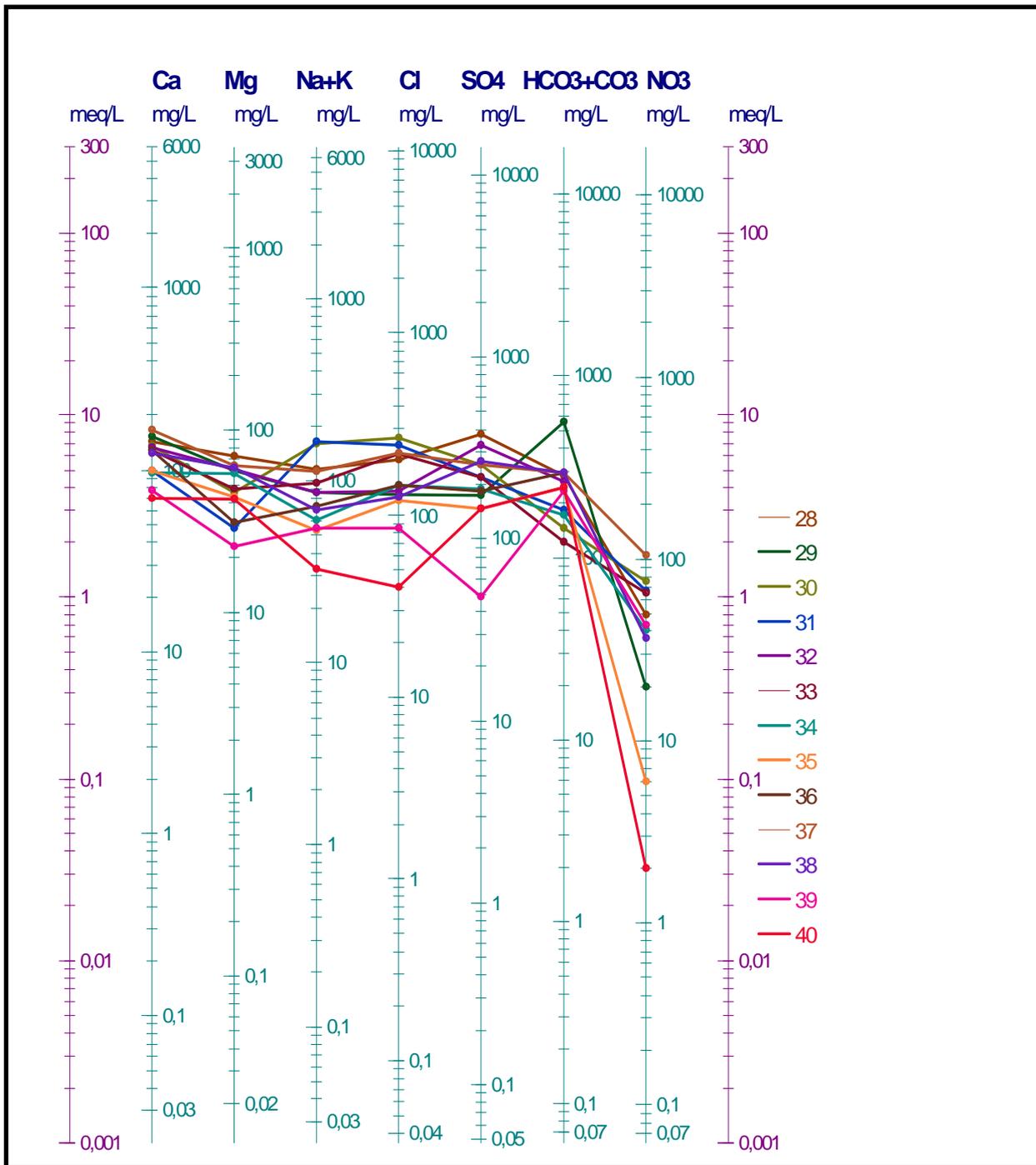


Fig.32.c : classification de Schoeller- Berkaloff

V.2.3. Représentation de Piper, (fig.33. a, b):

Le diagramme de Piper permet d'établir une classification simple qui différencie le faciès chimique des eaux.

Ce diagramme comporte un losange et deux triangles équilatéraux dont les côtés sont divisés en 100 parties égales correspondant à des quantités en réaction d'ions par rapport à la somme des ions de même signe

La présentation des données sur ce diagramme a permis de distinguer deux faciès chimiques :

- Faciès chloruré et sulfatés calciques et magnésiens pour la majorité des eaux de la plaine.
- Faciès bicarbonatés calciques et magnésiens : pour les puits 9, 15, 19, 21, et 29.

V.2.4. Classification des eaux en fonction de S.A.R, (fig. 34. a, b) :

En générale la classification se fait à partir d'un graphe en fonction de la conductivité exprimée en μ mhos /cm et en fonction du coefficient d'absorption (S.A.R).

La salinité peut entraîner des effets néfastes, conséquents en raison de la fixation du sodium, issue des sels du chlorure de sodium par les colloïdes du sol.

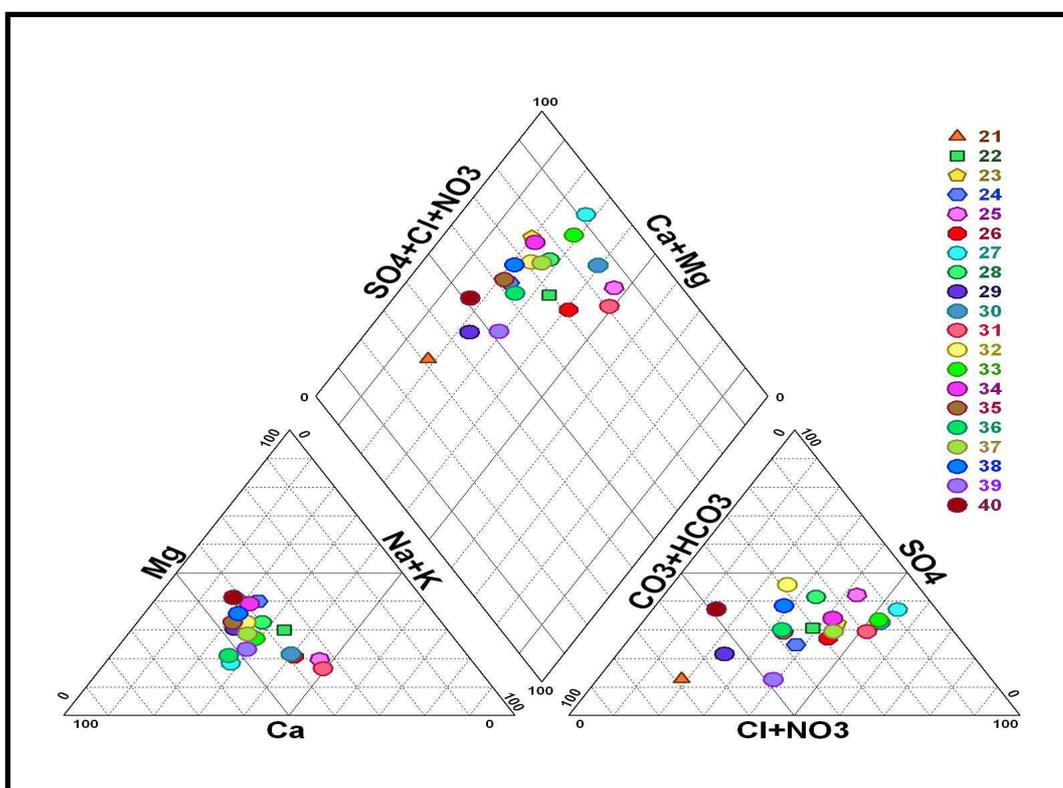
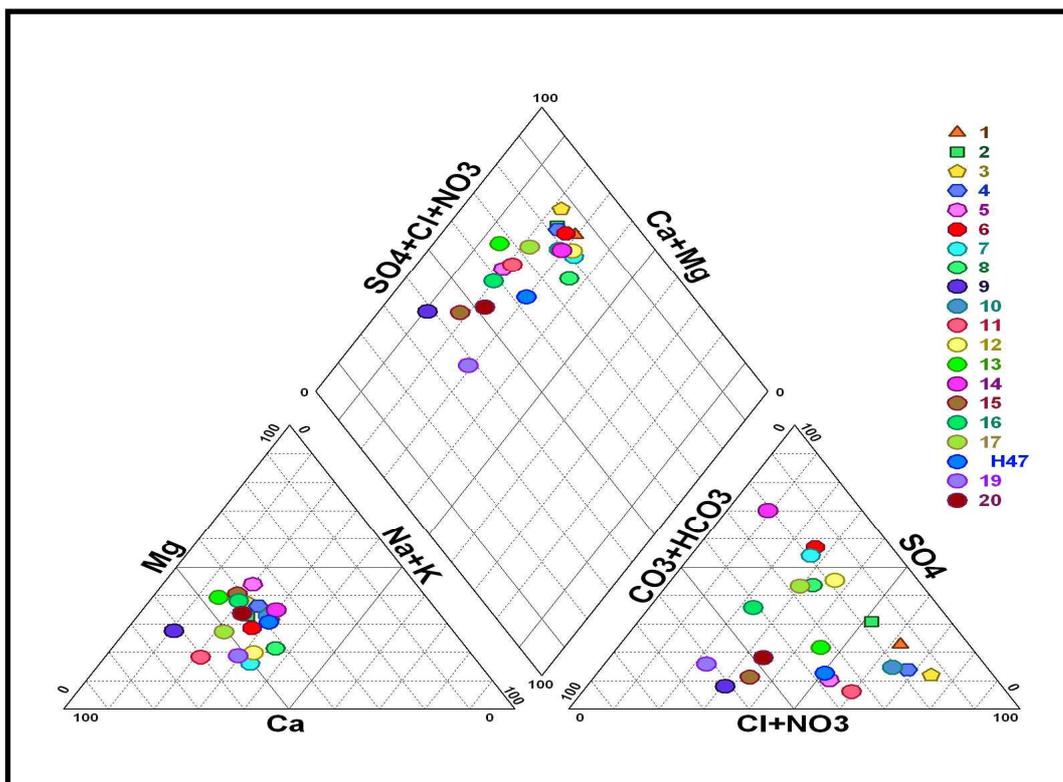
Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol.

Une eau chargée en sel, peut provoquer cette action, ce risque est déterminé à partir de la valeur du rapport de sodium absorbable (S.A.R) qui est donné par la formule suivante :

$$S.A.R = Na / \left(\frac{Ca + Mg}{2} \right)^{1/2} \quad \text{Na, Ca, et Mg sont exprimés en me/l}$$

Le graphe montre que les eaux de F'kirina ont :

- un degré de salinité fort à très fort pour la majorité des puits à l'exception des puits : 9, 11, 15, 16, 17, 21, 39, et 40, dans la partie Sud de la région.
- Un degré d'alcalinité faible, donc les eaux de la région sont favorables à l'irrigation.



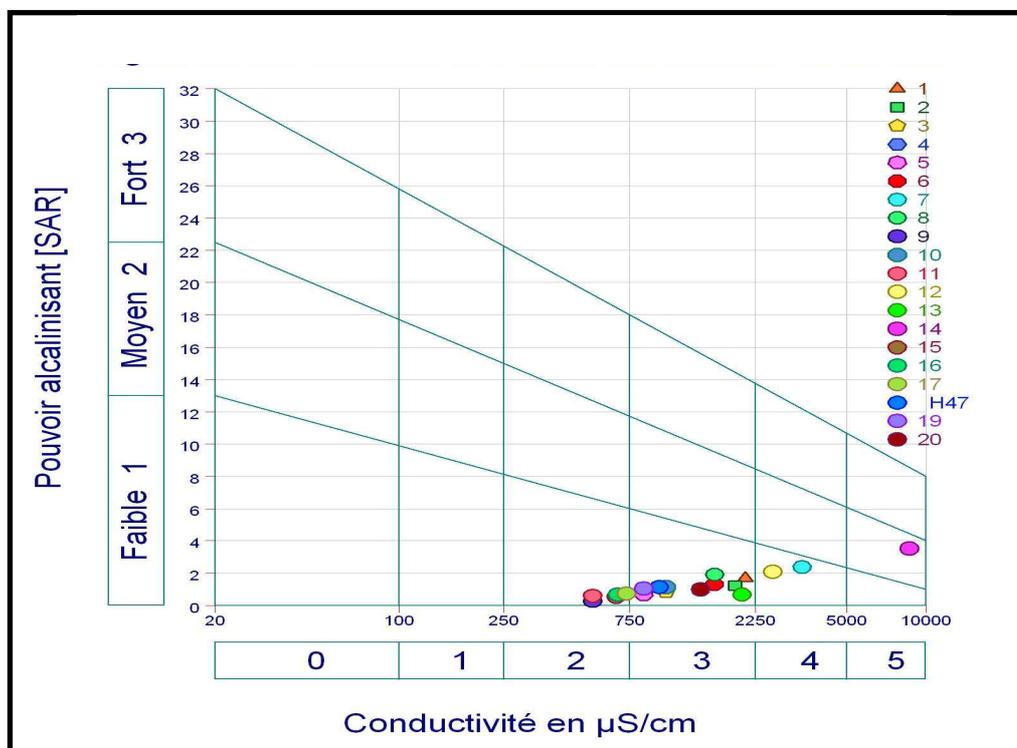


Fig.34.a. : classification des eaux en fonction du S.A.R.

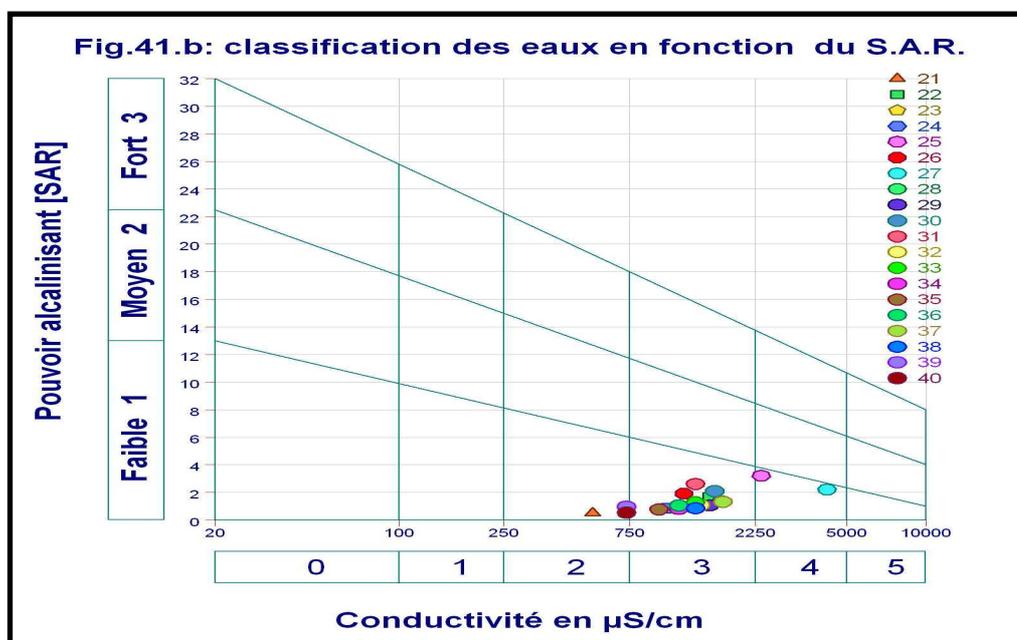


Fig.34.b : classification des eaux en fonction du S.A.R.

V.3. Potabilité des eaux, (fig.35):

Les eaux souterraines sont souvent considérées comme des eaux naturellement pures, ce qui est une erreur, car souvent elles peuvent contenir hors des éléments chimiques de la matière organique qui influe directement sur la qualité des eaux.

Une eau pure est une eau complètement dépourvue d'impureté, des bactéries pathogènes et d'agents polluants, donc elle peut être sans risque quand elle est destinée à la consommation humaine.

V.3.1. Norme de potabilité selon l'O.M.S. : (tableau n° 8)

En 1989, l'organisation mondiale de la santé a établi des normes de potabilité des eaux en fonction de la teneur des éléments chimique.

La comparaison des résultats d'analyses chimiques du secteur étudié avec les normes de l'O.M.S., fait ressortir généralement 03 types d'eaux repartis dans différentes zones de la plaine.

Tableau n° 8: potabilité des eaux.

	Valeurs extrêmes					
Potabilités des eaux	Cl (mg/l) 200	SO ₄ (mg/l) 250	Mg (mg/l) 50	K (mg/l) 12	NO ₃ (mg/l)	minéralisation 1500 (mg/l)
Eaux potables	Puits : 4, 5, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 34, 35, 36, 39, 40. Forage : H 47					
Eaux à potabilités moyenne	Puits : 3, 6, 8, 13, 28, 30, 31, 32, 33, 37,38.					
Eaux non potables	Puits : 1, 2, 7, 12, 14, 25, 27.					

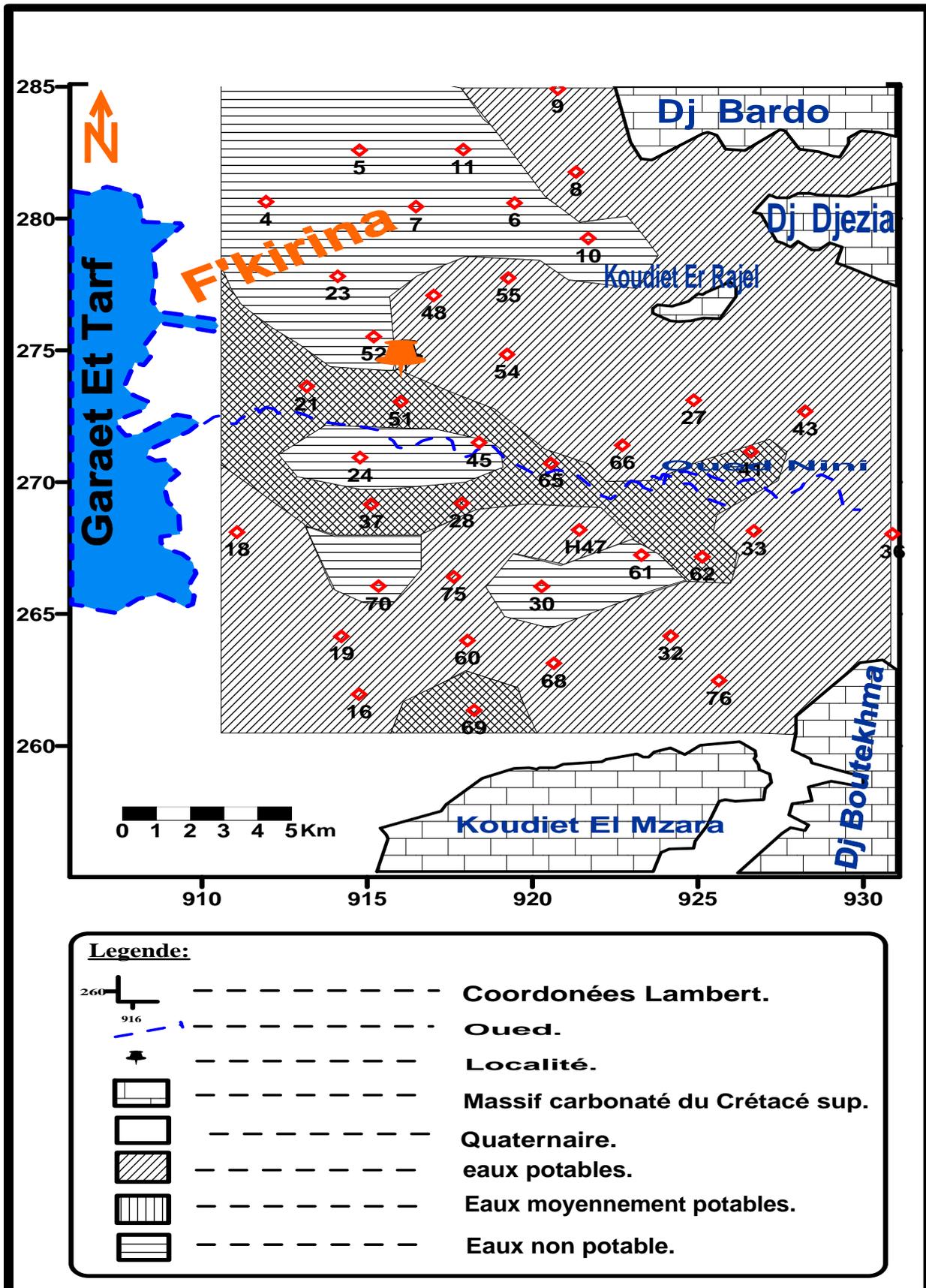


Fig.35. Carte de potabilité des eaux dans la région d'étude.

Conclusion:

L'étude hydrochimique des eaux de la plaine de F'kirina, nous a permis de mettre en évidence plusieurs constatations:

D'après les résultats des analyses chimiques et leurs classifications, nous remarquons que les eaux de la plaine ont une minéralisation élevée. Cette minéralisation est due essentiellement à:

- L'influence du Garaet Et Tarf sur les eaux souterraines.
- Le lessivage des formations géologiques (argiles, roche carbonatée et les évaporites).

Les faibles valeurs de la minéralisation se localisent près des massifs calcaires, et les fortes valeurs sont observées dans la partie Nord Est et surtout près du Garaet.

D'après la classification de Stabler, on peut classer les eaux de la région en 3 familles :

- Famille bicarbonatée : représenté par 15 échantillons de l'ensemble de 40 puits.
- Famille sulfatée : représentée par 15 échantillons de l'ensemble des puits étudiés.
- Familles chlorurée : représentée par 10 échantillons.

D'une manière générale, la qualité des eaux de la nappe du plioquaternaire est moyennement potable malgré les fortes concentrations en bicarbonates ou en chlorures et en sulfates.

Chapitre VI :

Hydrogéologie.

Introduction

L'alimentation en eau pour différents usages de la région de F'kirina est basée principalement sur les recherches et l'exploitation des réserves souterraines à différentes profondeurs.

VI.1. Extension et nature des nappes :

VI.1.1. Etablissement et interprétation des coupes hydrogéologiques :

D'après les forages implantés dans la plaine, on a pu établir 4 coupes hydrogéologiques qui vont nous permettre de connaître la position, la continuité et le caractère de la structure des aquifères dans la région. L'établissement de ces coupes se fait par corrélation des couches géologiques traversées par les forages, les couches de même nature lithologique et stratigraphique sont reliées entre elles.

VI.1.1.1. Interprétation des coupes :

Les formations dominantes dans la région sont représentées en leur totalité par des calcaires du Maestrichtien supérieur, qui sont recouvertes par des formations plus récentes d'âge plioquaternaire. Les formations du crétacé ont été affectées par la phase tectonique Alpine ce qui a engendré des formes de plissement. Les calcaires du crétacé sont fissurés et karstifiés, et forment un milieu favorable à l'accumulation des eaux souterraines.

Il existe une large bande de direction N-W, S-E où les calcaires du Maestrichtien supérieur sont totalement absents et remplacés par des marnes de Maestrichtien inférieur et Campanien, sur lesquels reposent les formations du plioquaternaire (ces marnes jouent le rôle d'un substratum imperméable). Cette absence des calcaires ne peut être expliquée que par un phénomène d'érosion.

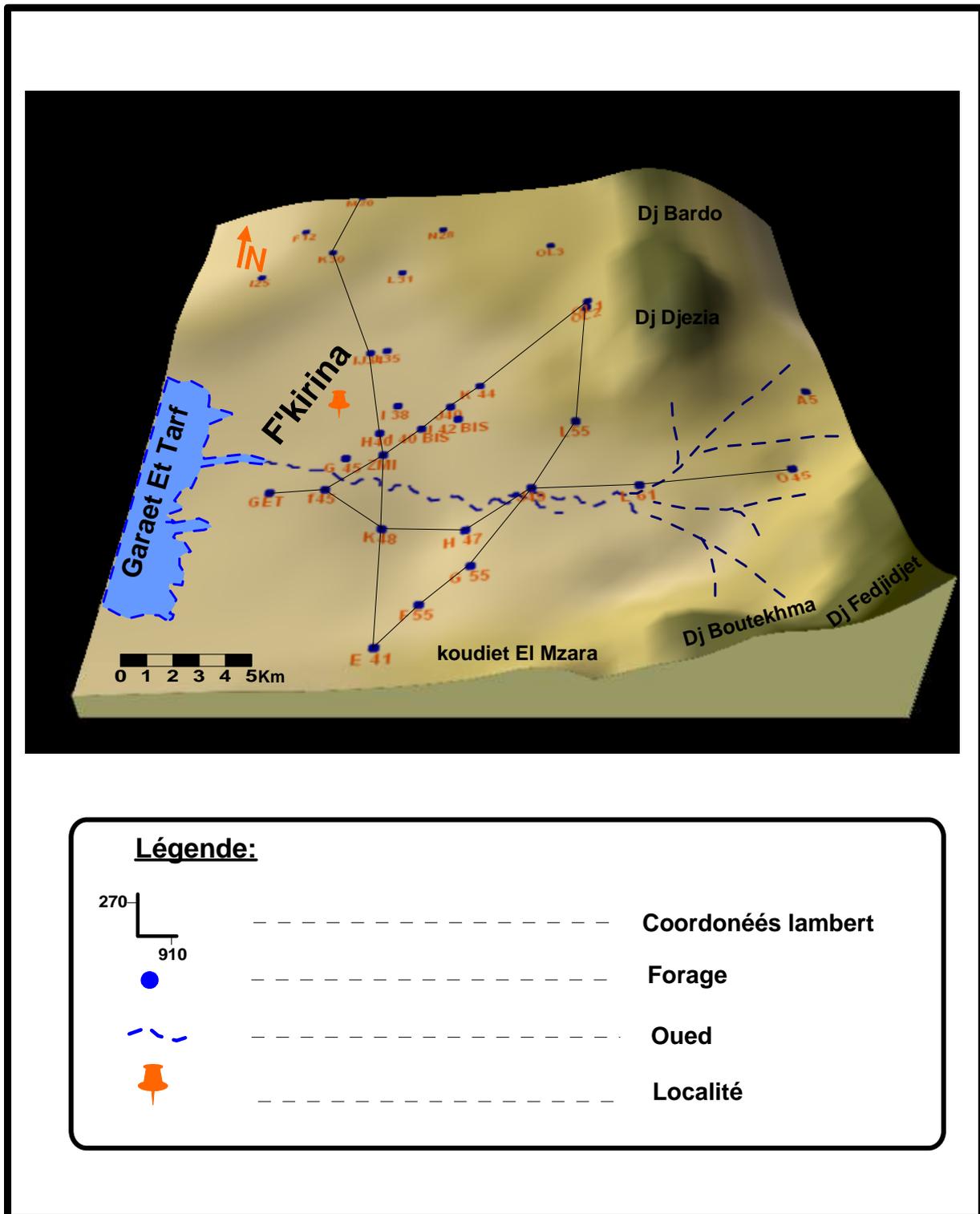


Fig. 36 : carte de situation des forages

VI.1.1.2. Type de nappe :

La définition du type de nappe exige une parfaite connaissance de la nature lithologique des formations qui déterminent d'une part, et celle de ses limites géométriques d'autre part.

Ainsi l'examen des coupes de plusieurs sondages et forages hydrogéologiques exécutés en divers points de la plaine a permis de distinguer deux nappes aquifères superposées de haut en bas :

- **La nappe du plioquaternaire :**

Caractérisée par les formations lithologiques suivantes : graviers et argiles, graviers calcaires, galets.

Cette nappe a une très grande extension horizontale vu que les formations du plioquaternaire recouvrent toute la plaine. La puissance de cette nappe varie entre 100 à 10 mètres.

Dans les zones d'érosion le substratum de cette nappe est représenté par des marnes du Maestrichtien inférieur ou du campanien, par contre dans les zones non érodées cette nappe est superposé directement sur la nappe des calcaires.

- **La nappe des calcaires du Maestrichtien supérieur :**

Cette nappe comme son nom l'indique se rencontre dans les calcaires du Maestrichtien supérieur. Son épaisseur véritable ne peut être déterminée vu que tous les forages qui l'exploitent sont imparfaits (ne dépassant pas 150 m de puissance).

VI.1.1.3. Coupe hydrogéologique NE – SW (OL1 – GET), (fig.37) :

Les forage I40 et OL1 mettent en évidence les deux types de nappes (la nappes du plioquaternaire, et la nappe des calcaires du Maestrichtien supérieur).

Les deux nappes sont en relation hydraulique directe, pour le forage I40, et indirecte au niveau de OL1, car il existe des marnes imperméables entre les deux nappes.

Les autres forages, (K44, J40, H40, G45 et GET) montrent l'existence d'une seule nappe du plioquaternaire avec un substratum marneux pour J40 et K44, et argileux pour les forages : H40, G45 et GET vers Garaet Et Tarf.

Le forage, GET est artésien, l'artésiennisme provient du fait qu'à ce niveau la nappe se trouve dans une cuvette dans laquelle toute l'eau va converger et se trouver sous pression.

La nappe est captive au niveau du forage H40 et au GET, avec un toit argileux, et libre pour les autres forages.

La nappe du plioquaternaire possède une continuité horizontal par contre la nappe des calcaires est horizontalement discontinue.

La nappe du plioquaternaire a une puissance très variable avec 10 mètres pour le forage K44 au NE de la plaine ; 40 mètres au niveau de GET, 70 mètres au niveau de G45.

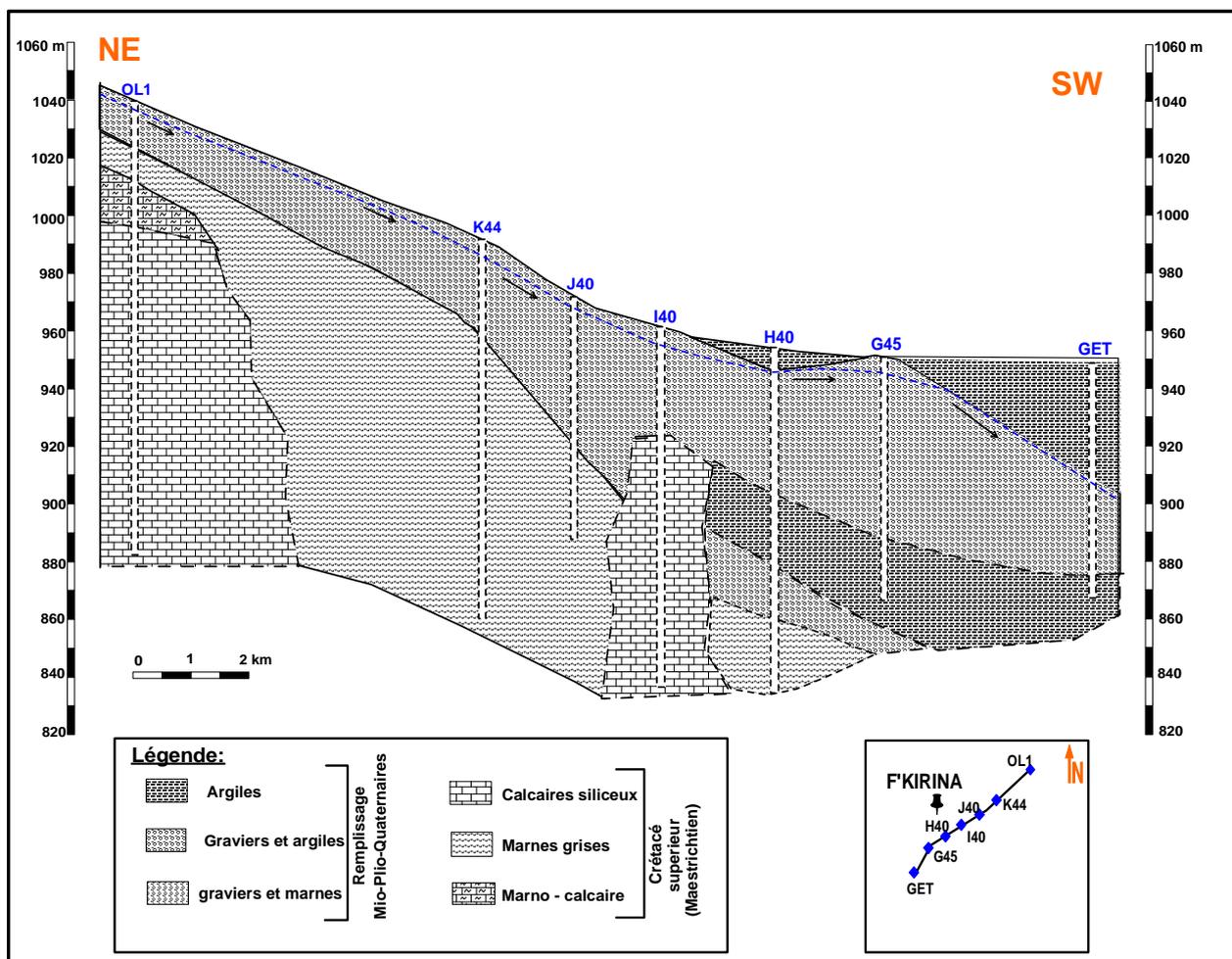


Fig. 37 : coupe I (NE – SW)

VI.1.1.4. Coupe hydrogéologique NE SW (OL2 – E41), (fig.38) :

Cette coupe est construite parallèlement à la première coupe (OL1 – GET).

Les forages J49, G55, et E41 montrent qu'il n'existe que la nappe de plioquaternaire avec un substratum marneux.

La nappe est libre sauf dans la partie NE au niveau des forages J49 et L55.

Les forages OL2 et F55 montrent l'existence des deux nappes mais qu'ils ne sont pas en relation hydraulique directe, au niveau de forage F55, (la présence d'une couche marneuse imperméable). Au niveau de forage OL2 au Djebel Djazia on remarque l'absence de la nappe du plioquaternaire.

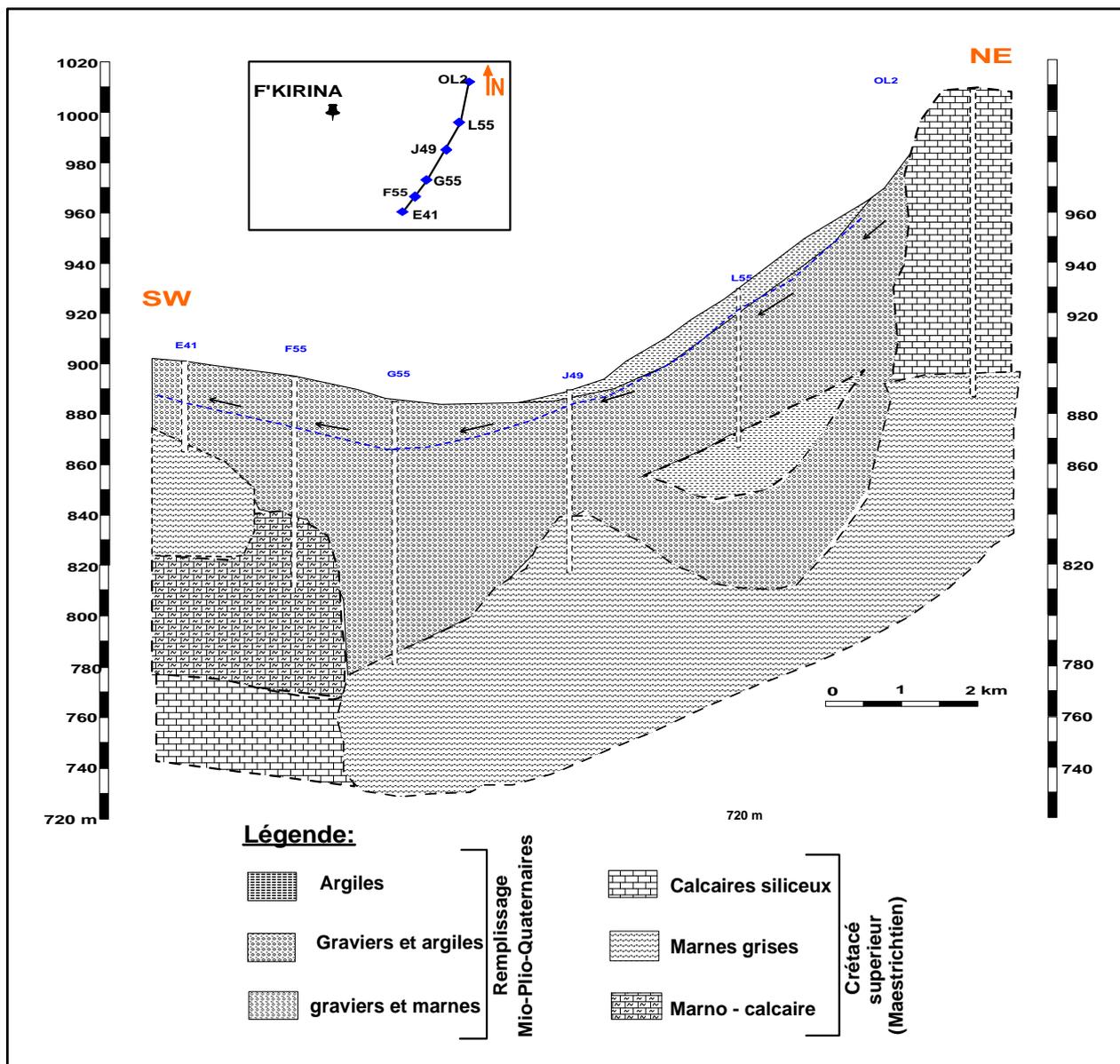


Fig. 38. Coupe hydrogéologique II (NE – SW).

VI.1.1.5. Coupe hydrogéologique N S (M20 - E 41), (fig.39) :

Cette coupe montre l'absence du 2^{em} nappe (nappe du calcaires du Maestrichtien supérieur) dans cette partie de la plaine.

La nappe est captive dans la partie Nord de la coupe, avec un toit argileux (forages I38, M20 et ZMI).elle est libre pour le reste (forages K30, G50 et E41).

Le substratum est marneux (marnes du Maestrichtien inférieur) pour tous les forages (le forage ZMI est imparfait donc le substratum est inconnue).

Selon la coupe la nappe du plioquaternaire a de grande puissance dans la partie centrale (120 mètres d'épaisseur pour G50). Sa puissance diminue progressivement on allons vers le Nord et le Sud (30 mètres au niveau de E41 et au niveau de M20 et K30 plus au nord de la région).

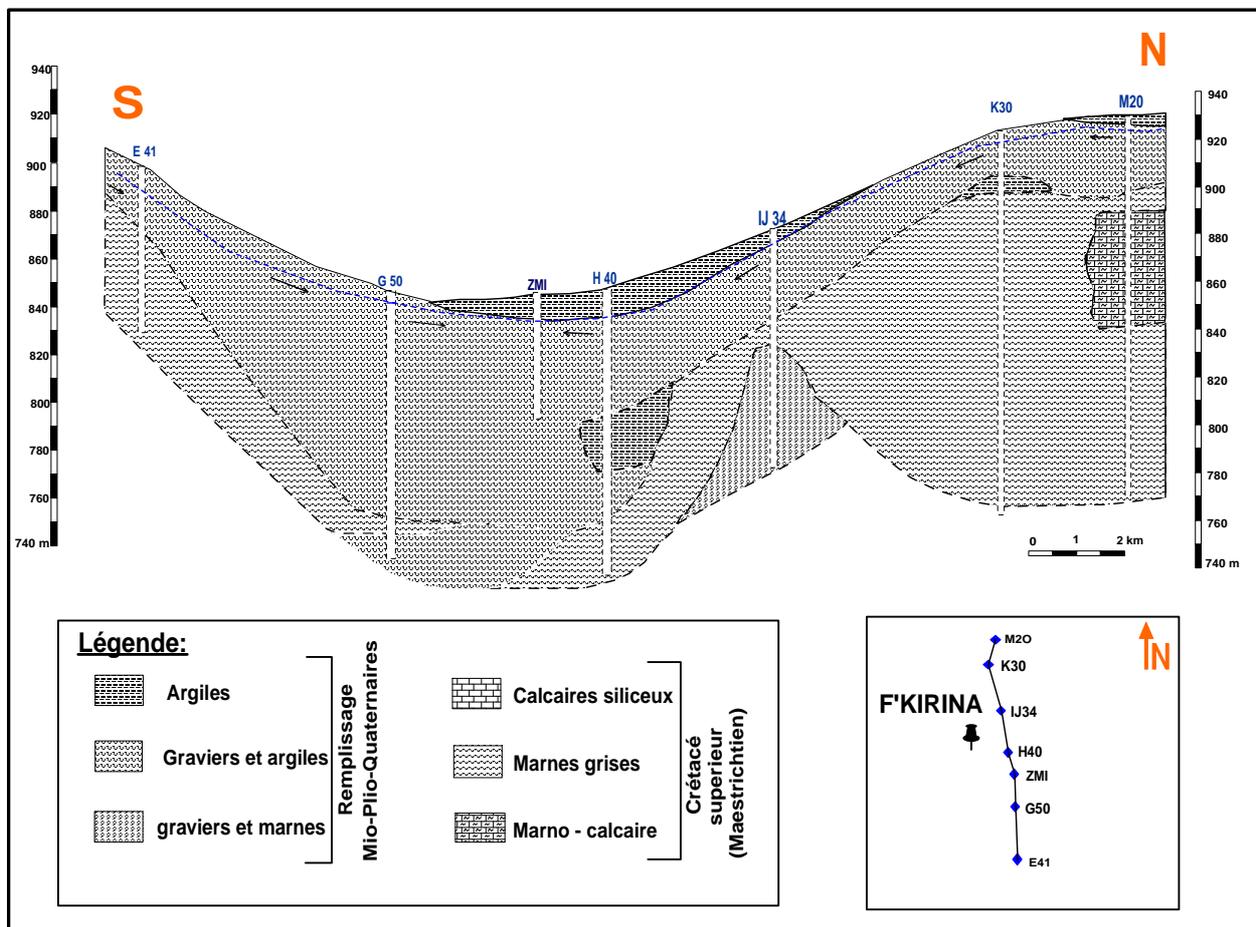


Fig.39. Coupe hydrogéologique III, (N – S).

VI.1.1.6. Coupe hydrogéologique E W (GET – A5), (fig.40):

On remarque l'inexistence de la nappe des calcaires du Maestrichtien supérieur car cette coupe passe directement par la zone d'érosion.

La nappe du plioquaternaire est captive au niveau de tout les forages, sauf au niveau de G50 et L61, avec un toit argileux.

L'épaisseur de la nappe est très variable (100 m, 90 m, 50 m respectivement pour les forages F45, H47, J49). Le substratum est marneux du Maestrichtien inférieur, à l'Est de la région d'étude, et argileux vers le Garaet Et Tarf, (F45 et GET).

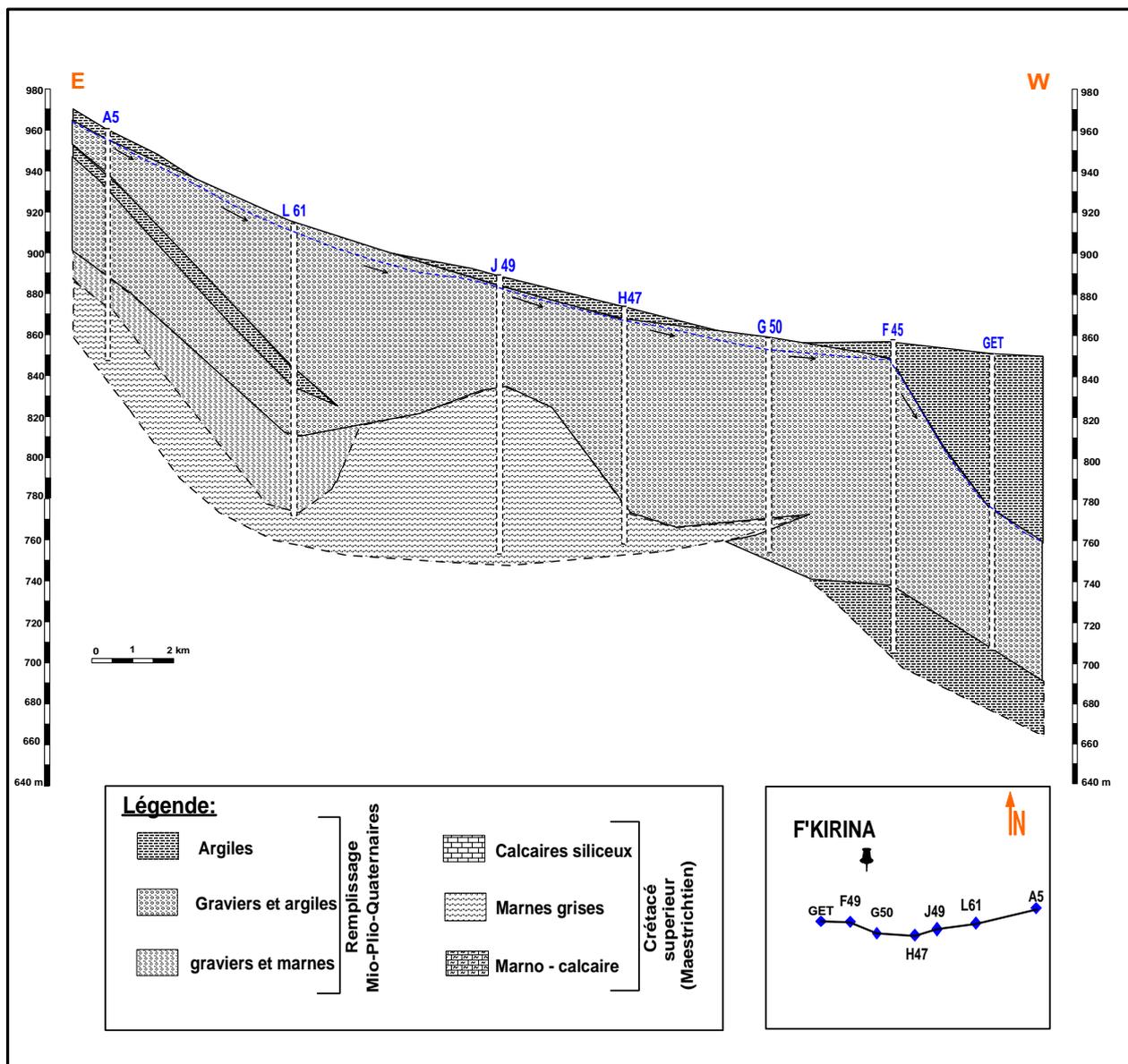


Fig.40. Coupe VI, (E – W).

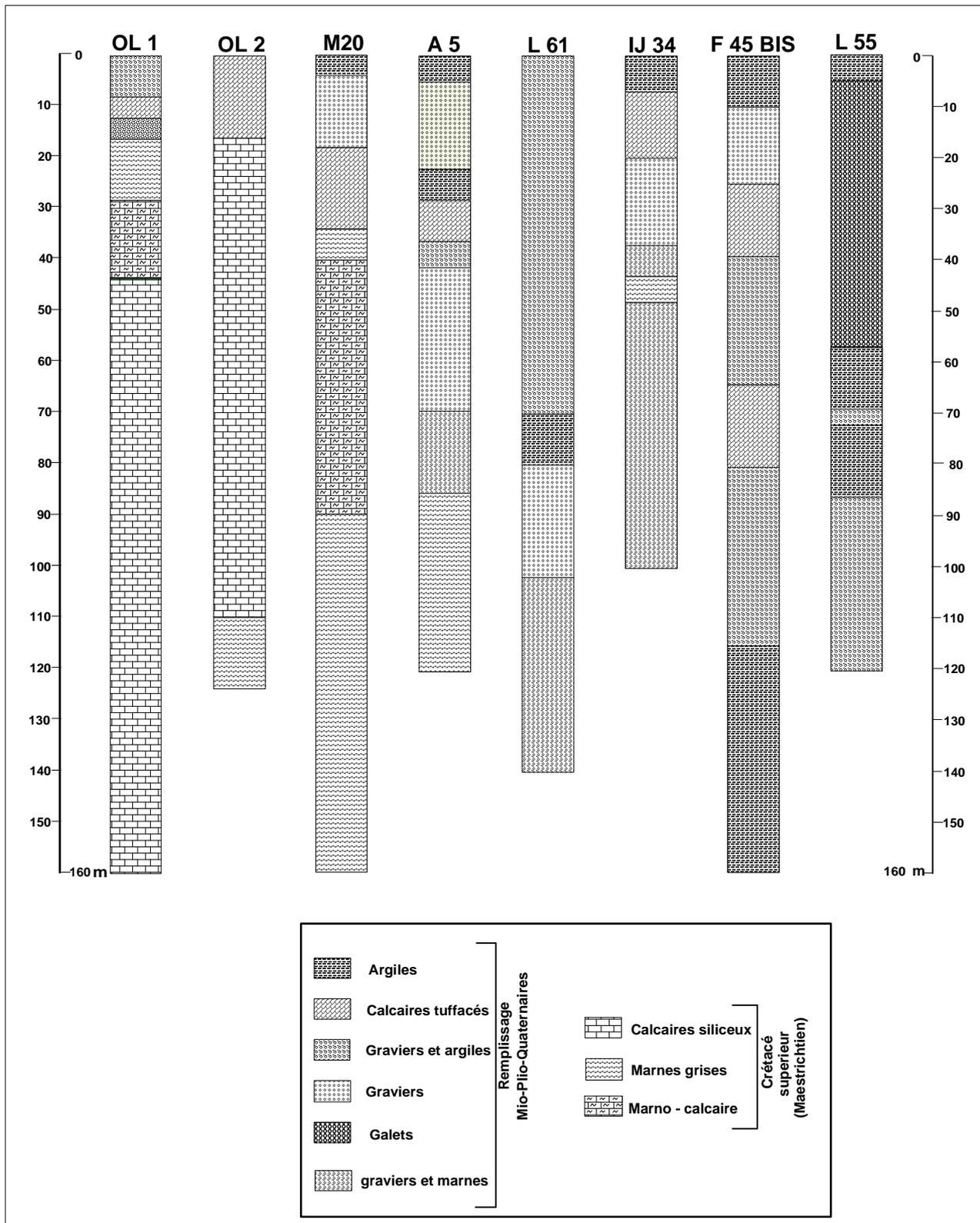


Fig.41.a. Logs stratigraphiques des forages

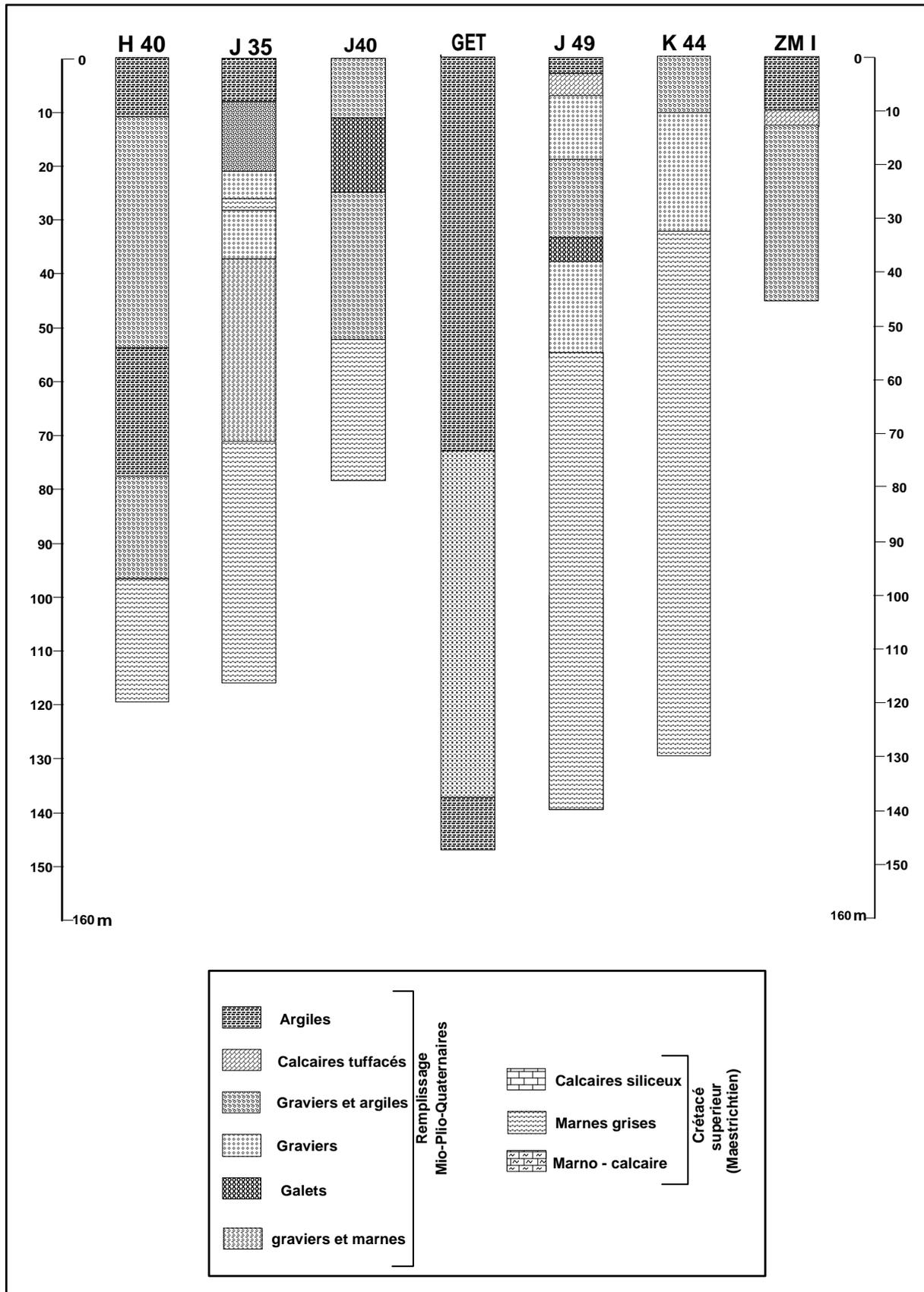


Fig.41.b. Logs stratigraphiques des forages

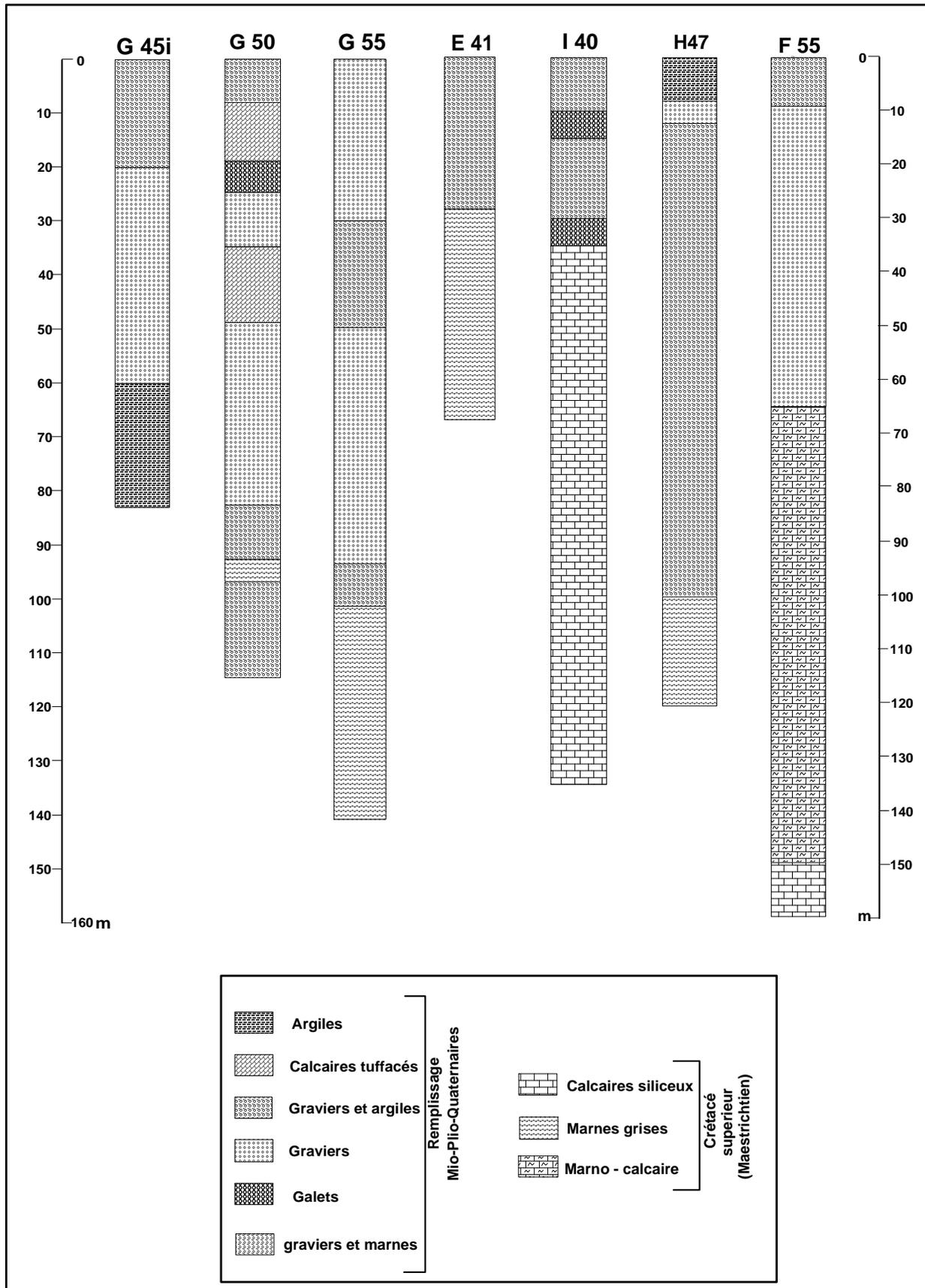


Fig.41.c. Logs stratigraphiques des forages

VI.1.2. Conclusion :

Selon les conditions lithologiques, tectoniques, l'étude géophysique, et hydrogéologiques on peut déduire :

- Qu'il existe une continuité latérale au niveau de la nappe du plioquaternaire, et que la nappe des calcaires du Maestrichtien supérieur présente une discontinuité locale qui est dictée par la présence large zone d'érosion qui sépare la nappe en deux.
- Dans l'ensemble la nappe du plioquaternaire est captive mais il existe une large bande de direction N S où la nappe devient libre.
- La nappe du plioquaternaire se situe dans les dépressions du toit des calcaires (dus aux plissements et aux ondulations de celui-ci), ou dans les zones d'érosion.
- Il existe une liaison hydraulique directe entre les deux nappes.
- La nappe du plioquaternaire présente une hétérogénéité latérale et verticale.

VI.2. Carte piézométrique du bassin d'étude

La carte piézométrique d'un aquifère représente à un temps donné la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques. Elle constitue une étape importante à l'étude hydrodynamique de l'aquifère. Elle est basée sur des mesures piézométriques reportée sur un fond topographique. Les courbes obtenues en hydroisohypses permettent de déduire les écoulements qui s'opèrent dans l'aquifère. Le module d'espacement des courbes indique le gradient hydraulique et renseigne sur le type d'écoulement c'est-à-dire uniforme ou perturbé ; ceci influe sur le débit.

L'écartement des courbes piézométriques est fonction de gradient hydraulique

$i = \Delta H/l$. ce gradient est d'autant plus fort que les courbes apparaissent plus serrées.

Il est lié directement à la perméabilité du milieu, à la vitesse et au débit d'écoulement.

L'établissement de la carte piézométrique est effectué grâce à un inventaire des points d'eau du bassin d'étude.

VI.2.1. Inventaire des points d'eau, (fig.42):

Les mesures des niveaux piézométriques ont été effectuées par l'ANRH de Constantine pour l'année 2007 avec deux campagnes piézométriques, (basses et hautes eaux).

Les mesures ont été réalisées sur 16 puits et 3 forages captant la première nappe (la nappe du plioquaternaire).

VI.2.2. Carte piézométrique en période des hautes eaux (juin 2007), (fig.43) :

Comme en témoigne l'agencement des lignes de courant et la disposition des axes d'écoulement, la direction principale de l'écoulement se fait globalement des affleurements calcaires vers la Sebkhia (Garaet Et Tarf) selon trois directions NE-SW, SE-NW et N-S.

Toutes les eaux de la nappe drainent vers la Sebkhia qui constitue un exutoire naturel.

Les limites géologiques incarnées par les calcaires assurent l'alimentation en eau de la plaine. Cette alimentation se fait latéralement et par déversement souterrain à partir des massifs bordiers.

D'après le tableau de calcul des gradients hydrauliques on distingue 4 zones :

- **Zone A** :(cette zone est limitée à l'Est par des massifs montagneux carbonatés de Djebel Djezia et Djebel Bardo).

L'écoulement souterrain dans cette zone est présenté par des lignes de courant parallèles et équidistantes suivant une direction NE-SW, la vitesse de l'écoulement est relativement importante (gradient hydraulique, $i = 0,0146$).

Cela est dû à la forte inclinaison du substratum et la présence des massifs qui alimentent la nappe.

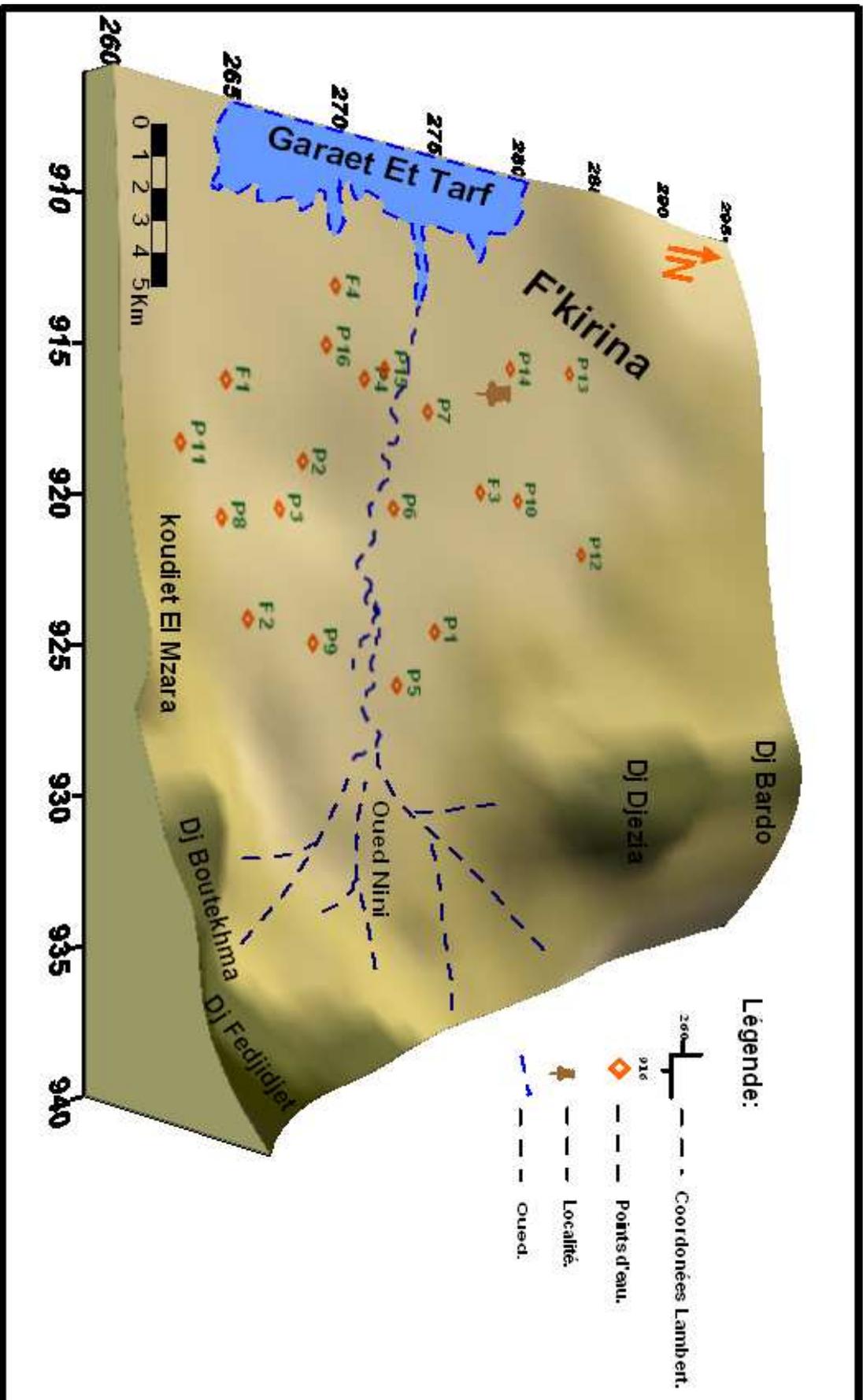


Fig.42. Carte d'inventaire des points d'eau

- **Zone B :** (cette zone est limitée au Sud par le massif carbonaté de Djebel Boutekhma).

L'écoulement souterrain est du Sud Est vers le Nord Ouest, cette zone présente presque les mêmes caractéristiques que la zone A, avec des vitesses d'écoulement relativement moyennes, ($i = 0,007$).

Le sens d'écoulement et les vitesses sont en relation directe avec la géométrie que présente le substratum.

- **Zone C :**

Se situe au centre de la plaine et constitue une limite de convergence de la zone A et B, l'écoulement dans cette zone donne une idée sur l'existence d'une ancienne vallée d'érosion, c'est pourquoi cette zone constitue une ligne de symétrie entre la zone A et B.

L'écoulement dans cette zone est faible, cela est dû probablement à la géométrie spécifique du substratum qui présente des ondulations.

Le gradient hydraulique calculé dans cette zone est faible, ($i = 0,004$).

- **Zone D :** se située à l'Ouest de la région d'étude, (proche du Garaet Et Tarf).

Le parallélisme des lignes de courant observé dans la zone A et B, n'existe plus dans cette zone, il présente des ondulations qui reflètent l'allure de substratum, et une forte exploitation des puits dans cette partie de la plaine.

L'écoulement souterrain est faible à très faible, car la nappe est proche de la zone de décharge, où la nappe affleure sous forme de Garaet.

Le gradient hydraulique calculé dans cette zone est très faible, ($i = 0,001$).

Plus au Nord de cette zone on remarque que l'écoulement souterrain est de direction NW-SE, et le gradient hydraulique, $i = 0,003$.

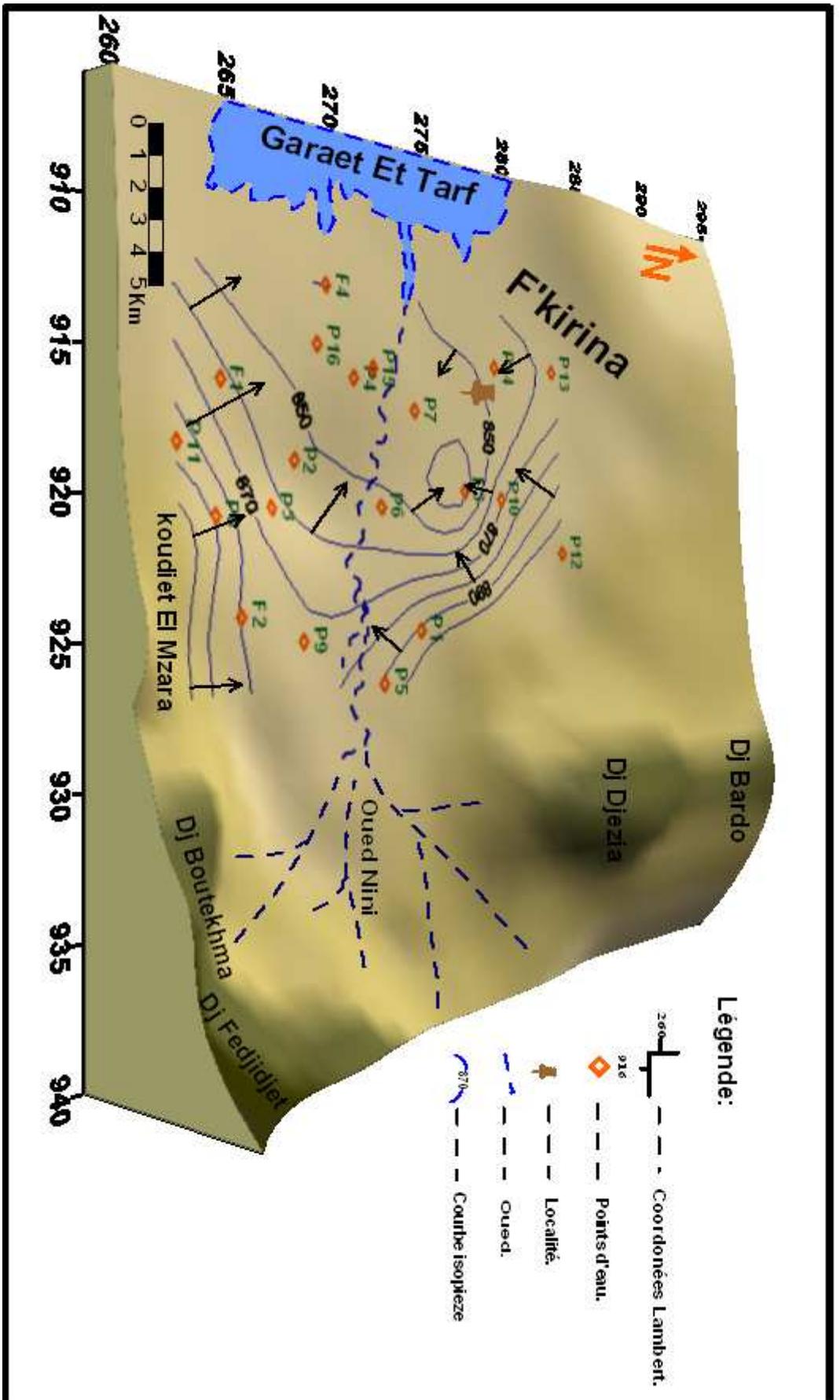


Fig. 43. Carte piézométrique en période des hautes eaux (juin 2007)

VI.2.3. Carte piézométrique en période des basses eaux (novembre 2007), (fig.44) :

L'écoulement présenté par les lignes d'écoulement dans cette carte est presque le même que celui de la période du mois de Juin 2007, avec quelques différences :

- Dans la zone B le gradient hydraulique est beaucoup plus fort, ($i = 0,012$) donc une grande alimentation de la nappe par le massif carbonaté.
- Dans la partie Nord la zone D, la vitesse d'écoulement est très grande, et de direction différente par rapport à la première carte (de direction NE-SW), et le gradient est très fort, ($i = 0,012$)

V.3. Caractéristiques hydrodynamiques des nappes :

Pour la bonne réalisation des ouvrages de captage, il est nécessaire de connaître les caractéristiques hydrauliques souterraines des nappes, qui sont représentées par les paramètres hydrodynamiques.

VI.3.1. Paramètres hydrodynamiques des nappes :

Les conditions géologiques et hydrogéologiques influent sur les paramètres hydrodynamiques.

La nappe du plioquaternaire qui s'étend latéralement dans toute la région avec des épaisseurs très variables, se caractérise par des paramètres hydrodynamiques très différents, cette différence provient de l'hétérogénéité de la nappe horizontalement et verticalement :

Dans le forage I 40, la nappe présente une très bonne perméabilité ($K = 2,41 \cdot 10^{-2}$ m/s), par contre dans les autres forages qui captent cette nappe, la perméabilité varie de $1,38 \cdot 10^{-3}$ à $2,41 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Pour ce qui est des débits pompés maximum il est important pour presque tous les forages de la nappe du plioquaternaire.

Pour la nappe des calcaires, le débit pompé est très variable, généralement il est faible.

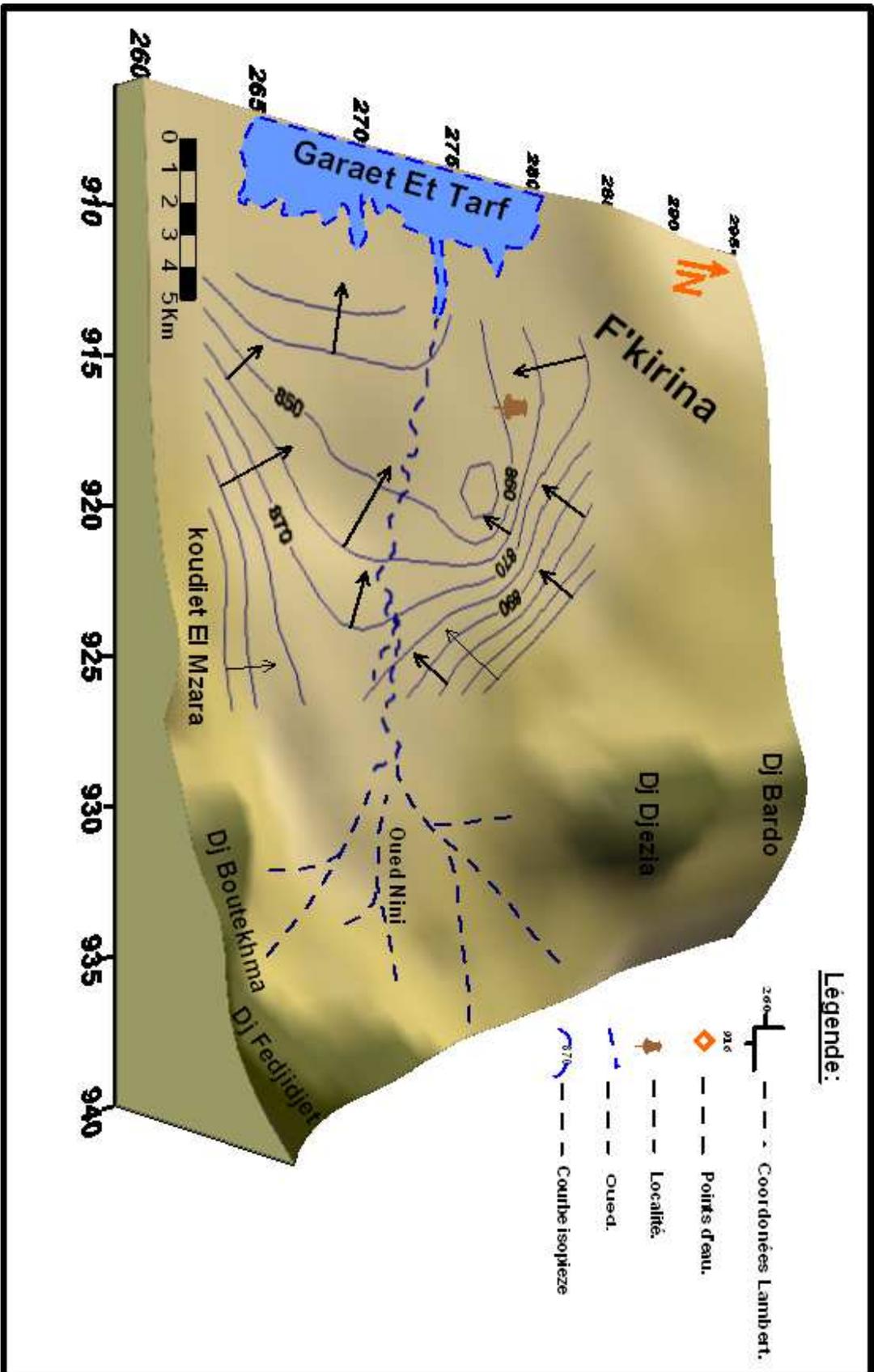


Fig.44. Carte piézométrique en période des basses eaux (novembre 2007)

Tableau.9. Caractéristiques hydrodynamiques des nappes de la région d'étude.

N°de forage	Q (l/s)	T m ² /s	Profondeur H (m)	K= T/H (m/s)	Remarque
I 40	55	6,53. 10 ⁻¹	27	2,41X 10 ⁻²	N.P.Q
I 40 Bis	38	8,24X10 ⁻²	47	1,75 X 10 ⁻³	N.C
H 47	40	1,45	60	2,41 X 10 ⁻⁵	N.P.Q
J 40	10		15		N.P.Q
J 28	9,8	8,33 X 10 ⁻²	64	1,38 X 10 ⁻³	N.P.Q
I 33	28	1,98X 10 ⁻²	58	3,41 X 10 ⁻⁴	N.C + N.P.Q

Source : mémoire d'ingénieur (étude hydrogéologique de la plaine de F'kirina, 1987).

Conclusion :

De ce chapitre, il ressort que la plaine de F'kirina est occupée en surface par un matériau alluvionnaire hétérogène formé d'argile, gravier, et sable .dans la quasi-totalité de la plaine la perméabilité est faible, elle est de l'ordre de 10⁻⁵ m/s

Le substratum constituant l'assise imperméable, est représenté par des calcaires des Maestrichtien supérieur. Mais il existe une zone où ces calcaires sont érodés et remplacés par des marnes de Maestrichtien inférieur.

La nappe se rapproche de la surface au fur et à mesure que l'on se rapproche du Sebkh.

La transmissivité reste relativement faible elle est de l'ordre de 10⁻³ m²/s. cette transmissivité est influencée par une perméabilité mauvaise.

L'analyse de la carte piézométrique montre que la direction principale de l'écoulement se fait globalement des affleurements calcaires vers la Sebkh (Garaet Et Tarf) selon trois directions NE-SW, SE-NW et N-S.

Toutes les eaux de la nappe draine vers la Sebkh qui constitue un exutoire naturel.

Les limites géologiques incarnées par les calcaires assurent l'alimentation en eau de la plaine.

Cette alimentation se fait latéralement et par déversement souterrain à partir des massifs bordiers.

Introduction :

Un aquifère peut être comparé à un compte bancaire, et les eaux souterraines sont analogue à l'argent dans ce compte. Les eaux souterraines peuvent être rechargées par l'infiltration des précipitations, les eaux de surface, ou par les eaux d'une autre aquifère en contact : elles peuvent être libérées naturellement vers les ruisseaux, les sources ou transpiré par les plantes, ou par pompage.

Dans un système aquifère souterrain avant un développement, le système est en équilibre à long terme, (la décharge est égale à la recharge, et le volume d'eau dans le stockage demeure relativement constant). Une fois le pompage commence, cependant, cet équilibre est modifié, et les niveaux d'eaux souterraines baissent. Tout comme un compte bancaire doit être équilibré,

VII.1. Problématiques de l'eau dans la région de F'kirina :

VII.1.1.Les changements climatiques :

VII.1.1.1Les précipitations et leur variabilité :

Parmi les postes pluviométriques existants sur le bassin seuls trois postes fournissent une série de données climatologiques communes comparable, mais restent tout de même fragmentaires et non homogènes, car la plupart des stations ont fonctionné de façon irrégulières.

Trois séries de mesures pluviométriques à l'ordre de l'interprétation :

La première série est ancienne (1913 – 1938) récolté par SELTZER.

La seconde est récente (1971- 1992). La troisième est plus récente (1993 – 2007).

Les deux séries sont recueillies par l'O.N.M. de constantine.

Tableau.10. Evolution des précipitations.

stations	Altitude (m)	Moyennes (1913-1938) (mm)	Moyennes (1971-1992) (mm)	Moyennes (1993-2007) (mm)
Khenchela.	1300	529	437	415,6
Ain Beida.	1116	420	366,6	398,5
Ain Mimoun.	1000	575	433	363,8

La comparaison des moyennes des précipitations relevées sur le tableau montre que :

Pour les trois périodes les précipitations sont importantes sur les reliefs (Ain Mimoun, Khenchela) que pour la plaine (Ain Beida).

Il existe un changement climatique, la première série est plus pluvieuse, et les dernières trentaines années on observe que la précipitation est diminuée.

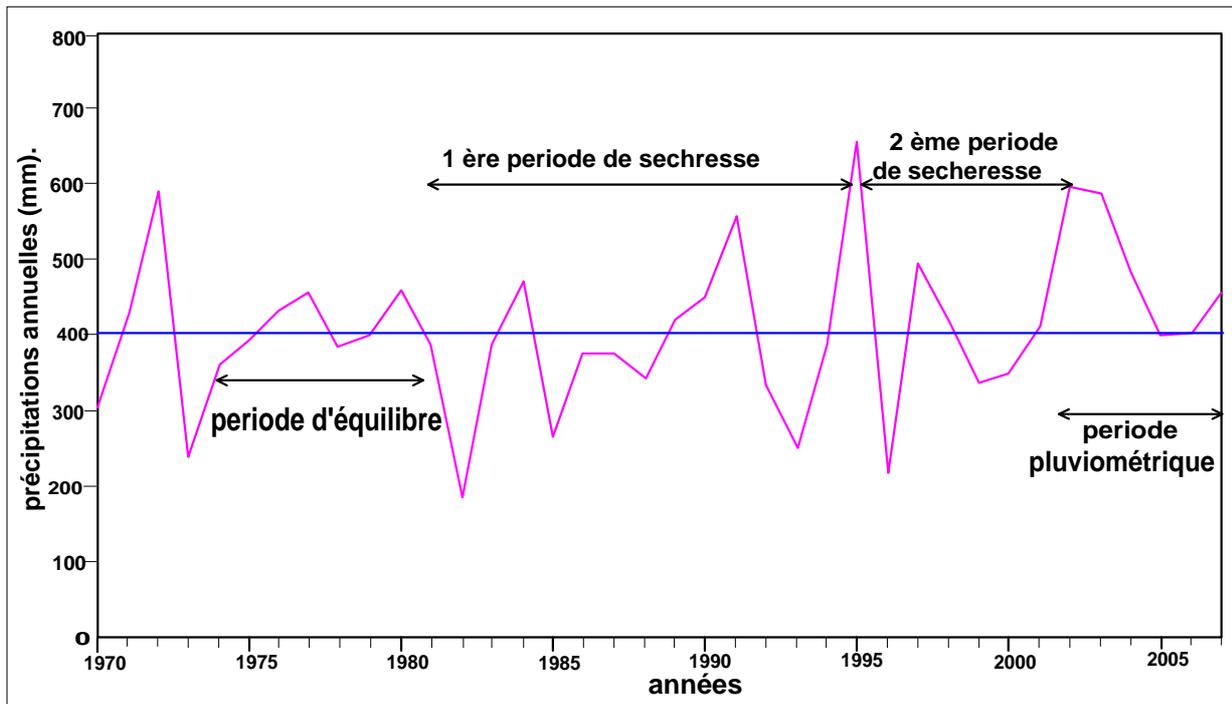


Fig. 47. Précipitations annuelles de la station d'Ain Beida entre 1970 et 2007

La figure 47 donne un premier aperçu chronologique des périodes successives de la sécheresse depuis l'année 1970. Ces données choisies ont été obtenues par l'étude de l'Office Nationale de Météorologie (ONM). Nous remarquons que, de 1970 à 2007, il existe deux périodes différentes, la première entre 1980 et 1995, et l'autre a duré 7 ans entre 1996 et 2002. : une période de précipitations plus au moins importantes qui a duré environ 3 ans entre 2002 et 2005, une période équilibrée entre 1974 et 1981.

Les deux périodes de sécheresses sont successives, et elles ont un impact considérable sur les réserves en eaux aussi bien de surface que souterraines.

VII.2.Ressources et diagnostique de l'état actuel des eaux

Au cours de ces dernières décennies, des nombreuses zones semi arides ont subi des transformations socio-économiques et démographiques aussi importantes que rapides, qui se sont traduites par des pressions très importantes sur l'environnement, et en particulier sur les ressources en eau. L'eau constitue un enjeu du développement économique ; celui-ci est principalement fondé sur les ressources naturelles.

De part son contexte naturel et l'aridité de son climat, la plaine de F'kirina est un espace vulnérable et difficile à gérer. La sécheresse qui sévit périodiquement dans cette région, ajoutés à l'irrégularité habituelle des pluies et des cours d'eau, expliquent le recours à l'exploitation de la nappe phréatique. Le climat est caractérisé par une forte variabilité dans le temps et l'espace des précipitations et par une intensité de l'évaporation. Ceci a conduit à la dégradation des potentiels de production.

VII.3.Les besoins en eau dans la région d'étude :

VII.3.1.L'alimentation en eau potable, (AEP):

La plaine de F'kirina est la seule source d'alimentation en eau potable dans la région Sud Est de la Wilaya d'Oum El Bouaghie. Elle alimente trois communes, F'kirina, Ain Beida et Oued Nini, et ces mechtats.

Le tableau n° 11 montre que la plaine de F'kirina assure l'alimentation en eau potable (AEP) pour 132213 habitants, soit par les forages qui captent les eaux de la nappe du mio-plio-quaternaire (H47, I33, O45, L31, G55,.....), ou par les forages qui captent les eaux de la nappes des calcaires des Mæstrichtien.

La production journalière totale est de l'ordre de : $21764 \text{ m}^3 / \text{jour}$. Avec un déficit de $162 \text{ m}^3 / \text{jour}$. La production annuelle est de l'ordre de $7,75 \text{ Hm}^3$ par an.

Tableau.11.L'alimentation en eau potable dans la région d'étude :

Communes		Population	Ressource	Production	Besoins	Déficit
Ain Beida	Ain beida	109832	F : H47 +O45 +I33 +I40+ J37 +OL1+OL2	17404m ³ /j	16475m ³ /j	
	Bir Ouanes	3866	F : I33	288 m ³ /j	324 m ³ /j	36 m ³ /j
	Mechtas	1046	F : L31	108 m ³ /j	84 m ³ /j	
F'kirina	F'kirina	7084	F : J40+G42	936 m ³ /j	1062 m ³ /j	126 m ³ /j
	Ain Oum Djmel	865	Réseau d'Ain Beida	Réseau d'Ain Beida	Réseau d'Ain Beida	
	Mechtas	5134	F :I38 + I33 + O45+ sources	1300 m ³ /j	410 m ³ /j	
Oued Nini	Oued Nini	2015	G55+H52 bis	864 m ³ /j	302 m ³ /j	
	Mechtas	3417	G55+H52 + Sources	864 m ³ /j	273 m ³ /j	

VII.3.2.L'alimentation en eau agricole (AEA) :

Dans la région de F'kirina un nombre assez important de puits assurent l'alimentation en eau agricoles d'après la DHW d'Oum El Bouaghi le nombre totale de puits captent la nappe du mio-plio-quadernaire est de l'ordre de 723.

Tableau.12. L'alimentation en eau agricole :

Communes	Nombre de puits collectifs	Débits (l/s)	Nombre de puits individuels	Débit (l/s)
F'kirina	2	0,5	456	2
Oued Nini	5	0,5	260	0,5

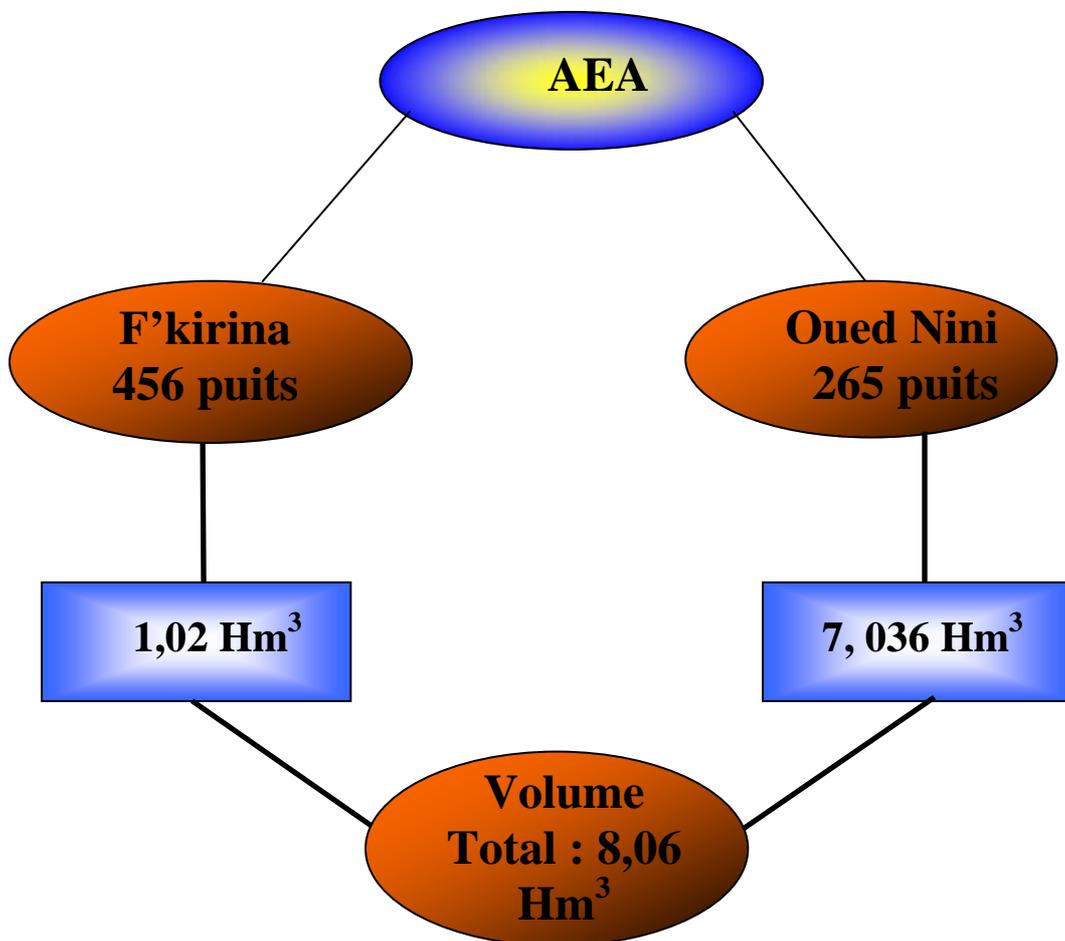


Fig.48.L'alimentation en eau agricole

VII.3.3.L'alimentation en eau pour l'industrie :

Généralement dans la région de F'kirina l'AEI se fait par le réseau de l'AEP, elle représente 2% (0,155 Hm³).

Tableau 13 : Affectation des ressources en eau dans la région d'étude :

L'alimentation	AEP (%)	AEA (%)	AEI (%)
pourcentage	47,1	50,9	2

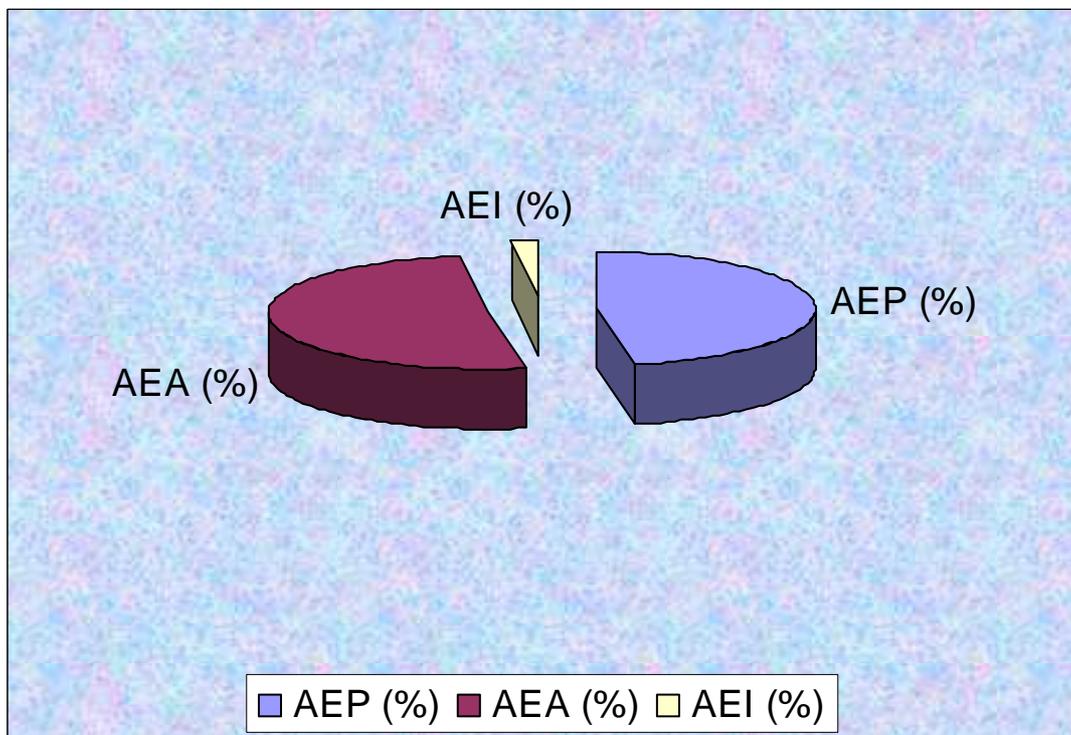


Figure.49.Affectation des ressources en eau dans la région de Fkirina

VII.4. La répartition de l'infrastructure hydraulique dans la plaine de F'kirina :

Les infrastructures hydrauliques jouent un rôle primordial dans la sécurité hydrique et alimentaire du pays et rend de précieux services à l'économie nationale. Elles contribuent, au développement de l'accès à l'eau potable, à la stabilisation de la production agricole grâce à l'irrigation de plus de 11062 d'hectares, et au développement industriel.

VII.4.1. Les forages

Selon le rapport de la DHW de d'Oum EL Bouaghi en 2009, le nombre total des forages recensés dans la plaine de F'kirina est de l'ordre de 36 forages.

Parmi les 36 forages recensés seulement 11 forages (nappe du mio-plio-quaternaire, calcaires de Mæstrichtien) sont exploités, tous les 4 forages de CM sont en service, et 20 forages de la nappe phréatique non exploités. Parmi ces 20 forages non exploités, 8 forages sont classés exploitables, ils sont généralement à l'arrêt, nouveaux forages, abandonnés,...etc. les 12 forages restés non récupérables qui nécessitent leur bouchage sont généralement des puits accidentés, mal réalisés, très anciens, à eau très salés,...etc.

Dans cette zone la nappe phréatique (Mio-plio-quaternaire) est exploitée par 10 forages, parmi ces forages seulement un forage est destiné pour irrigation, les autres sont destinés essentiellement pour l'alimentation en eau potable, Le débit est généralement faible, il ne dépasse pas le 10 l/s. La nappe des calcaires maestrichtien est moins exploitée seulement 4 forages le captent. Le débit fourni par forage est compris entre 12 et 30 l/s. Le volume soutiré est 6,2 hm³/an.

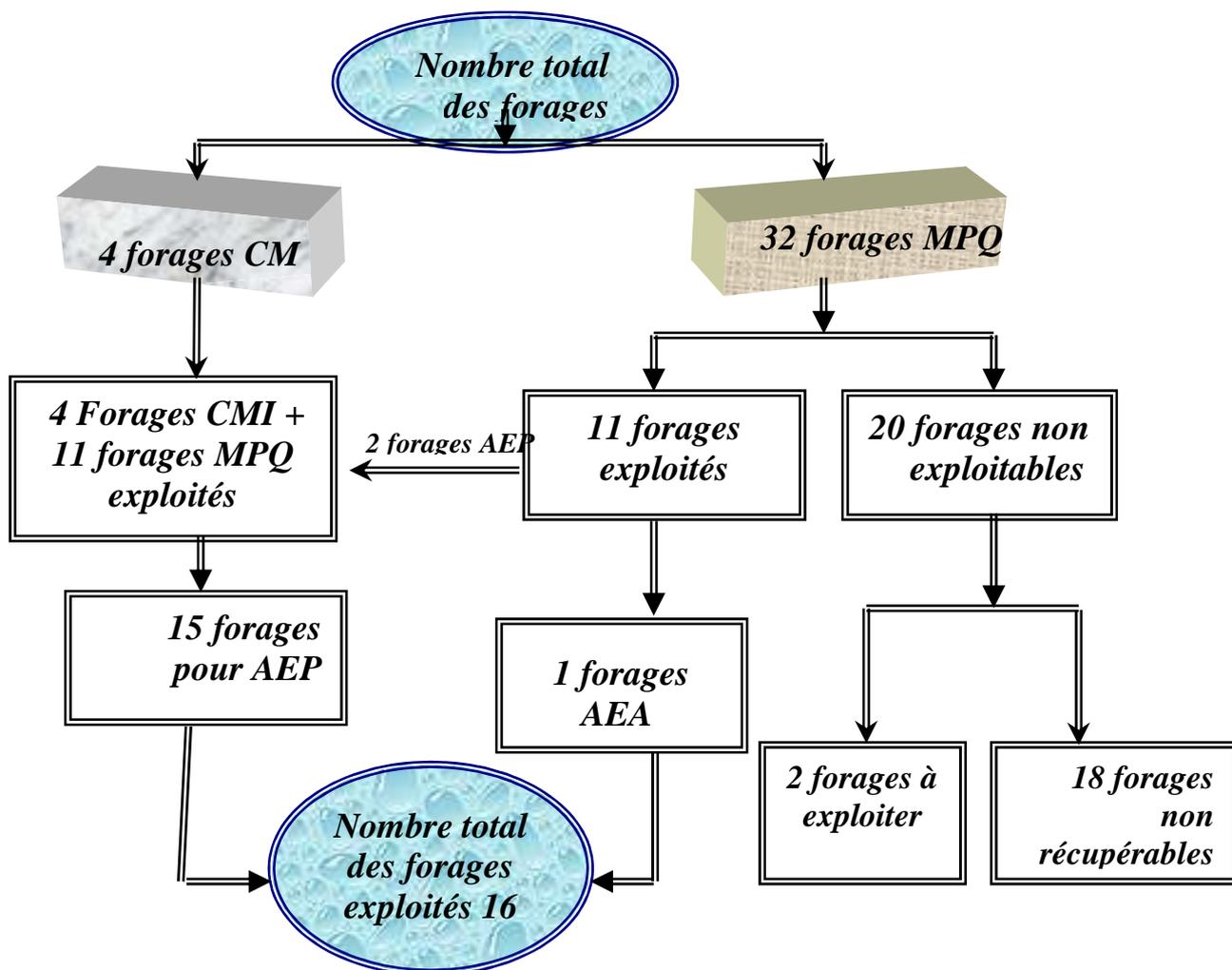


Figure. 50. Schéma récapitulatif des nombres de forages dans la plaine de F'kirina

VII.5. Le problème de l'épuisement de la nappe du mio- plio- quaternaire :

VII.5.1. Le bilan de la nappe phréatique de F'kirina :

VII.5.1.1. La recharge de la nappe : La nappe superficielles est alimentée par :

❖ **L'infiltration directe des eaux de pluie :**

Pour une superficie de l'ordre de 2430 km², et une quantité d'eaux infiltrée de l'ordre de 46,1 mm/an. Les recharges annuelles de la nappe superficielles est de 0,11 Hm³/an.

❖ **Les eaux dévalaient des massifs bordiers :**

(Djezia, Bardo, Boutekhma, Fedjidjet, et Koudiet El Mzara.) Cette alimentation est assurée par une perméabilité relativement bonne des calcaires des Maestrichtiens, sous forme d'un drainage latéral. Ceci est confirmé par les cartes piézométriques (fig. 42 et 43). Ou les isopièzes sont en disposition subparallèles aux massifs.

VII.5.1.2. La décharge de la nappe :

❖ **L'alimentation en eau :** le volume total annuel exploité de la nappe phréatique est de l'ordre de 15,79 Hm³, (8,06 Hm³ pour l'alimentation en eau agricole, et 7,75 Hm³ pour l'alimentation en eau potable).

❖ **Par drainage des eaux vers la sebkha :** c'est une décharge horizontale, on ne peut pas calculer le taux annuels exact

Le bilan de la nappe : est déficitaire, et un épuisement de la nappe est la conséquence de cette surexploitation.

VII.5.2. Variation de niveau piézométrique de la nappe :

D'après la figure on remarque que le niveau de la nappe change d'une année à une autre, et d'une période à l'autre.

On remarque aussi que les grandes variations sont observées dans la partie Nord Est de la plaine (p13, p14, et p10).

Tableau n° 14 : Variation du niveau piézométrique :

NP puits	Juin 2005	Oct 2005	Juin 2006	Oct 2006	Juin2007	Nov 2007
P1	17,8	17,3	16,2	17,2	16,9	17,4
P3	13,7	14,1	11,2	13	13,4	14
P4	8,2	9,9	8	10	6,9	8,7
P6	12,2	12,9	11,5	11,5	11,5	11,2
P7	7,8	11,4	8,4	9,3	9,1	9,2
P10	19,3	19,2	18,5	17,6	19	11,7
P11	8,5	7,1	7,8	11,4	11,8	8,1
P13	6	8,5	6,3	7,7	6,3	0,8
P14	4,2	5,4	5,2	6,2	8,7	4,7
P16	7,5	11,2	7	5,4	9,6	14,2

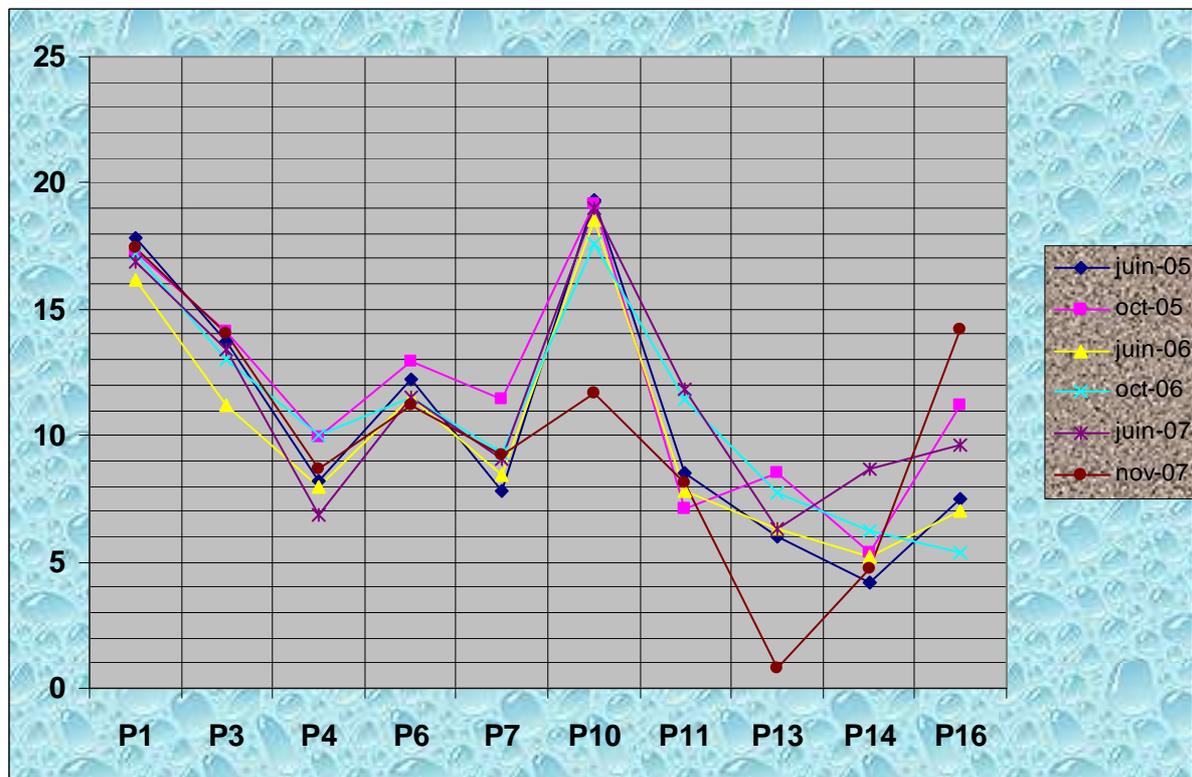


Fig.51. Variation de niveau piézométrique de la nappe phréatique

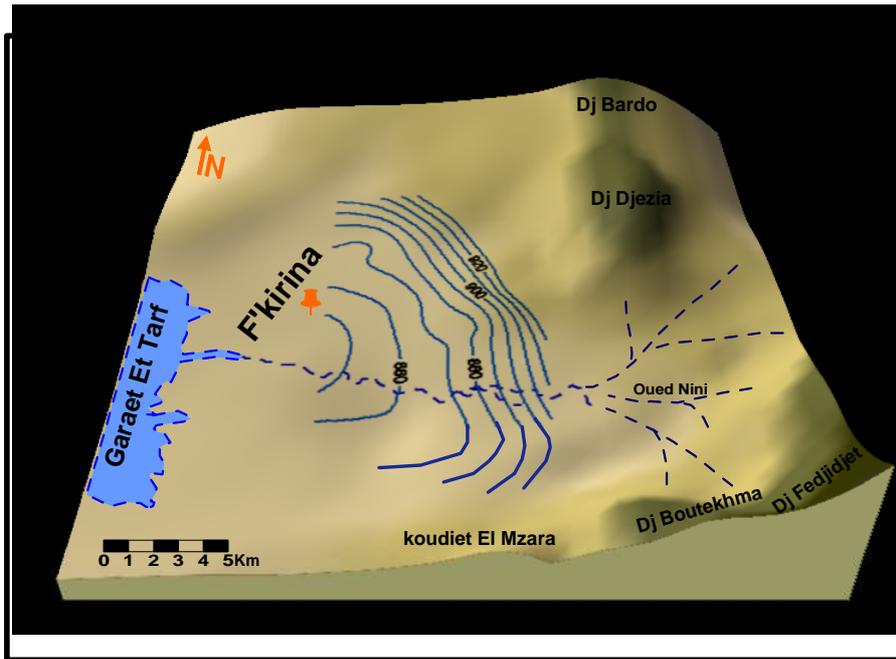


Fig.52.Niveau de la nappe en juin 1987

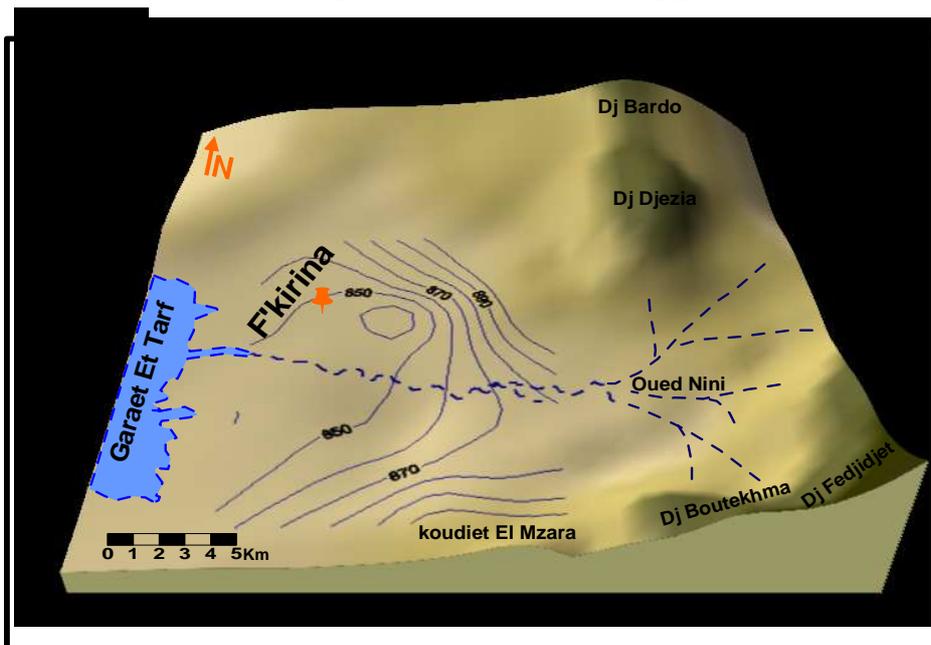


Fig.53.Niveau de la nappe en juin 2007

La comparaison des deux cartes confirme l'existence d'un épuisement de la nappe.

La carte piezométriques 2007 montre une apparition d'un dôme de dépression, due à la surexploitation de la nappe.

La partie centrale et la partie Ouest sont les régions les plus épuisées de la plaine.

Dans les régions les plus proche des calcaires de Maestrichtien l'abaissement du niveau est faible, se qui est explique que la nappe karstique alimente la nappe phréatique.

Conclusion Générale

et recommandations

La plaine de F'kirina se trouve dans le territoire de la wilaya de Oum El Bouaghi. Notre zone d'étude occupe une superficie de 650 km². administrativement elle représente les communes de F'kirina, et Oued Nini.

La région d'étude est à limite des Hautes plaines constantinoises se présente comme une cuvette synclinale.

Géologiquement la zone étudiée fait partie des domaines para autochtones nord-aurésien. Il met en évidence l'existence de trois structures d'importance hydrogéologique

- ❖ Un substratum marneux du Maestrichtien inférieur.
- ❖ Un ensemble appartenant au Crétacé et au Miocène caractérisé par des calcaires maestrichtiens
- ❖ Un bassin comblé d'une sédimentation hétérogène, notamment alluvionnaire, constitue le Quaternaire, avec une épaisseur de dizaines de mètres

Le climat de la région d'étude est de type semi aride. L'aridité ne se constate pas seulement en fonction du manque de pluies, mais aussi par une forte évaporation. La précipitation est de l'ordre de 407.14 mm. L'évapotranspiration réelle représente 81.80 % des précipitations soit 333.1 mm/an. La réserve facilement utilisée (RFU) n'est pleine que de décembre à mars et l'épuisement de 8 mois.

Deux saisons distinctes une peut pluvieuse froide allant du mois d'octobre jusqu'au mois de mai. L'autre sèche chaude du mois de juin jusqu'au mois de septembre.

La prospection par sondage électrique entreprise dans la région de F'kirina, a permis de mettre en évidence :

- Des niveaux de différentes résistivités et en particulier les horizons résistants superficiels et profonds, pouvant avoir un intérêt aquifère.

- Les zones très conductrices semblent sans intérêt aquifère, elles sont représentées par des marnes, les argiles et les eaux salées.

Les discontinuités électriques; peuvent être attribuées à des failles, elles peuvent jouer le rôle soit de limite étanche ou de zone d'alimentation entre les nappes, donc un échange d'eau entre les zones profondes et peu profondes seront possible

L'étude hydrochimique des eaux de la plaine de F'kirina, nous a permis de mettre en évidence plusieurs constatations:

D'après les résultats des analyses chimiques et leurs classifications, nous remarquons que les eaux de la plaine ont une minéralisation élevée. Cette minéralisation est due essentiellement à:

- L'influence du Garaet Et Tarf sur les eaux souterraines.
- Le lessivage des formations géologiques (argiles, roche carbonatée et les évaporites).

Les faibles valeurs de la minéralisation se localisent près des massifs calcaires, et les fortes valeurs sont observées dans la partie Nord Est et surtout près du Garaet.

D'après la classification de Stabler, on peut classer les eaux de la région en 3 familles :

- Famille bicarbonatée : représenté par 15 échantillons de l'ensemble de 40 puits.
- Famille sulfatée : représentée par 15 échantillons de l'ensemble des puits étudiés.
- Familles chlorurée : représentée par 10 échantillons.

D'une manière générale, la qualité des eaux de la nappe du plioquaternaire est moyennement potable malgré les fortes concentrations en bicarbonates ou en chlorures et en sulfates.

L'étude hydrogéologique montre que la plaine de F'kirina est occupée en surface par un matériau alluvionnaire hétérogène formé d'argile, gravier, et sable .dans la quasi-totalité de la plaine la perméabilité est faible, elle est de l'ordre de 10^{-5} m/s

Le substratum constituant l'assise imperméable, est représenté par des calcaires des Maestrichtien supérieur. Mais il existe une zone où ces calcaires sont érodés et remplacés par des marnes de Maestrichtien inférieur.

La nappe se rapproche de la surface au fur et à mesure que l'on se rapproche du Sebka.

La transmissivité reste relativement faible elle est de l'ordre de 10^{-3} m²/s. cette transmissivité est influencée par une perméabilité mauvaise.

L'analyse de la carte piézométrique montre que la direction principale de l'écoulement se fait globalement des affleurements calcaires vers la Sebka (Garaet Et Tarf) selon trois directions NE-SW, SE-NW et N-S.

Toutes les eaux de la nappe draine vers la Sebka qui constitue un exutoire naturel.

Les limites géologiques incarnées par les calcaires assurent l'alimentation en eau de la plaine.

Cette alimentation se fait latéralement et par déversement souterrain à partir des massifs bordiers

Concernant l'affectation des ressources en eau dans le bassin, la partie la plus importante des eaux mobilisées est destinée à la satisfaction des besoins agricoles avec un taux de 50,9 %. L'alimentation en eau potable tient une place prépondérante dans les prélèvements d'eau (47,1 %), par son vaste périmètre irrigué. L'industrie ne bénéficie que de 2 % des ressources mobilisées pour couvrir ses besoins en eaux

723 puits alimentent la région d'étude en eau agricole, avec un volume annuel est de l'ordre de 8,06 Hm³ par an, et le volume annuel pour l'AEP est de l'ordre de 7,75 Hm³ par an, donc on aura un volume total annuel exploité de la nappe phréatique est de l'ordre de 15,79 Hm³. La recharge annuelle de cette nappe par les eaux de pluies infiltrées est égale à : 0,11 Hm³/an. Le suivi du niveau de la nappe phréatique a montré une variation très importante de niveau piézométrique dans l'espace et dans le temps (d'une période à une autre, et d'une partie à une autre).

La partie centrale et la partie Ouest sont les régions les plus épuisées de la plaine. car la plaine dans cette partie les eaux sont surexploitées par beaucoup de forages et puits, en plus l'écoulement souterrain est très lente.

Dans les régions les plus proche des calcaires de Maestrichtien, l'abaissement du niveau est faible, se qui est explique que la nappe karstique alimente la nappe phréatique.

La tension sur la demande exercée concurremment par les secteurs de l'agriculture, et fortement encore par la population en constant accroissement sera de plus en plus forte, ainsi que par les différents types de pollutions menaçant le bassin, ont généré une très forte pression sur les ressources en eaux dans le bassin.

Dans ce contexte délicat, seule une nouvelle stratégie, consiste à intégrer la gestion de l'eau dans la politique économique et environnementale, susceptible de prévenir les impacts négatifs éventuels. Cette gestion intégrée des ressources en eau devrait être appréhendée en terme de maîtrise des instruments de régulation (tarification), d'optimisation de l'utilisation de la ressource par la mise en œuvre d'une gestion de la demande, de développement de la recherche scientifique dans le secteur de l'eau et entreprendre de vastes programmes d'informations et de sensibilisations des usagers à l'économie de l'eau.

Cependant, des efforts restent à faire dans le domaine de la protection quantitative et qualitative des ces ressources en eau, les recommandations suivantes sont proposer pour affronter les défis de l'eau qui se présentent pour l'avenir dans la plaine de F'kirina:

- Maintenir et renforcer les efforts de mobilisation de l'eau par la construction des ouvrages de captages (retenues, forages, etc.) et la préservation des infrastructures hydrauliques déjà existants.
- Mettre en place les conditions institutionnelles et les outils nécessaires pour une gestion intégrée des ressources en eau.
- Développer la connaissance dans le domaine de la prévision hydrométéorologique, de suivi et de contrôle des ressources en eau.
- L'amélioration du réseau d'observation hydrométrique par l'implantation des stations de jaugeage et des stations pluviométriques.
- Le suivi systématique de la piézométrie permet d'avoir une convergence numérique des ressources en eau souterraines disponibles.
- Eviter le déversement direct des rejets urbains et industriels dans l'oued Nini est ses affluents sans traitement préalable.
- Installation de stations d'épuration pour le traitement des eaux usées urbaines et industrielles.
- Proposition des périmètres de protection autour des sources potentielles d'approvisionnement en eau.
- Il est judicieux d'arrêter tout pompage dans la partie Ouest de la plaine, et de suspendre toute irrigation à fin de juguler tout d'abord l'épuisement de la nappe, et l'invasion des eaux salées du Sebkh.
- pour pallier le problème de l'alimentation en eau surtout potable dans la région, il est souhaitable d'implanter les futures forages dans le secteur Est de la région d'étude près des affleurements calcaires, Ou par l'exploitation de la nappe des calcaires Maestrichtien, donc il faut une étude géophysique poussée.

La réalisation des essais de pompage pour mieux connaître les paramètres hydrodynamiques de la nappe du mio-plio-quatenaire.

Références bibliographiques

AMROUNE.A (2008) : hydrogéologie et qualité des eaux souterraines de la plaine de M'sila. Mémoire de magister. Université de Batna (131P).

ASKASSAY K, NAJIB K : L'eau et la société dans un milieu rural aride. De l'analyse vers la modélisation d'un système fragile et complexe Le cas du bassin versant du Souss au Sud-ouest du Maroc. Doctorantes au laboratoire THEMA UMR 6049 CNRS Université de Franche-Comté

ANRH. (1972-1973) : Annuaire pluviométrique de l'Algérie.

BANQUE AFRICAINE DE DEVELOPPEMENT (2000) : Politique de gestion intégrée des ressources en eau (94).

BELHADJ.M (2006) : évolution de la pollution du barrage de Zit emba wilaya de Skikda Mémoire de magister. Université de Batna. (93 P).

BELKACEM. HOUHA. (1996) : Quantité et Qualité des eaux souterraine de la région de Khenchela (Garaet Tarf). Mémoire de magister. Université d'Annaba. (110 P)

BENMOUSSA.M ; FERDI A. (1999) : contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de F'kirina (Sud Oum Bouaghi). Mémoire d'ingénieur. Université de constantine. (113 P).

BEN SASSI S, LAREQUAD : Vers une optimisation de la gestion intégrée en temps réel des ressources hydriques (laboratoire de recherche en économie quantitative de développement)-Tunis, Tunisie-

BZIOUI. B (2005) : Rapport sous régionale sur la mise en valeur des ressources en eau en Afrique du Nord (88).

FENAZI. B (2008) : Hydrogéologie, vulnérabilité et gestion des eaux du bassin versant d'Oued Djendjen. Mémoire de magister. Université d'Annaba. (148 P).

GHODBANE MESSAOUD (2009) : Eude de la contamination des eaux souterraines de la zone nord de Chemora par les nitrates. Mémoire de Magister en Hydraulique. Université de Batna.(148p).

GUETTICHE. S, BENABDSADOK. D (2006) : Contribution à l'étude de la possibilité d'utilisation des eaux de la nappe phréatique pour l'irrigation dans la région d'Oued Righ. Mémoire d'ingénieur. Université de Constantine. (135 P).

HABAIEB.H, ALBERGEL.L : Vers une gestion optimale des ressources en eau de la Tunisie. Mission IRD de Tunis. Institut National Agronomique de Tunisie (8 P).

KETTAB.A (2000) : les ressources en eau en Algérie, stratégie et vision. Ecole Nationale Polytechnique ENP (9 P).

KHECHANA. S (2007) : étude de la gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued Souf. Mémoire de magister. Université d'Annaba. (130 P).

KHELFAOUI. F (2008) : Ressources en eau et gestion intégrée dans le bassin de Saf-Saf. Mémoire de magister. Université d'Annaba (127 P).

LESSARD.L : Etude géologique et hydrogéologique des hautes plaines constantinoises. 1958.

MECIBAH.I (2008) : Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant d'Oued Guebli. Mémoire de magister. Université d'Annaba. (209 P).

MEDJANI. F (2007) : Ressources en eau, vulnérabilité et développement durable dans la plaine de Skikda Mémoire de magister. Université d'Annaba. (88 P).

RAMDANI. Y (1987) : Etude hydrogéologique de la plaine de F'kirina. Mémoire d'ingénieur. Université d'Annaba. (112P)

SAADALIB (2007) : étude de la qualité des eaux des ressources issues du massif dunaire de Bouteldja. Mémoire de magister. Université d'Annaba. (82 P).

SAYAH LAMBARAK. M (2008) : étude hydraulique du canal d'Oued Righ et détermination des caractéristiques hydrauliques. Mémoire de magister. Université de Ouargla (82P).

forage	x	y	z
J40	920,8	276,4	861
G 55	921,95	265,95	886
K 44	922,25	277,85	901
F55	919,75	263,75	870
ZMI	917,65	273,2	855
I 38	918,15	276,55	874
I 40 BIS	919,4	274,9	870
H 47	921,65	268,28	875
E 41	918	261,146	905
J 42 BIS	921,2	275,45	884
GET	912,45	270,7	850
J49	924,75	270,7	890
f45	915	270,9	854
G 45	915,8	273	850
H40	917,35	274,7	855
J 35	917,35	280,85	882
IJ34	916,5	280,75	880
L 61	929,75	270,65	915
L55	927	274,9	934
OL2	927,9	283	1033
A5	938,5	276,5	960
OL3	926,2	288,65	1040
OL1	928	283,5	1040
O45	937	271,5	930
L31	917,83	287,54	908
F12	912	291,5	920
K30	913,8	289,2	932
N28	920	291,43	945
M20	915	295	932
I25	910	287	916
K48	917,85	268,65	813

Coordonnée des forages de la région de F'kirina

Numero Echantillon	X Lamber.	Y Lamber.	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	CL ⁻	NO ₃ ⁻	MINER.	CA ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	D.H.T.	D.H.T.
			Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	meq/l
1	911,937	280,639	207	540	245	83	1364	170	90	154	2,0	16,0	80,00
2	914,762	282,591	122	588	170	79	1240	176	82	112	4,0	15,60	78,00
3	919,458	280,593	122	348	85	40	682	93	52	58	1,0	9,00	45,00
4	916,472	280,451	122	232	75	43	558	72	41	53	1,0	7,00	35,00
5	921,314	281,761	207	220	45	3	558	70	52	44	1,0	7,80	39,00
6	920,761	284,912	183	490	165	2	1054	154	61	110	2,0	12,80	64,00
7	921,685	279,250	201	919	445	134	2232	380	74	276	20,0	25,20	126,00
8	917,904	282,617	159	380	225	84	1054	154	47	150	2,0	11,60	58,00
9	914,751	261,957	244	58	25	45	372	74	20	14	1,0	5,40	27,00
10	911,062	268,107	256	118	140	14	682	88	46	75	2,0	8,20	41,00
11	914,220	264,153	244	58	35	37	372	76	14	30	1,0	5,00	25,00
12	913,170	273,634	244	608	475	28	1736	288	72	220	1,0	20,40	102,00
13	914,107	277,811	244	660	125	28	1302	188	98	68	2,0	17,60	88,00
14	914,782	270,934	415	2660	1100	54	5704	720	427	680	10,0	71,60	358,00
15	924,874	273,111	232	38	70	28	434	60	36	30	1,0	6,00	30,00
16	917,861	269,198	262	178	85	0	620	84	46	45	1,0	8,00	40,00
17	920,277	266,043	134	168	85	0	496	86	28	42	1,0	6,60	33,00
H47	921,409	268,195	244	66	180	23	620	78	37	68	1,0	7,00	35,00
19	924,172	264,163	354	72	75	0	558	100	22	64	1,0	6,80	34,00
20	926,697	268,154	415	124	150	38	930	132	62	78	1,0	11,80	59,00
21	930,887	268,036	256	38	35	9	372	52	31	26	1,0	5,20	26,00

Les résultats des analyses chimiques des eaux de F'kirina

Nature	X (lamb)	Y (lamb)	Z (m)	Jun-05	Oct-05	Jun-06	Oct-06	juin-07	nov-07
F1	915,9	263,4	866,531	861,98	859,47	857,63	854,65		855,08
P1	924,85	273,1	908,507	890,68	891,23	892,33	891,31	891,59	891,16
P2	918,5	267,275	864,039	852,06	849,89	852,84	852,46	852,82	852,44
P3	920,275	266,05	876,32	862,5	862,2	865,12	863,36	862,87	862,27
F2	924,175	264,15	918,187	887,17	889,03	886,27	883,39	879,19	881,18
P4	915,25	269,95	853,395	845,2	843,52	845,38	843,35		844,65
P5	926,85	271,15	898,739	890,48	891,44	891,46	891,39	891,64	892,04
P6	920,05	271,35	864,697	852,49	851,84	853,22	853,21	853,2	853,45
P7	916,2	273,2	856,387	848,58	844,99	847,97	847,09	847,24	847,19
P8	920,65	263,15	896,769	890,47	890,6	892,22	871,17	888,49	884,89
P9	925,15	267,175	896,471	883,92	884,08	884,36	883,63		
P10	919,525	277,95	887,559	868,19	868,36	869,06	869,89	868,56	875,84
P11	918,25	261,35	897,769	889,29	890,6	889,92	888,39	885,89	889,67
P12	921,75	281,7	924,67	914,25		913,11	913,65	913,02	918,22
P13	914	281,35	869,327	863,31	860,83	863,03	861,62	863,07	
P14	914,1	277,8	861,655	857,41	856,21	856,41	855,45	852,91	856,81
P15	914,775	270,95	851,749	845,85	846,13	843,23	844,05	845,83	841,75
P16	914,2	268,1	854,728	847,23	843,53	847,73	849,33	845,13	840,55

Variation du niveau piezometrique

	Sep	oct	nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	La somme
1987	12,5	60,9	127,8	21	5,7	25,9	32,4	29,2	15,4	4,5	17,5	23,4	376,2
1988	66,1	21,6	15,1	21,8	26,2	20,5	12,2	12,7	19,5	15,3	8,7	7,2	246,9
1989	12,7	15,6	17,6	16,5	6,3	37,1	16,5	27	21,1	72,2	8;8	54,8	306,2
1990	55,6	18,7	88,4	49,1	25,3	29	76,4	54,1	16	26,8	6	5	450,4
1991	26,2	75,9	28,6	15,1	41,6	66,2	88,2	61,2	82,9	3,4	50,2	15,1	554,6
1992	9,6	38,1	27,9	123,2	11,4	42,4	16	7,2	41,5	3,1	0,9	13,5	27,9
1994	11,3	40,6	12,3	63,8	42,9	33,1	15,4	20,1	9,9	0,6	0,5	0	250,5
1995	138,3	79,8	23,2	21,3	72	121,7	64,9	36,2	48	28,8	21,4	20,8	
1996	27,4	3,3	5,4	23,7	30	6,3	23,8	19,9	8	40	5,1	25,3	218,2
1997	100,3	54,8	71,8	55	5,1	25,9	32,4	67,4	27,6	27,2	1,1	24,2	492,8
1998	53,5	42,4	53,3	21,1	74,3	14,6	45,4	10,9	34,1	19,2	28,8	18,4	416
1999	65,9	15,3	47,1	53,7	6,4	0	10,8	8	68,2	46,2	0	15,2	336,8
2000	89,1	40,5	12,4	24,2	52,4	17,9	12,5	18,9	64,7	0	1,6	15,3	349,5
2001	65,7	41	49,8	12,5	6,3	19,3	5,6	25,5	41,9	11,6	46,2	83,4	408,8
2002	26,6	25,6	64,4	46,4	184,6	59,3	30,1	90,1	34,8	26	0	6,2	594,1
2003	45,6	90,1	26,8	72,4	30,6	5	44,4	25,8	145,2	56	10,9	37,7	590,5
2004	10,4	8,4	127	138,7	19,1	48,5	15,4	46,8	22,6	28,8	5,8	10	481,5
2005	35,4	16,2	21,6	44,4	81,3	26,7	12,5	33	78,2	8,1	17,9	24,7	400
2006	10,9	24,9	15,9	47,8	9	14,8	104,7	30,6	32,8	8,5	0	2,5	302,4
2007	46,7	34,6	15,4	41,2	10,6	11,4	43,2	17,2	73,3	30	15,6	14,5	353,7
	45,4263	37,415	42,59	45,645	37,055	31,28	35,14	32,09	44,285	22,815	12,5368	20,86	

données pluviométrique moyenne mensuelle station d'Ain el Beida 1987-2007

	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Septembre	26,2	22	23,1	21,5	20,4	20,2	21,5	22,3	30,6	21,35	21,58	23,81	23,62	21,02	22,12	21,95	22,7	22	22,64	22,74	20,9
octobre	15,8	16,1	17,4	13,9	12,1	14,1	16,3	18,5	17,7	16,09	16,78	15,23	19,9	15,3	21,7	18,9	20	21,3	19,25	21,56	16,1
novembre	10,1	10,1	14,8	11,3	10,2	9,4	11,2	12,3	12,5	12,51	11,32	10,45	10,52	12,23	11,82	12	10,1	9,6	12,74	13,24	9,7
Décembre	8,1	7,5	12	9,5	7,9	6,2	10,6	8,8	9	9,66	8,3	5,99	7,28	7,4	6,8	8,8	9	4,8	6,67	9	5,7
Janvier	6,1	6,3	6,4	6,9	6,6	6,6	5,8	6,7	8,1	9,2	7,8	6,99	5,19	6,2	7,6	6,4	7	6,4	4,64	9,3	8,1
Février	5,9	4,4	7,7	12,8	9,4	6,7	6,1	5,7	6,9	9,64	8,33	5,95	8,84	5,9	9,9	6,2	10,3	9	6,13	9,3	8,8
Mars	9,3	6	13,2	11,9	14,5	7,9	7	7,7	9	10,19	9,85	10,77	12,25	15,2	14,5	10,4	12,3	11,3	12,33	11,2	8,7
Avril	13,7	11,8	14,6	13,5	17,6	13,3	14	15,4	14,8	13,46	15,13	14,72	16,16	12,97	15,3	15,4	13,4	14,3	17,94	14,1	12,8
Mai	16,8	17	17,9	10,3	23,7	16,3	16,2	18,8	19,5	22,98	17,69	32,2	22,47	20,3	19,7	19,3	16,5	21,3	22,33	18,8	17,9
Juin	23,2	20,8	23	25,5	24,2	25,3	23,3	25	26,8	28,48	26,07	26,72	23,25	23,9	23,13	25,4	23,1	25	26,5	25,7	24,7
Juillet	26,6	25,2	26,3	25,9	26	25,7	25	27,8	29,6	28,43	28,19	28,38	29,06	27,7	25,4	30,8	26,8	30,1	28,4	29,9	26,4
Aout	26,5	26,5	28,2	23,7	15,33	26,6	26,4	27,5	29,1	27,23	27,12	30,48	26,6	26,9	25,6	29,1	28,4	28,1	26,73	27,9	26,5

Températures moyennes annuelles de la station d'Ain Beida (1987-2007)