

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة
ANNEE 2019

Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie

Thèse

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de *Doctorat en sciences*
Option
Hydrogéologie

Par

Kahal Amina

(Ingénieur d'Etat en hydrogéologie. Magister en hydrogéologie. M.A.A à l'ENSET-Skikda)

*Hydrogéologie de l'aquifère dans la plaine de
F'Kirina (Oum El-Bouaghi, Nord-Est Algérien)
et Evaluation des ressources en eaux
mobilisables.*

DEVANT LE JURY

PRESIDENT :	Pr. Khanchoul Kamel.	Université d'Annaba.
PROMOTEURS :	Pr. Saaidia Bachir.	Université d'Annaba.
	Pr. Chaab Salah.	Université d'Annaba.
EXAMINATEURS :	Dr. Ghrieb Lassaad.	Université de Guelma.
	Pr. Maoui Amar	Université de Guelma.
	Pr. Laabar Sofiane.	Université d'Et-Taref.

Résumé:

La plaine de F'Kirina est située au Nord Est de l'Algérie où les eaux souterraines constituent la principale ressource pour l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation. L'objectif de cette étude est de déterminer les caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques des eaux souterraines. Des mesures du niveau piézométrique et des prélèvements des eaux des forages et des puits ont été effectuées. L'étude hydrogéologique a montré l'existence de deux nappes aquifères superposées, la nappe superficielle du Mio-Plio-Quaternaire composée d'alluvions recouvrant toute la plaine et la nappe profonde des calcaires du Maestrichtien Supérieur. L'examen des analyses physico-chimiques par le diagramme de Piper, l'ACP ainsi que l'analyse hiérarchique ascendante a déterminé un degré de minéralisation élevé. Les faciès chimiques dominants selon la nature géologique des formations présentes dans la région sont le sulfaté calcique, le bicarbonaté calcique et le chloruré calcique.

Mots-clés : F'Kirina, aquifère, minéralisation, ACP, HCA.

Abstract:

The F'Kirina plain is located northeast of Algeria; its groundwater constitutes the main resource for potable water supply and irrigation. The aquifer lithology is constituted by alluvia and Maestrichtian limestone. The aim of this study is to determine the hydrogeological characteristics of this aquifer and hydrochemical quality of its groundwater. For this purpose samples from wells and dug were collected. The physicochemical analyses using Piper diagram, PCA, as well as hierarchical ascendant classification analysis determined a high mineralization concentration. The dominant chemical facies according to the nature of geological formations in the region are calcium-sulfate, calcium-bicarbonate and calcium-chloride.

Key words: F'Kirina, aquifer, mineralization, PCA, AHC.

ملخص:

يقع سهل مدينة فكيرينة في الشمال الشرقي للجزائر، تمثل مياهه الجوفية المصدر الرئيسي للتزود بالمياه الصالحة للشرب و المستعملة في السقي.

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد الخصائص الهيدروجيولوجية لطبقته المائية و الخصائص الكيميائية لمياهه الجوفية. من اجل هذا قمنا بقياس مستويات هذه المياه و استخراج عينات مياه من آبار و أنقاب هذا السهل و تحليلها كيميائيا. الدراسة الهيدروجيولوجية مكنت من تمييز نوعين من الطبقات المائية الأولى سطحية ميو- بليو- رابعة تغطي كل السهل و الثانية عميقة تتكون من الكلس المايستريشني. إن دراسة و تحليل هذه العينات باستخدام برامج Piper , ACP و HCA مكنتنا من تحديد قيم عالية جدا للملوحة مما أعطى لهذه المياه طابعا إما كلسيا- كبريتيا أو كلسيا- بيكاربوناتيا أو كلسيا- ملحيا. المصدر الرئيسي لهذه الملوحة هو التلوث عن طريق احتكاك الماء بالصخور الجيولوجية الموجودة.

الكلمات المفتاحية: سهل فكيرينة ، الطبقة المائية، الملوحة، ACP, HCA.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude avant tout à "Allah Taàla" le tout puissant qui m'a aidé et donné le courage pour mener à bien ce modeste travail.

Ma gratitude et mes vifs remerciements vont directement à mes directeurs de la thèse Mr. Saaidia Bachir et Mr. Chaab Salah d'avoir encadré et suivi mon travail avec leurs conseils. Et à Mr. Sayad Lamine de m'avoir aidé à faire mon article et à Mr. Chaffai Hicham qui m'a facilité l'attache ce qui m'a permis de mener à bien ce travail.

Je remercie tout particulièrement messieurs les membres de Jury d'avoir accepter d'examiner ce modeste travail.

Mes remerciements vont à tous les enseignants du département de géologie de l'université d'Annaba. Je tiens tout spécialement à remercier Mr. Mahia Mohamed et Mr. Beloulou Laroussi pour leurs conseils précieux et Mme. Khader Djamila, ingénieur au laboratoire de géologie pour son aide.

Toute ma gratitude va à Mr. Ferdi Abd-Elhak, Ingénieur en hydrogéologie pour ses conseils et son immense aide.

Mes remerciements vont aussi au responsable ainsi que tous les travailleurs de l'A.N.R.H. de Constantine.

Une dette de gratitude est soumise aussi sous mes taches Mr. Zaabab Hocine le chef service de la D.H.W. d'Oum El-Bouaghi, et surtout à Mr. Mammeri Hichem du service forages et puits et Mr. Chahed Yacine du service gestion des ressources en eau pour leur immense aide.

Je tiens également à remercier le chef service de la subdivision d'hydraulique de F'Kirina Mr. Boukermine Djemouai et M^{elle} Allouit Naouel de m'avoir accompagné sur terrain pour faire l'échantonnage, Et Mme. Aberkane Asma pour son aide.

Enfin, je tiens à remercier tous les amis et les collègues qui m'on aidé et encouragé pour réaliser ce mémoire, je cite spécialement Mme. Boumaaza Naziha.

C'est très difficile de citer tous les collaborateurs et je risquerai d'oublier quelqu'un qu'il soit fortement remercié.

Liste des Figures

Fig. 01: Carte de la situation géographique du sous bassin versant de Gareat Et-Tarf (2019).	2
Fig. 02: Carte de situation montrant les limites naturelles de la plaine de F’Kirina (2019).	3
Fig. 03: Carte de la situation administrative de la région de F’Kirina.	3
Fig. 04: Carte du réseau hydrographique de la région d’étude (2019).	4
Fig. 05: Carte géologique simplifiée montrant les différentes formes structurales de la région d’étude.	13
Fig. 06: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station d’Ain Beida (1994/1995-2013/2014).	16
Fig. 07: Histogramme des précipitations saisonnières à la station d’Ain Beida (1994/1995-2013/2014).	17
Fig. 08: Variation des précipitations annuelles à la Station d’Ain Beida (1994/1995- 2013/2014).	18
Fig. 09: Variation des températures moyennes mensuelles de la station d’Ain Beida (1994/1995-2013/2014).	19
Fig. 10: Diagramme ombrothermique de la station d’Ain Beida (1994/1995-2013/2014).	20
Fig. 11: Représentation graphique du bilan de C. W. Thornthwaite à la station d’Ain Beida (1994/1995-2013/2014).	25
Fig. 12: Carte de situation des zones de l’étude géophysique dans la plaine de F’Kirina (C.G.G., 1976).	27
Fig. 13: Carte de position des sondages électriques dans la plaine de F’Kirina d’après la C.G.G. (A.N.R.H., 2003).	28
Fig. 14: Coupe géoélectrique suivant le profil « H » (C.G.G., 1976).	29
Fig. 15: Coupe géoélectrique suivant le profil « I » (C.G.G., 1976).	30
Fig. 16: Carte de résistivités apparentes AB = 400 mètres (C.G.G., 1976).	31
Fig. 17: Carte de résistivités apparentes AB = 3000 mètres (C.G.G., 1976).	31
Fig. 18: Carte structurale d’après la géophysique de la plaine de F’Kirina.	32

Fig. 19: Carte de situation de quelques forages mécaniques réalisés par la C.G.G., 1976. (2019).	35
Fig. 20: Carte du toit de substratum de la plaine de F’Kirina (A.N.R.H., 2003).	36
Fig. 21: Coupe hydrogéologique suivant le tracé (L61-F45) dans la plaine de F’Kirina.	42
Fig. 22: Coupe hydrogéologique suivant le tracé (OL1-GET) dans la plaine de F’Kirina.	43
Fig. 23: Carte d’inventaire des points d’eau dans la zone d’étude.	45
Fig. 24: Carte piézométrique des hautes eaux (Mai 2016).	47
Fig. 25: Carte piézométrique des basses eaux (Novembre 2016).	48
Fig. 26: Carte piézométrique des basses eaux (Octobre 2003).	49
Fig. 27: Carte piézométrique des hautes eaux (Juin 2004).	50
Fig. 28: Carte piézométrique des basses eaux (Octobre 2004).	51
Fig. 29: Carte piézométrique des hautes eaux (Juin 2005).	52
Fig. 30: Carte piézométrique des basses eaux (Octobre 2005).	53
Fig. 31: Carte piézométrique des hautes eaux (Juin 2006).	54
Fig. 32: Carte piézométrique des basses eaux (Novembre 2006).	55
Fig. 33: Carte piézométrique des basses eaux (Novembre 2007).	56
Fig. 34: Carte piézométrique des hautes eaux (Juin 2010).	57
Fig. 35: Carte piézométrique des basses eaux (Octobre 2010).	58
Fig. 36: Carte piézométrique des hautes eaux (Mai 2016).	59
Fig. 37: Carte de situation géographique du forage « H47 ».	62
Fig. 38: Courbe de descente du forage « H47 ».	64
Fig. 39: Courbe de remontée du forage « H47 ».	64
Fig. 40: Carte d’échantillonnage (Novembre 2016) montrant la position des points de prélèvements d’eau dans la zone d’étude.	66
Fig. 41: Carte de la distribution de la minéralisation dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).	70
Fig. 42: Carte de la distribution du calcium dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).	71
Fig. 43: Carte de la distribution du magnésium dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).	72
Fig. 44: Carte de la distribution du sodium dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).	73

Fig. 45: Carte de la distribution du potassium dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).	74
Fig. 46: Carte de la distribution des chlorures dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).	75
Fig. 47: Carte de la distribution des sulfates dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).	77
Fig. 48: Carte de la distribution des bicarbonates dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).	78
Fig. 49: Carte de la distribution des nitrates dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).	88
Fig. 50: Carte de faciès chimiques (Basses eaux, Novembre 2016).	83
Fig. 51: Diagramme de Piper (Basses eaux, Novembre 2016).	84
Fig. 52: Projection des variables sur le plan des facteurs (1x2).	86
Fig. 53.A: Dendrogramme de la classification hiérarchique des éléments chimiques.	86
Fig. 53.B: Dendrogramme de la classification hiérarchique des points d'eau de l'aquifère de F'Kirina.	87
Fig. 54: Schémas récapitulatif des forages dans la région d'étude.	89
Fig. 55: Taux de mobilisation des ressources en eaux souterraines dans la plaine de F'Kirina.	91
Fig. 56: Taux de ressources en eaux souterraines mobilisées dans la plaine de F'Kirina.	91
Fig. 57: Affectation des ressources en eau souterraine dans la plaine de F'Kirina.	92
Fig. 58: Production de l'eau potable dans la plaine de F'Kirina.	92
Fig. 59: Besoins et dotations en eau potable dans la plaine de F'Kirina.	93

Liste des Tableaux

Tableau N°01: Coordonnées géographiques de la station de mesures et période d'observation.	15
Tableau N° 02: Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).	16
Tableau N° 03: Répartition saisonnière des précipitations à la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).	16
Tableau N° 04: Précipitations annuelles et coefficients pluviométriques à la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014)	18
Tableau N° 05: Températures moyennes mensuelles en (°C) à la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).	19
Tableau N° 06: Résultats de l'ETP obtenus par la formule de « C.W.Thornthwaite » à la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014)	22
Tableau N° 07: Résultats de l'ETR obtenus par la formule de « Turc » (1994/1995-2013/2014)	23
Tableau N° 08: Résultats de l'ETR obtenus par les différentes méthodes d'estimation à la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).	23
Tableau N° 9: Résultats du ruissellement par la formule de «Tixeront Berkaloff» pour la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).	24
Tableau N° 10: Estimation de l'infiltration par l'équation fondamentale du bilan hydrique.	24
Tableau N° 11: Bilan de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).	25
Tableau N° 12: Caractéristiques lithologiques et géoélectriques du forage « G50 ».	34
Tableau N° 13: Caractéristiques lithologiques et géoélectriques du forage « B12 ».	37
Tableau N° 14: Caractéristiques lithologiques et géoélectriques du forage « H52 ».	37
Tableau N° 15: Caractéristiques lithologiques et géoélectriques du forage « G55 ».	38
Tableau N° 16: Caractéristiques lithologiques et géoélectriques du forage « I40 ».	38

Tableau N° 17: Caractéristiques lithologiques et géoélectriques du forage « I38 ».	38
Tableau N° 18: Les principaux aquifères Tertio- Quaternaire.	40
Tableau N° 19: Les principaux aquifères du Crétacé Supérieur (Maestrichtien).	41
Tableau N° 20 : Paramètres hydrodynamiques des nappes de la plaine de F’Kirina.	61
Tableau N° 21 : Classification des eaux souterraines selon la formule caractéristique de Stabler.	82
Tableau N° 22 : Matrice de corrélation entre les paramètres chimiques.	85
Tableau N° 23 : Forages abandonnés définitivement d’après la DHW d’Oum El-Bouaghi (2017).	89
Tableau N° 24 : Forages à l’arrêt d’après la DHW d’Oum El-Bouaghi (2017).	89
Tableau N° 25 : Nouveaux forages d’après la DHW d’Oum El-Bouaghi (2017).	90
Tableau N° 26 : Forages captant la nappe superficielle d’après la DHW d’Oum El-Bouaghi (2017).	90
Tableau N° 27 : Forages captant la nappe profonde d’après la DHW d’Oum El-Bouaghi (2017).	90
Tableau N° 28 : Etat des lieux du service public de l’eau potable dans la commune de F’Kirina d’après la DHW d’Oum El-Bouaghi (Novembre, 2017).	93

Liste des Abréviations et des Acronymes

- ☒ **ADE**: Algérienne des eaux.
- ☒ **ANRH**: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
- ☒ **ACP** : Analyse en Composante Principale.
- ☒ **AEA** : Alimentation en Eau pour l'Agriculture.
- ☒ **AEI** : Alimentation en eau pour l'Industrie.
- ☒ **AEP** : Alimentation en eau Potable.
- ☒ **AHC** : Classification hiérarchique ascendante.
- ☒ **APC** : Commune.
- ☒ **ABH_{CSM}**: Agence des Bassins Hydrographiques (Constantinois-Seybouse-Mellegue).
- ☒ **AD**: Année Déficitaire.
- ☒ **AE**: Année Excédentaire.
- ☒ **BE**: Basses eaux.
- ☒ **BI**: Balance Ionique.
- ☒ **CGG**: Compagnie Générale de la Géophysique.
- ☒ **CI** : Crétacé Inférieur.
- ☒ **CM** : Calcaire Maestrichtien.
- ☒ **CP**: Coefficient Pluviométriques.
- ☒ **CS** : Crétacé Supérieur.
- ☒ **DA**: Déficit Agricole.
- ☒ **DHW**: Direction de l'Hydraulique de la Wilaya.
- ☒ **Dj** : Djebel (montagne).
- ☒ **EDTA**: Acide éthylène-diamine-tétracétique.
- ☒ **ETP**: Evapotranspiration potentielle.
- ☒ **ETR**: Evapotranspiration réelle.
- ☒ **EX**: Excédent.
- ☒ **Exp**: Exemple.
- ☒ **Fig**: Figure.
- ☒ **h/J** : heure par jour.
- ☒ **ha**: hectare.

- ☞ **hab** : habitant.
- ☞ **HE**: Hautes eaux.
- ☞ **Km**: Kilomètre.
- ☞ **m**: mètre.
- ☞ **meq**: Milliéquivalent.
- ☞ **MPQ** : Mio-Plio-Quaternaire.
- ☞ **mg**: milligramme.
- ☞ **mm**: millimètre.
- ☞ **NE**: Nord-Est.
- ☞ **NP**: Niveau Piézométrique.
- ☞ **NW**: Nord-Ouest.
- ☞ **P**: Point d'eau.
- ☞ **Pge**: Page.
- ☞ **pH**: potentiel d'Hydrogène.
- ☞ **Pop** : population.
- ☞ **r**: quantité en réaction.
- ☞ **SE**: Sud-Est.
- ☞ **SE**: Sondage Electrique (dans le chapitre concernant la géophysique).
- ☞ **SSW-NNE**: Sud Sud Ouest -Nord Nord Est.
- ☞ **SW**: Sud-Ouest.
- ☞ **RFU**: Réserve Facilement Utilisable.
- ☞ **RT**: Résistance Transversale.
- ☞ **T**: Température.
- ☞ **Ωm**: Ohm. Mètre.
- ☞ **°C**: Degré Celsius.

Table des Matières

<i>Introduction générale</i>	1
------------------------------------	---

PARTIE I







Présentation de la zone d'étude:

CHAPITRE 1: Cadre physico-géographique et géomorphologique

1. Cadre physico-géographique	2
1-1. Situation géographique et administrative.....	2
1-2. Climat.....	4
1-3. Réseau hydrographique.....	4
1-4. Les potentialités économiques.....	5
1-4-1. Le secteur d'Agriculture.....	5
1-4-2. Le secteur de l'Industrie.....	5
2. Cadre géomorphologique	5
2-1. Le relief.....	5
2-2. La plaine.....	5
3. Conclusion	6

CHAPITRE 2: Contexte géologique

1. Introduction	7
2. Description lithostratigraphique des formations	7
2-1. Le secondaire	7
2-1-1. Le Trias.....	7
2-1-2. Le Crétacé.....	7
2-1-2-1. Le Crétacé inférieur ou basal	7
2-1-2-1-1. Berriasien à Hauterivien	8
2-1-2-1-2. Barrémien supérieur	8

2-1-2-1-3. L'aptien.....	8
a) L'Aptien inférieur.....	8
b) L'Aptien supérieur.....	8
2-1-2-2. Le Crétacé moyen.....	8
▀ L'Albien supérieur.....	8
2-1-2-3. Le Crétacé supérieur.....	8
2-1-2-3-1. Cénomanién supérieur	8
2-1-2-3-2. Le Turonien	8
2-1-2-3-3. Le Sénonien	8
2-1-2-3-3-1. Coniacien	9
2-1-2-3-3-2. Santonien	9
2-1-2-3-3-3. Campanien	9
2-1-2-3-3-4. Maestrichtien	9
c) Maestrichtien inférieur.....	9
d) Maestrichtien supérieur.....	9
2-2. Le Tertiaire.....	9
2-2-1. L'Eocène.....	10
2-2-2. Le Miocène.....	10
2-2-2-1. Le Miocène inférieur (basal).....	10
a) L'Aquitano-Burdigalien	10
b) Le Langhien-Serravalien	10
2-2-2-2. Le Miocène supérieur.....	10
a) Le Tortonien gréseux	10
b) Le Tortonien supérieur continental	10
2-3. Le Quaternaire.....	10
 Les éboulis à blocs	10
 Les alluvions actuelles ou récentes	11
 Les sols salés de Sebkha	11
 Les terres arables et les alluvions anciennes	11
 Les glacis polygéniques	11
 Les croutes calcaires	11
3. Les styles structuraux	11
4. Les dépressions et fosses d'effondrement	11
5. La tectonique	12
6. Conclusion.....	13

CHAPITRE 3: Cadre climatologique

1. Climatologie de la zone d'étude	15
1-1. Station de mesures.....	15
1-2. Facteurs climatiques.....	15
1-2-1. Précipitations.....	15
1-2-1-1. Précipitations moyennes mensuelles.....	15
1-2-1-2. Précipitations saisonnières.....	16
1-2-1-3. Précipitations annuelles.....	17
1-2-2. Températures.....	19
1-2-2-1. Températures moyennes mensuelles.....	19
1-2-2-2. Diagramme ombrothermique (pluiothermique).....	20
1-2-2-3. L'indice d'aridité de "De-Martonne".....	20
2. Bilan hydrique (ou de C.W. Thornthwaite)	21
2-1. Détermination des paramètres du bilan.....	21
2-1-1. Evapotranspiration.....	21
2-1-1-1. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	21
2-1-1-2. Evapotranspiration réelle (ETR).....	22
2-1-1-2-1. ETR selon la formule de "Turc".....	22
2-1-1-2-2. ETR selon la formule de " C.W.Thornthwaite ".....	23
2-1-2. Ruissellement (R).....	24
2-1-3. Infiltration (I).....	24
2-2. Représentation graphique du bilan de C.W.Thornthwaite.....	25
2-3. Interprétation du bilan de C.W.Thornthwaite.....	25
3. Conclusion	26

PARTIE II

Etude hydrogéologique et Evaluation des ressources en eaux mobilisables

CHAPITRE 4: Approche géophysique

1. Introduction-Problèmes posés	27
2. Résultats de la prospection électrique	28

2-1. Coupes géoélectriques.....	29
2-1-1. Coupe « H ».....	29
2-1-2. Coupe « I ».....	29
2-2. Cartes des résistivités apparentes	30
2-2-1. Cartes des résistivités apparentes AB = 400 mètres.....	30
2-2-2. Cartes des résistivités apparentes AB = 3000 mètres.....	30
2-3. Carte structurale d'après la géophysique.....	32
3. Géométrie de l'aquifère.....	32
3-1. Apport de forages mécaniques.....	33
3-2. Carte du toit de substratum.....	33
➤ Les blocs effondrés	33
➤ Les blocs surélevés	33
3-3. Essai de corrélation entre la géologie et la géophysique	34
3-3-1. Forage « G50 ».....	34
3-3-2. Forage « B12 ».....	36
3-3-3. Forage « H52 ».....	37
3-3-4. Forage « G55 ».....	37
3-3-5. Forage « I40 ».....	38
3-3-6. Forage « I38 ».....	38
3-4. Type des nappes aquifères de la plaine de F'Kirina	39
• La nappe du Mio-Plio-Quaternaire	39
• La nappe des calcaires du Maestrichtien Supérieur	39
3-5. Coupes hydrogéologiques.....	42
3-5-1. Coupe hydrogéologique suivant le tracé (L61-F45).....	42
3-5-2. Coupe hydrogéologique suivant le tracé (OL1-GET).....	44
3-6. Alimentation et décharge de la nappe.....	44
3-6-1. Alimentation de la nappe superficielle.....	44
3-6-2. Alimentation de l'aquifère carbonaté.....	44
3-6-3. Vidange de la nappe.....	44
4. Conclusion.....	44

CHAPITRE 5: L'étude hydrodynamique

1. Piézométrie.....	45
1-1. Inventaire des points d'eau.....	45
1-1-1. Carte piézométrique des hautes eaux (Mai 2016)	46
1-1-2. Carte piézométrique des basses eaux (Novembre 2016)	46

2. Evolution piézométrique.....	46
3. Caractéristiques hydrodynamiques des nappes	60
3-1. Définitions.....	60
3-1-1. Perméabilité	60
3-1-2. Transmissivité.....	60
3-1-3. Coefficient d’emmagasinement.....	60
3-2. Détermination des paramètres hydrodynamiques des nappes.....	60
3-2-1. Essai de pompage dans la plaine de F’Kirina et calcul des paramètres hydrodynamiques au niveau du forage « H47 ».....	61
3-2-1-1. Informations sur le forage « H47 »	61
3-2-1-2. Essai de pompage par palier sur le forage « H47 »	62
3-2-1-3. Calcul des paramètres hydrodynamiques de l’aquifère au niveau du forage « H47 ».....	63
3-2-1-3-1. Calcul de la transmissivité	63
3-2-1-3-1-1. Courbe de descente	63
3-2-1-3-1-2. Courbe de remontée	63
3-2-1-3-2. Calcul de la perméabilité	63
3-2-1-3-3. Calcul du coefficient d’emmagasinement	65
4. Conclusion.....	65

CHAPITRE 6: Cadre hydrochimique

1. Méthode et stratégie du travail.....	66
1-1. Echantillonnage.....	67
1-2. Mesures in-situ.....	67
1-3. Analyses physico-chimiques.....	67
2. Interprétation des résultats.....	67
2-1. Paramètres physiques.....	67
2-1-1. Température.....	67
2-1-2. Potentiel d'hydrogène (pH).....	68
2-1-3. Minéralisation globale.....	68
2-2. Paramètres chimiques.....	69
2-2-1. Cations.....	69
2-2-1-1. Le calcium (Ca^{++}).....	69
2-2-1-2. Le magnésium (Mg^{++}).....	71
2-2-1-3. Le sodium (Na^+).....	72

2-2-1-4. Le potassium (K^+).....	74
2-2-2. Anions.....	74
2-2-2-1. Les chlorures (Cl^-).....	75
2-2-2-2. Les sulfates (SO_4^{2-}).....	76
2-2-2-3. Les bicarbonates (HCO_3^-).....	77
2-2-2-4. Les nitrates (NO_3^-).....	79
3. Classification des eaux.....	79
3-1. Classification de Stabler (formule ionique)	79
3-1-1. Faciès chimique.....	81
3-2. Classification de Piper.....	84
4. Analyse statistique multivariable.....	85
4-1. Analyse en composantes principales (ACP).....	85
4-1-1. Matrice de corrélation.....	85
4-1-2. Analyse du Cercle des corrélations et projection des variables	85
4-2. Classification hiérarchique ascendante (AHC)	86
5. Conclusion.....	87

CHAPITRE 7: Evaluation des ressources en eaux mobilisables

1. Introduction.....	88
2. Diagnostique quantitatif des ressources en eau dans la plaine de F’Kirina	88
2-1. Les puits.....	88
2-2. Les forages.....	88
2-2-1. Forages captant les eaux de la nappe superficielle.....	90
2-2-2. Forages captant les eaux de la nappe profonde.....	90
3. Mobilisation des ressources en eaux dans la plaine de F’Kirina	91
4. Affectation des ressources en eaux de la plaine de F’Kirina	91
4-1. L’alimentation en eau potable (AEP).....	92
4-2. L’alimentation en eau pour l’agriculture (AEA).....	94
4-3. L’alimentation en pour l’industrie (AEI).....	94
5. Conclusion.....	94
Conclusion générale.....	96

Références bibliographiques.

Annexes.

Introduction générale:

La plaine de F'Kirina fait partie des hauts plateaux Constantinois situés au Nord-Est de l'Algérie et qui appartient lui-même au Nord de l'Afrique. Cette dernière est typiquement une région semi-aride où les ressources en eau sont rares et soumises à des pressions humaines croissantes et beaucoup sont menacées par l'augmentation de la salinité due à plusieurs causes telles que les rejets industriels, l'utilisation d'engrais chimiques en agriculture, l'intrusion marine dans les zones côtières, les paramètres climatiques, les échanges entre l'aquifère et les eaux de surface et la dissolution des formations géologiques.

Dans ce contexte, plusieurs études ont été réalisées dans le monde concernant la détermination de l'origine du chimisme des eaux souterraines et les mécanismes d'acquisition de la minéralisation, parmi lesquelles celles de Hssissou et al., 2001, Chaffai et al., 2003, Fehdi et al., 2009, Belghiti et al., 2013, Boubelli et al., 2018.

D'autre part, l'Algérie perd des quantités importantes en eau dues à la salinité engendrée par l'interaction eau-roche, suite au lessivage des formations géologiques, qui ont un effet indésirable sur la qualité de cette ressource (Ghrieb, 2011).

La présente étude va donner un exemple de ce type de contamination par la dissolution des formations géologiques qui influent sur les caractéristiques chimiques des eaux souterraines. En effet, celles-ci circulant dans l'aquifère alluvionnaire de F'Kirina proviennent des formations carbonatées du Crétacé supérieur bordant la plaine, puis circulent dans un matériau très hétérogène (alluvions, argiles, graviers, formations salines du Mio -Plio- Quaternaire, dépôts évaporitiques du Trias, ... etc), qui vont influencer l'acquisition d'éléments chimiques.

Le but de cet étude est de faire une étude hydrogéologique de l'aquifère de F'Kirina en identifiant les différentes nappes et en caractérisant et classifiant les eaux souterraines en utilisant plusieurs méthodes telles que la cartographie hydrochimique et l'analyse statistique pour déterminer l'origine de leur minéralisation et ensuite de faire une évaluation des ressources en eaux mobilisables. En effet, cette étude comprend deux parties essentielles:

- ▣ **La première:** représente une étude générale des caractéristiques physico-géographiques, géomorphologiques, géologiques et climatologiques.
- ▣ **La deuxième partie:** pratique qui est une étude hydrogéologique, englobe les différentes approches permettant de mettre en évidence les différentes nappes aquifères dans la plaine de F'Kirina et de déterminer le chimisme de ses eaux souterraines, ainsi de faire une évaluation des ressources en eaux mobilisables (à savoir: la géophysique, l'hydrodynamique, l'hydrochimie et enfin l'évaluation des ressources en eaux mobilisables).

PARTIE I

Présentation de la zone d'étude:

Cette partie générale comprend les chapitres suivants:

- *Cadre physico-géographique et géomorphologique.*
- *Contexte géologique.*
- *Cadre Climatologique.*

CHAPITRE 1

Cadre physicogéographique
et géomorphologique

1. Cadre physico-géographique:

1-1. Situation géographique et administrative:

La plaine de F'Kirina d'une superficie de 650 km² fait partie du sous bassin versant de Gareat Et-Tarf (2430 km²) situé au Nord-Est de l'Algérie faisant partie des bassins versants des Hauts Plateaux Constantinois (9578 km²) (Fig.01).

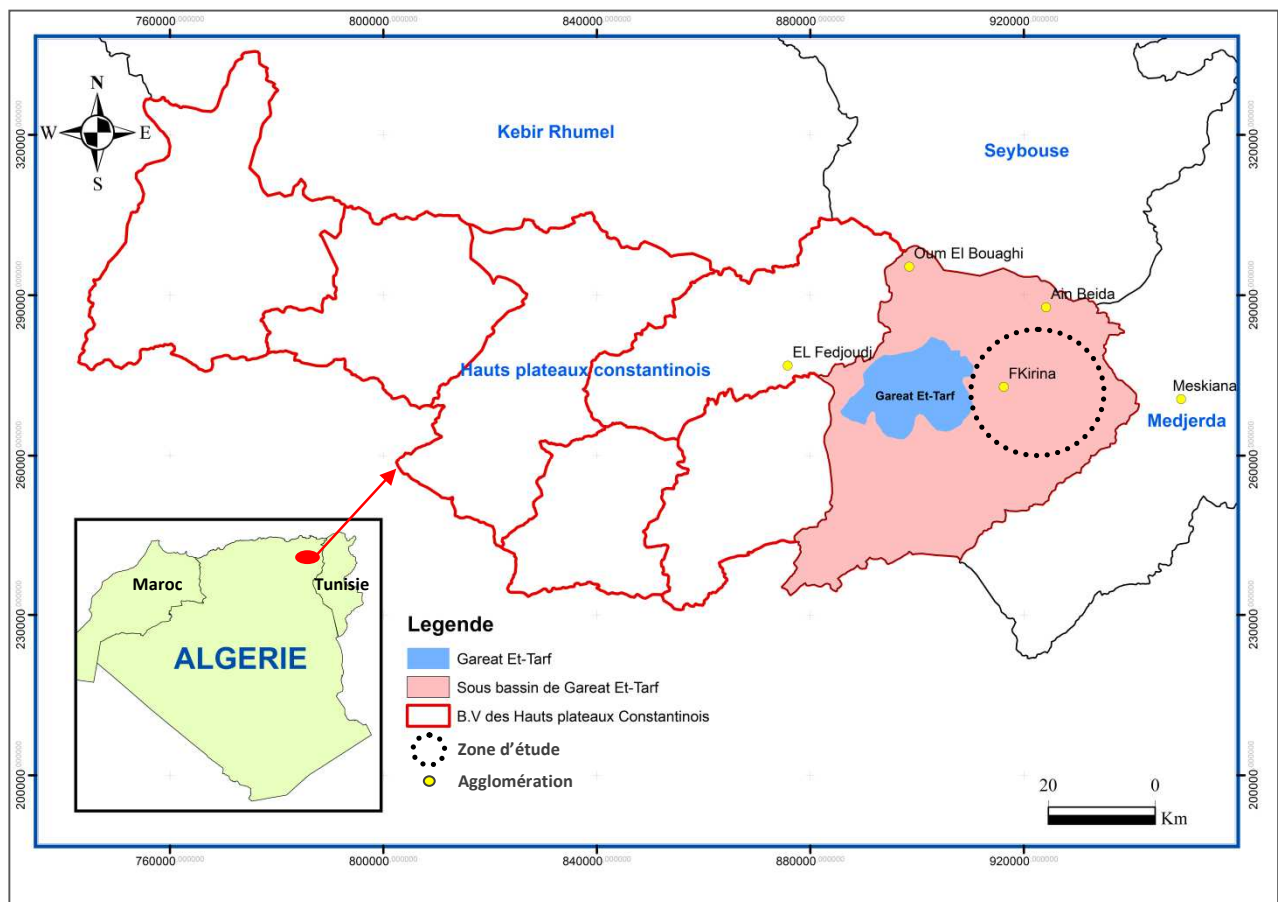


Fig.01 : Carte de la situation géographique du sous bassin versant de Gareat Et-Tarf (2019).

La plaine est limitée naturellement par les zones suivantes:(Fig. 02)

- **Au Nord** : la ligne de partage des eaux formée par Djebel El Galaa- Kebira (1246 m) et Djebel el Kef Lahmar (1248 m).
- **Au Nord-Est** : la ligne de partage des eaux formée par Djebel Amamat- el Kebir (1337 m), Djebel el Forn (1184 m), Djbel el-Djezia (1192 m) et Djbel el Bardo (1126 m).
- **A l'Est** : la ligne de partage des eaux formée par Djebel Guern Ahmar (1236 m), Djbel el-Medjifla (1242 m) et Djebel Fedjidjet (1291m).
- **Au Sud-Est** : la ligne de partage des eaux formée par Djebel Kef -el Aassa (1117 m) et Djebel Bou Tokhma (1349 m).

- **Au Sud :** la ligne de partage des eaux formée par Djebel Fedj Amar (1364 m), Djebel Bou Tebina (1226 m) et Koudiet el-Mzara (1207 m).
- **Et à l'Ouest :** une dépression endoréique « la Gareat Et-Tarf » d'une superficie de 200 km².

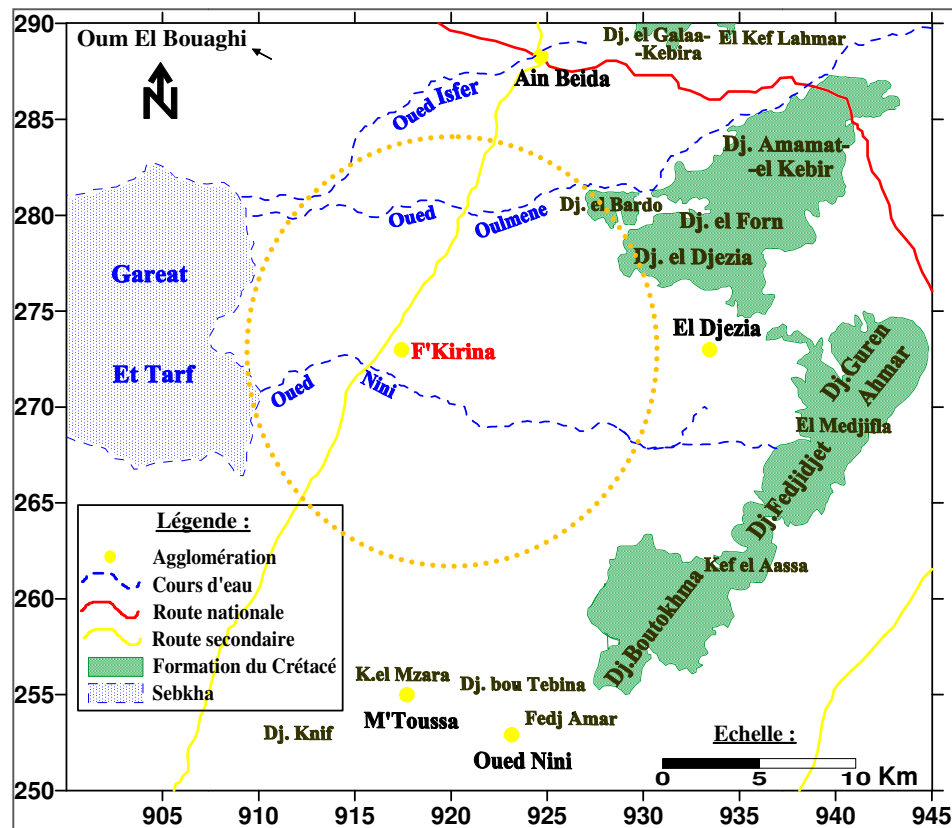


Fig.02 : Carte de situation montrant les limites naturelles de la plaine de F'Kirina (2019).

Du point de vue administratif, la région d'étude appartient à la Wilaya d'Oum El-Bouaghi (7638, 13 Km² de superficie), avec une population de 14914 habitants (D'après l'estimation de la DHW du 31/12/2017). Elle est limitée :

- Au Nord: par la Daïra de Ain Beida.
- Au Sud: par la Wilaya de Khenchela.
- A l'Est: par les Daïras de Dalâa et Meskiana.
- Et à l'Ouest: par la Daïra d'Oum El-Bouaghi.

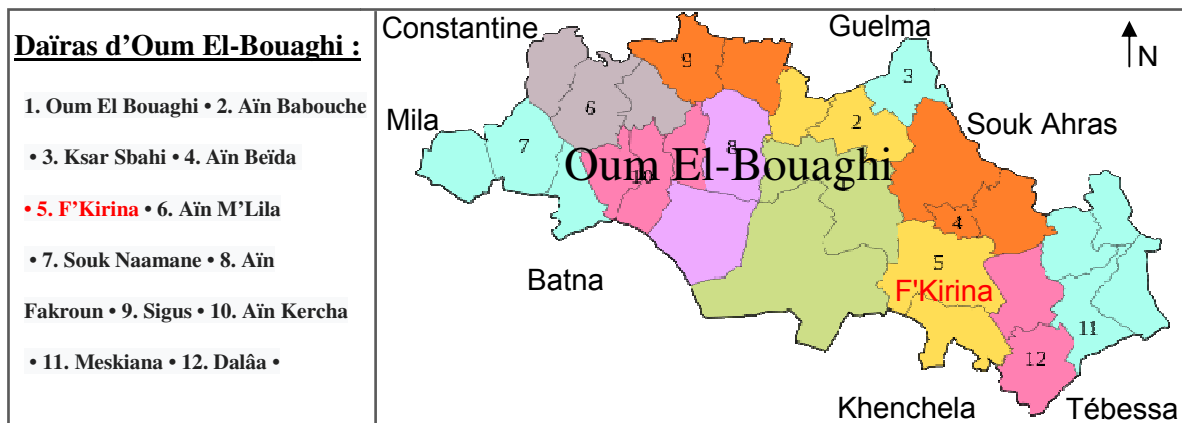


Fig.03 : Carte de la situation administrative de la région de F'Kirina (d'après wikipédia).

1-2. Climat:

La région d'étude bénéficie d'un climat continental froid et pluvieux durant l'Hiver, chaud et sec durant l'Eté. Elle enregistre des précipitations appréciables dont la moyenne annuelle varie entre 350 et 500 mm. Les neiges recouvrent les cimes des hauts plateaux durant la saison d'Hiver.

1-3. Réseau hydrographique:

Le sous bassin versant de Gareat Et- Tarf constitue un système endoréique dans lequel le réseau hydrographique n'est relié à aucun autre réseau. L'eau est alors acheminée et concentrée en un point du bassin qui est la dépression de Gareat Et-Tarf qui constitue un exutoire naturel des cours d'eau de la plaine dont les plus importants sont : l'Oued Nini, l'Oued Oulmène et l'Oued Isfer (fig. 04). Ces cours d'eau temporaires prennent naissance des massifs carbonatés situés Au Nord, à l'Est et au Sud-Est de la plaine et se déversent tous dans la Gareat et-Tarf d'où un écoulement général orienté d'Est en Ouest. Les autres cours d'eau aboutissent sur des surfaces planes au niveau de la plaine.

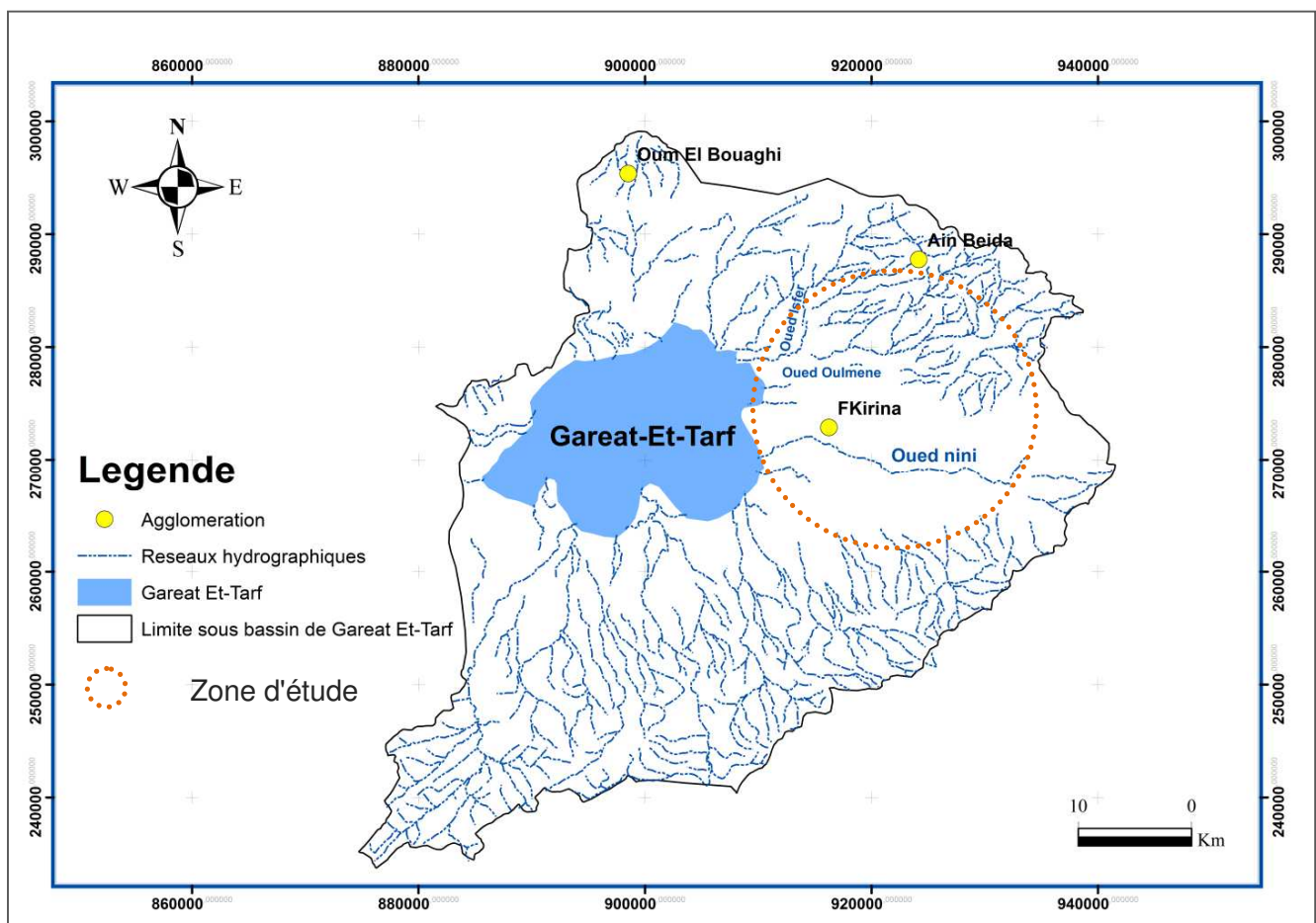


Fig.04 : Carte du réseau hydrographique de la région d'étude (2019).

1-4. Les potentialités économiques:

1-4-1. Le secteur d'agriculture :

En générale, la plaine de F'Kirina est à vocation agricole, elle se caractérise par la fertilité de ses terres qui sont marquées par différentes cultures surtout les céréales (le blé et l'avoine) qui occupent la première place de la production agricole. La culture des fruits et légumes revêt également une grande importance.

L'élevage des ovins et des bovins a un intérêt particulier auprès des éleveurs de la région (en raison de sa particularité montagnaise et forestière). La disponibilité de pâturages et le climat favorable sont d'un grand apport à l'élevage de volailles qui est d'une grande importance dans le renforcement de ce secteur. Cette richesse animale produit les diverses viandes blanches et rouges, les œufs, les produits laitiers, et la laine.

1-4-2. Le secteur de l'industrie:

Un autre domaine récemment introduit dans la région qui est l'activité industrielle avec la création de nombreuses industries légères dont les plus importantes sont celles :

- Des matériaux de construction.
- Du textile.
- Des produits alimentaires et de céréales.
- Des produits laitiers et de leurs dérivés.
- Du liège et du bois.

Cette petite zone industrielle exploite des ressources hydriques importantes.

2. Cadre géomorphologique:

En se référant aux cartes topographiques et géologiques aux 50 millièmes de la région de F'Kirina, on remarque que la géomorphologie de la plaine n'est pas très complexe. On distingue :

2-1. Le relief :

Aux bordures de la plaine sont réparties plusieurs montagnes d'altitudes très élevées (plus de 1000 mètres) et variables qui forment la ligne de crête principale, Elles sont orientées en générale Nord-Est / Sud-Ouest.

2-2. La plaine :

Avec des altitudes oscillant entre 840 à 950 mètres, 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 Mio-Plio-Quaternaires où nous distinguons :

- ▣ **Les éboulis à bloc** : se sont de grosses masses de calcaires situées aux piémonts des montagnes et qui proviennent des éboulements.
- ▣ **Les alluvions** : Au niveau de l'Oued Nini.
- ▣ **Les glacis** : On distingue deux types de matériaux constituant les glacis, les uns d'âge récent couvrant de très vastes surfaces, et les autres d'âge ancien formés de croutes calcaires et sont perchés par rapport aux surfaces précédentes.

3. Conclusion :

La plaine de F'Kirina d'une superficie de 650 Km² fait partie du sous bassin versant de Gareat Et-Tarf, situé au Nord-Est de l'Algérie appartenant aux bassins versants des Hauts Plateaux Constantinois. Le climat de la région est semi-aride. Le centre de ce bassin est jalonné par une dépression endoréique « la Gareat Et-Tarf » dans laquelle se déversent la plupart des cours d'eau de la plaine dont les plus importants sont l'Oued Nini, l'Oued Oulmène et l'Oued Isfer.

La plaine qui est à vocation agricole est entièrement recouverte de formations Mio-Plio-Quaternaires et bordée du Nord-Est au Sud-Ouest par plusieurs montagnes d'altitudes très élevées qui forment la ligne de crête principale.

CHAPITRE 2

Contexte géologique

1. Introduction :

La géologie permet de déterminer la nature et l'extension des formations géologiques susceptibles d'être aquifères.

Pour donner un aperçu général sur la géologie de la région de F'Kirina et ses alentours, nous nous sommes basés sur les travaux effectués par J. M. Vila et Salah Guellal (1973) en se servant de cartes géologiques aux 1/50000 suivantes :

- Ain Beida (notice N° 149).
- Gareat Et- Tarf (N° 175).
- F'Kirina (N° 176).
- Delâa (N° 204).

Ces travaux ont montré que presque toute la plaine est entièrement recouverte de formations quaternaires, dissimulant les formations géologiques antérieures (secondaires et tertiaires) qui sont localisées à l'extrême Est, au Nord-Est et au Sud de la plaine de F'Kirina formant ainsi la ligne de crête principale.

2. Description lithostratigraphique des formations :

Cette description se fera des formations les plus anciennes aux formations les plus récentes.

2-1. Le Secondaire :

Le Secondaire de cette région ne comprend que du Trias et du Crétacé.

2-1-1. Le Trias :

Dans la région d'étude, les formations triasiques ne sont pas nombreuses, elles sont représentées de façon discontinue à l'extrême Nord-Est et au Sud-Ouest de Delâa et de F'Kirina.

La composition lithologique du matériel triasique rencontré dans ces différents points est identique, elle est faite d'argiles versicolores représentées par des dolomies noires, rubanées et crypto-cristallines, cargneules finement gréseuses et des grès.

2-1-2. Le Crétacé :

Les formations du Crétacé sont très abondantes dans la zone d'étude. On distingue :

2-1-2-1. Le Crétacé inférieur ou basal :

Il a 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 (Koudiet El-Radjel).

2-1-2-1-1. Berriasien à Hauterivien :

Il se retrouve rarement à l’affleurement.

2-1-2-1-2. Barrémien supérieur :

C’est une série essentiellement composée de grès blancs fins à ciment argilo-carbonaté, à tendance quartziteuse, ainsi que de marnes grises-noires schisteuses. Son épaisseur est d’environ 80 mètres.

2-1-2-1-3. L’Aptien : On distingue :

- a) **L’Aptien inférieur:** Il est représenté par des marnes grises –noires à intercalations de marno-calcaires grises. Son épaisseur est de 100 mètres.
- b) **L’Aptien supérieur:** Il est formé de micrites et de bio-sparites et d’alternance de marno-calcaires. L’épaisseur atteint environ 300 mètres.

2-1-2-2. Le Crétacé moyen : Il est représenté par :

- **L’Albien supérieur :** Composé par des marnes, des grès ferrugineux, des biosparites et des biomicrites grises.

2-1-2-3. Le Crétacé supérieur :**2-1-2-3-1. Cénomaniens supérieur :**

Il affleure dans la marge septentrionale de la feuille d’Ain Beida sous forme de marnes écrasées par la fracturation et des filons de calcite.

2-1-2-3-2. Le Turonien :

Il est représenté par des marno-calcaires avec des calcaires en plaquette à la base, et affleure lui aussi dans la marge septentrionale de la feuille d’Ain Beida.

2-1-2-3-3. Le 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 1200 mètres à 2000 mètres.

La partie supérieure 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 facies qui se poursuit jusqu'au Djebel El-Bardo sous forme de calcaires bréchiques, récifaux et bioclastiques.

2-1-2-3-3-1. Coniacien :

Il s'agit d'une alternance de marnes grises et de calcaires noduleux beiges ou ocre contenant parfois des grains de quartz. Son épaisseur peut atteindre une centaine de mètres.

2-1-2-3-3-2. Santonien :

Il se compose de 100 à 150 mètres de calcaires noduleux en alternance avec de marnes grises.

2-1-2-3-3-3. Campanien :

Il est constitué à la base par une barre de calcaires de 75 à 90 mètres d'épaisseur surmontées par des marnes grises ou beiges et des alternances de marnes et de marno-calcaires atteignant les 60 mètres d'épaisseur et affleurent au Djebel Bou Tokhma et au Djebel Fedjidjet.

2-1-2-3-3-4. Maestrichtien : On distingue :

a) Le Maestrichtien inférieur:

Ce sont des formations principalement marneuses, d'épaisseur de 40 mètres environ. Il s'agit de marnes grises et beiges alternant avec de biomicrites argileuses ocre.

b) Le Maestrichtien supérieur:

Ce sont des calcaires qui déterminent la ligne principale du relief. On distingue de bas en haut :

- ▀ 15 mètres de biomicrosparites (biomicro-sparudites) grises noduleuses, phosphatées et glauconieuses à passages marneuses.
- ▀ Ces formations sont surmontées de 100 mètres environ de biomicrites grises, blanchâtres, massives, à passages noduleuses et à rognons de silex.

On signale la diminution de la puissance du Maestrichtien supérieur avec un changement de facies allant du Sud vers le Nord : les biomicrosparites périrecifales, massives passent rapidement dans la région de Dalâa et de Meskiana à des micrites crayeuses au Djebel Taffrent à F'Kirina.

2-2. Le Tertiaire :

2-2-1. 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 Gareat 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 autre 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 de Dalâa. Ainsi, au dessus du toit raviné du Maestrichtien supérieur, viennent en concordance :

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

On signale l'absence de l'Oligocène.

2-2-2. Le Miocène :

2-2-2-1. Miocène inférieur (basal) : Constitué de :

a) L'Aquitano-Burdigalien : Il est discordant sur le Crétacé et est composé de conglomérats rouges d'épaisseur qui ne dépasse pas les 80 mètres.

b) Le Langhien-Serravalien : Peu épais, environ 40 mètres et discordant. Il est composé par des marnes, des biomicrites et des grès blancs.






2-2-2-2. Miocène supérieur :

a) Le Tortonien gréseux : Il est discordant sur des terrains allant du Sénonien à l'Albien, et est composé de grès blancs grossiers en bancs avec rares intercalations argileuses avec une épaisseur atteignant les 300 mètres environ.

b) Le Tortonien supérieur continental : Il est représenté par des grès et des argiles silteuses de couleur beige et rouge, avec une épaisseur de 150 mètres environ.

2-3. Le Quaternaire : Il couvre la quasi-totalité de la plaine et est représenté par :

- ▣ **Les éboulis à blocs :** Elles 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 F'Kirina.
-  **Les sols salés de Sebka :** Il s'agit de vastes étendues de vases ou de sols salés hydromorphes de la Gareat Et-Tarf (quelques hectares) et 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 est toute à fait caractéristique. Ils ravinent le cycle antérieur des glacis caractérisé par des croutes massives. Il s'agit d'un nappage complexe à débris bien calibrés parfois légèrement encroutés. L'aspect est celui des croutes calcaires rosâtres feuilletées.
-  **Les croutes calcaires :** Ces formations sont perchées au dessus de glacis polygéniques. Leur aspect est celui de croutes massives blanches, entaillées et karstifiées qui forment des surfaces taraudées, et des dépressions de formes variées.

3. Les styles structuraux :

Les formations para-autochtones Nord-Aurésiennes représentées dans la zone centrale par les Djebel Fedjoudj, Kef Gouriret et Djebel Tarf, les massifs à l'Est de Ain Beida ainsi que la ligne de reliefs monoclinaux des Djebel Bou Tokhma, Fedjidjet et Guern Lahmar 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 Djebel Stih correspond aux formations autochtones Aurésiennes. Tous ces massifs sont affectés par des plissements parfois intenses selon la direction atlasique prédominante (Nord 40° Est) et cisailés par des failles de type atlasique de directions majeures (Nord-Est /Sud-Ouest) qui leur donnent un aspect compartimenté.

4. Les dépressions et fosses d'effondrement :

Elles ont été engendrées par le compartimentage dû aux failles atlasiques, du fait de la nature des matériaux qui les composent, généralement marneuse ou marno-calcaire et qui réagissent plus

souplement aux efforts tangentiels auxquels ils ont été soumis. Ces structures géologiques sont représentées par les grandes étendues comprises entre les massifs d'Ain-Beida et le para-autochtone Nord- Aurésien ainsi que par celles comprises entre les massifs d'Ain-Beida, l'axe Fedjoudj-Tarf et l'axe des Djebels Guern Lahmar, Taffrent. Elles sont aujourd'hui comblées d'un matériau Mio-Plio-Quaternaire.

5. La tectonique :

Les différentes unités structurales de la région d'étude sont le résultat des deux phases orogéniques tertiaires :

- La phase Atlasique d'âge Lutétien intra-Priabonien.
- Et la phase Alpine d'âge Miocène.

Ces deux tectogenèses génératrices de tectonique souple et cassante ont donné naissance aux formes structurales suivantes:

- Failles de direction générale Nord-Ouest / Sud-Est, en passant par les grands plissements synclinaux et anticlinaux.
- Des formations Plio-Quaternaires qui sont le siège d'une néotectonique caractérisée par d'importants mouvements verticaux et des compressions modérées.
- La direction majeure de la région est Sud-Est / Nord-Ouest (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 Nord-Ouest / Sud-Est.

Les principales unités tectoniques sont les suivantes :

- L'anticlinorium du massif d'Ain Beida.
- Le prolongement Nord-Ouest du grand anticlinal de Khenchela. Celui-ci, après s'être

ennoyé sous la plaine de F'Kirina, réapparaît vers le Nord-Ouest et est matérialisé par la structure anticlinale de Agroub Zitoun jalonnée par des pointements Triasiques.

➤ L'anticlinal de la Meskiana.

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

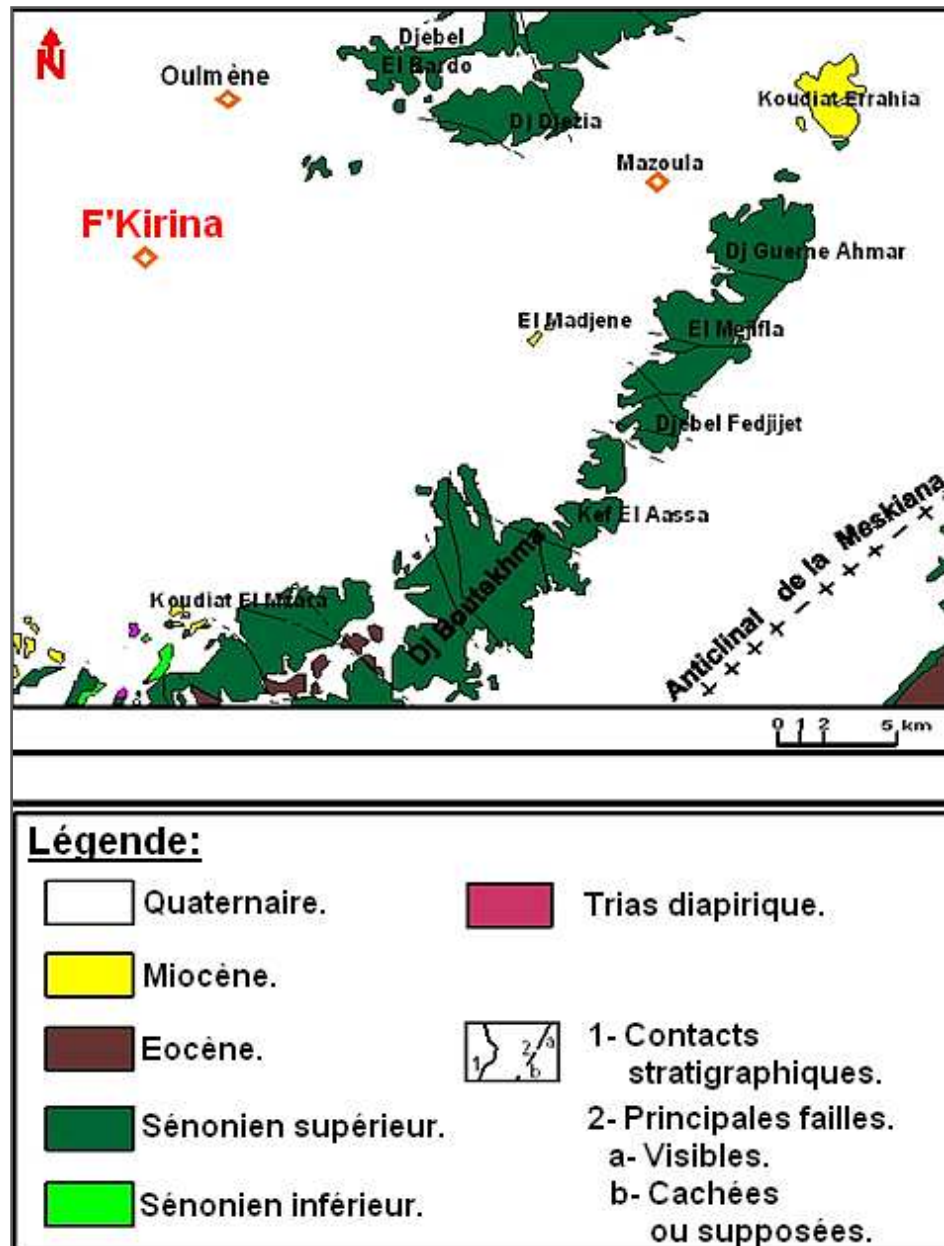


Fig.05: Carte géologique simplifiée montrant les différentes formes structurales de la région d'étude. (D'après la carte géologique au 1/50000 de F' Kirina)(In Younssi Houssam Eddine, 2009).

6. Conclusion :

L'étude géologique de la plaine a permis de dégager les constatations suivantes :

- La plaine de F'Kirina fait partie des domaines para-Autochtones Nord-Aurésiens et est située à la limite des hautes plaines constantinoises, des monts des Heractas, des monts du Mellègue et de ceux des Néménchas.
- Le Sud de la plaine appartient à l'anticlinal de la Meskiana tandis que la zone Nord, plus

noyée sous le Quaternaire appartient aux plis de la région d'Ain Beida.

- La plaine peut être décomposée en trois ensembles géologiques :
 - Un substratum marneux du Maestrichtien Inférieur observé au Djebel Bou Tokhma dans la partie Sud de la plaine.
 - Un ensemble appartenant au Crétacé et au Miocène caractérisé par des calcaires maestrichtiens qui affleurent près des Djebels El-Bardo, El Djezia, Fedjidjet, Bou-Tokhma et Koudiat El-Mzara. Cet ensemble est d'un intérêt hydrogéologique important, car ces formations carbonatées peuvent former des Karsts et emmagasiner de grandes quantités d'eau. Il serait le siège d'une nappe profonde.
 - Un bassin comblé d'une sédimentation hétérogène, notamment alluvionnaire qui constitue le Quaternaire avec une épaisseur de dizaines de mètres, ce qui favorise la perméabilité et permet de stocker de l'eau et susciter un intérêt hydrogéologique pour une éventuelle exploitation de cette nappe superficielle.

D'autre part, l'examen de la série lithostratigraphique décrite précédemment permet d'identifier quelques formations perméables susceptibles d'être aquifères, présentant ainsi un intérêt hydrogéologiques, et d'autres imperméables pouvant jouer le rôle de substratum imperméable :

- **Les formations perméables** : On peut citer :
 - Les calcaires Maestrichtiens.
 - Les calcaires Eocènes.
 - Les formations gréseuses du Miocène.
 - Les formations Quaternaires qui s'étendent sur la totalité de la plaine.
 - Et les lignes de sources qui apparaissent en bordure du contact calcaire du Maestrichtien Supérieur et marnes du Maestrichtien Inférieur.
- **Les formations imperméables** : On peut citer :
 - Les marnes Coniaciennes.
 - Les marnes Campaniennes.
 - Les marnes du Maestrichtien Inférieur.
 - Et les intercalations marneuses de l'horizon marin du Miocène.

CHAPITRE 3

Cadre climatologique

L'étude des caractéristiques climatologiques joue un rôle primordial dans la connaissance des comportements des cours d'eau, les variations des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles.

Elle permet également d'identifier les termes du bilan hydrique notamment les précipitations, les températures, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration.

1. Climatologie de la zone d'étude:

La connaissance des facteurs climatiques (précipitations, températures,...) est indispensable pour quantifier les ressources en eaux de surface et de déterminer la part de l'eau qui s'infiltré dans les nappes, constituant ainsi les réserves en eau souterraine.

1-1. Station de mesures:

La présente étude est basée sur les données disponibles de la station d'Ain Beida dont l'observation des facteurs climatiques est faite sur une période de 20 ans (de 1994 à 2014).

Les coordonnées de cette station sont consignées dans le tableau (N°01) suivant:

Tableau N° 01 : Coordonnées géographiques de la station de mesures et période d'observation.

Paramètres Station	Altitude	Coordonnées géographiques		Coordonnées Lambert (Km)	Période d'observation
		Latitude	Longitude		
Ain Beida	1004 m	33°10'25"N	2°39'1" E	X= 924.15 Y= 288	1994 à 2014

Source: A.N.R.H. de Constantine, 2014.

1-2. Facteurs climatiques:

1-2-1. Précipitations:

Généralement, on englobe sous le terme « précipitations » toutes les eaux qui tombent à la surface de la terre sous forme liquide ou solide (pluies, neige, grêle ...).

Les précipitations sont évidemment le facteur essentiel caractérisant le climat d'une région. Elles jouent un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eaux et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines et sont ainsi l'élément le plus important dans l'établissement du bilan hydrique parce qu'elles reflètent la circulation des eaux superficielles et souterraines.

1-2-1-1. Précipitations moyennes mensuelles :

Le calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré sur un grand nombre d'années ou dite "précipitation moyenne mensuelle", donne un aperçu sur les variations mensuelles des précipitations. En effet, les moyennes mensuelles des précipitations mesurées à la station d'Ain Beida durant la période d'observation allant de 1994 à 2014 sont représentées dans le tableau (N° 02) suivant:

**Tableau N° 02 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la station d'Ain Beida
(1994/1995-2013/2014)**

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total annuel
P (mm)	40	37.41	42.59	45.64	37.05	31.28	35.14	32.09	35.28	22.81	12.53	20.86	392.68

Pour évaluer la variation des précipitations moyennes mensuelles, nous avons établi l'histogramme à partir des données précédentes:

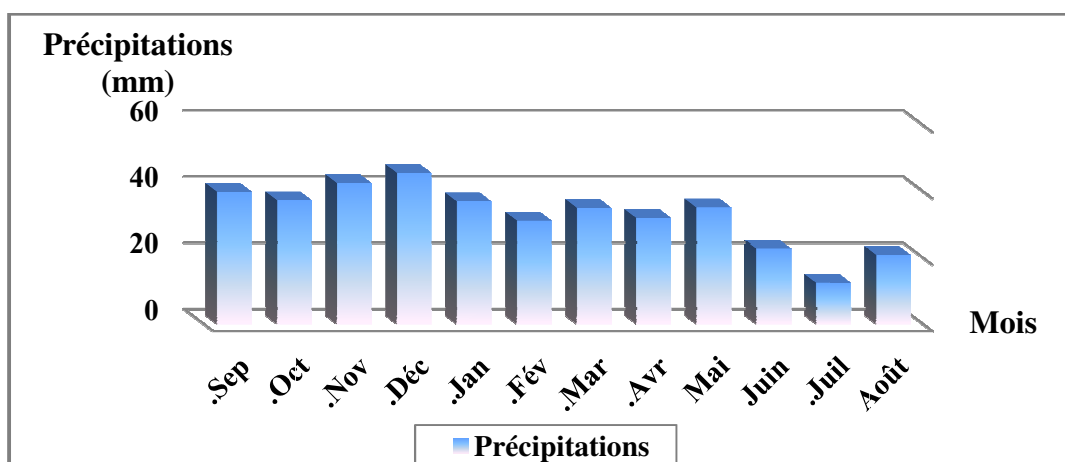


Fig.06 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).

Les précipitations atteignent leur maximum au mois de Décembre avec une hauteur de 45.64 mm et leur minimum au mois de Juillet avec 12.53 mm.

1-2-1-2. Précipitations saisonnières:

L'étude des précipitations saisonnières (tableau N°03) permet de donner une idée sur la distribution de la lame d'eau précipité durant une année et selon les quatre saisons (In Khelfaoui Fayçal, 2014):

**Tableau N° 03: Répartition saisonnière des précipitations à la station d'Ain Beida
(1994/1995-2013/2014):**

Mois P	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Moyenne Annuelle
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
P(mm)	125.80			113.97			102.51			56.20			392.68
P (%)	32.03			29.02			26.10			14.31			100

On remarque un maximum pluviométrique automnal (de Septembre à Novembre) représentant la saison la plus arrosée avec 32.03 %, tandis que l'Eté représente la saison la plus sèche avec 14.31 %.

L'histogramme ci-après montre la variation saisonnière des précipitations de la station d'Ain Beida durant la période d'observation (de 1994 à 2014) :

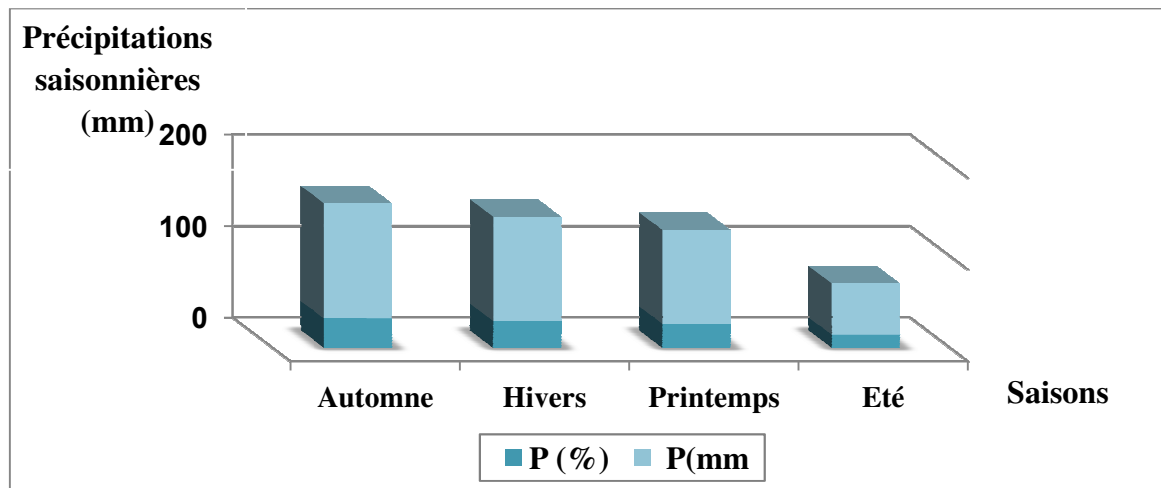


Fig. 07: Histogramme des précipitations saisonnières à la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).

1-2-1-3. Précipitations annuelles:

En se basant sur les données des précipitations mensuelles de la station d'Ain Beida durant la période d'observation allant de 1994 à 2014, nous avons calculé les précipitations annuelles correspondant. La variabilité de ces dernières est exprimée par un paramètre permettant de distinguer les années excédentaires de celles déficitaires. C'est le "coefficient pluviométrique" (CP) obtenu par le rapport de la pluviométrie d'une année (précipitation annuelle) à la pluviométrie moyenne de toute la série d'observation. Il est donc en relation proportionnelle avec la pluviométrie.

On a: $CP = P / P_{moy}$ avec:

CP : coefficient pluviométrique.

P moy : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

P : Pluviométrie annuelle de l'année en (mm).

Tel que:

- ❖ Une année est dite excédentaire (AE) si : $CP > 1$.
- ❖ Elle est par contre déficitaire (AD) si : $CP < 1$.

Le tableau N° 04 suivant récapitule les résultats de (CP)

Tableau N° 04: Précipitations annuelles et coefficients pluviométriques à la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014)

Paramètres Année	Précipitations Annuelles (mm)	CP	Observation
1994/1995	31.50	0.86	AD
1995/1996	20.57	0.56	AD
1996/1997	27.03	0.74	AD
1997/1998	37.53	1.03	AE
1998/1999	46.21	1.27	AE
1999/2000	27.90	0.76	AD
2000/2001	20.87	0.57	AD
2001/2002	56.36	1.55	AE
2002/2003	18.18	0.50	AD
2003/2004	41.06	1.13	AE
2004/2005	34.66	0.95	AD
2005/2006	28.06	0.77	AD
2006/2007	29.12	0.80	AD
2007/2008	34.06	0.93	AD
2008/2009	49.50	1.36	AE
2009/2010	49.20	1.35	AE
2010/2011	40.12	1.10	AE
2011/2012	33.33	0.91	AD
2012/2013	25.20	0.69	AD
2013/2014	29.47	0.81	AD

D'après les résultats obtenus, il y a une alternance entre les années excédentaires (AE) et celles déficitaires (AD) (Fig. 08), et d'après le tableau N° 04 nous remarquons qu'il y a 13/20 années déficitaires et 7/20 années excédentaires. A la station d'Ain Beida le minimum enregistré est de 18.18 mm durant l'année 2002/2003 et le maximum enregistré est de 56.36 mm durant l'année précédente 2001/2002.

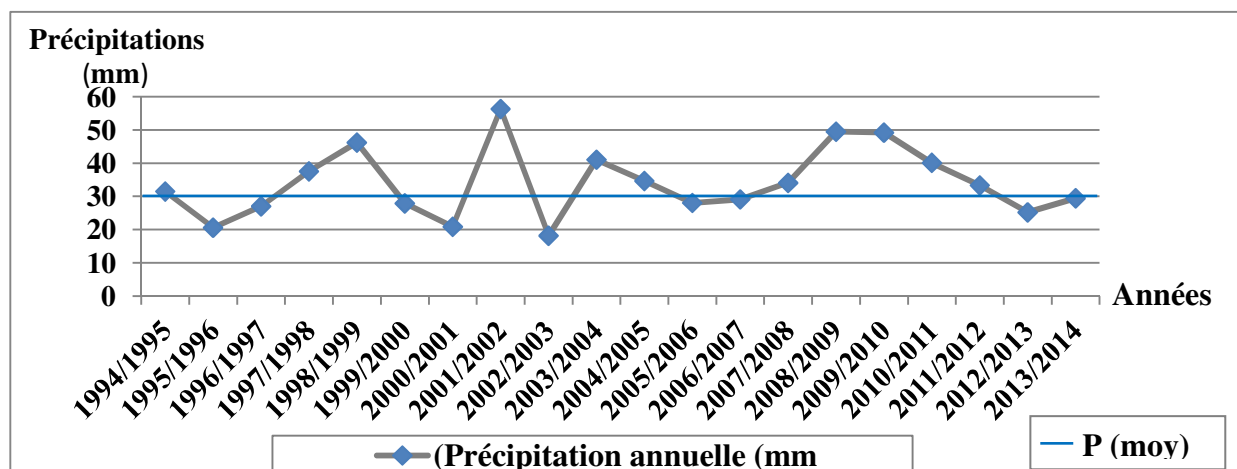


Fig. 08: Variation des précipitations annuelles à la Station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).

1-2-2. Températures:

Contrairement aux précipitations qui constituent l'apport en eau d'un système hydrologique d'où son rôle important dans l'alimentation des nappes, les températures, quant à elles, jouent un rôle prépondérant dans les pertes en eau et par conséquent dans la décharge des nappes car elles régissent directement le phénomène d'évapotranspiration et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Elles constituent donc le deuxième facteur important dans une étude climatique et peut être ainsi l'un des éléments essentiels conduisant à l'abaissement des niveaux d'eaux superficielles et souterraines.

L'analyse des données de la température est basée sur les mesures relevées au niveau de la station d'Ain Beida de 1994 jusqu'à 2014.

1-2-2-1. Températures moyennes mensuelles :

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau N° 05 et sont représentés dans le diagramme de la figure 09:

Tableau N° 05 : Températures moyennes mensuelles en (°C) à la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
T (°C)	22.58	17.33	11.33	8.04	6.37	7.80	10.73	14.49	19.42	24.71	27.50	26.69

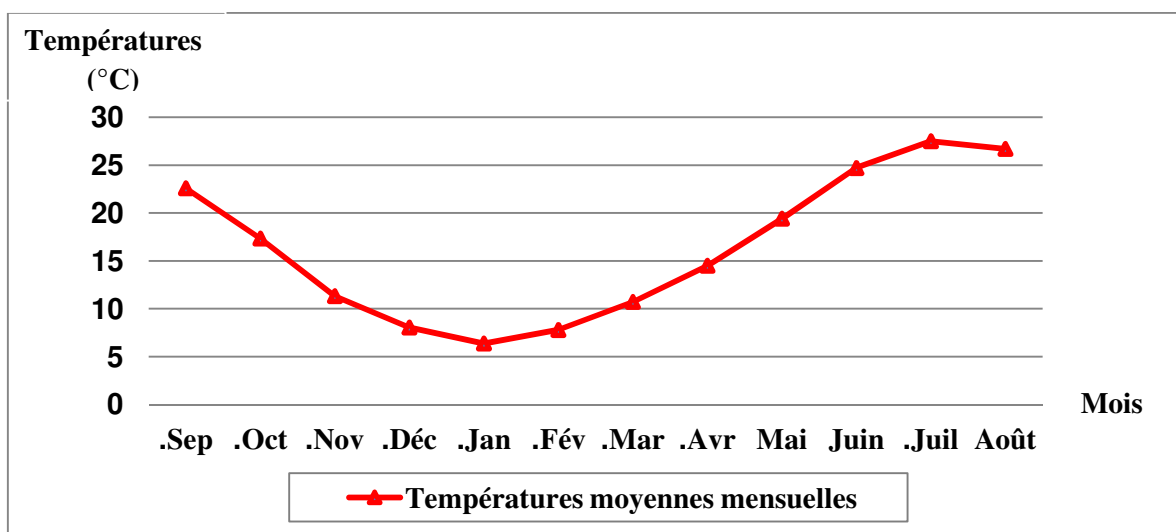


Fig. 09 : Variation des températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).

Les plus faibles valeurs sont mesurées aux mois de Décembre, Janvier et Février qui sont donc les plus froids; tandis que les plus fortes valeurs caractérisent les mois de Juin, Juillet et Août (les mois les plus chauds).

Il en résulte que le mois le plus froid est Janvier avec une température moyenne mensuelle de 6.37°C par contre le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec une température moyenne mensuelle de l'ordre de 27.50°C.

1-2-2-2. Diagramme ombrothermique (pluviothermique):

On l'établi en combinant les températures et les précipitations moyennes mensuelles correspondant à la même période d'observation. Il permet de déterminer les saisons sèches et humides, tel qu'il est mentionné ci-dessous (fig. 10):

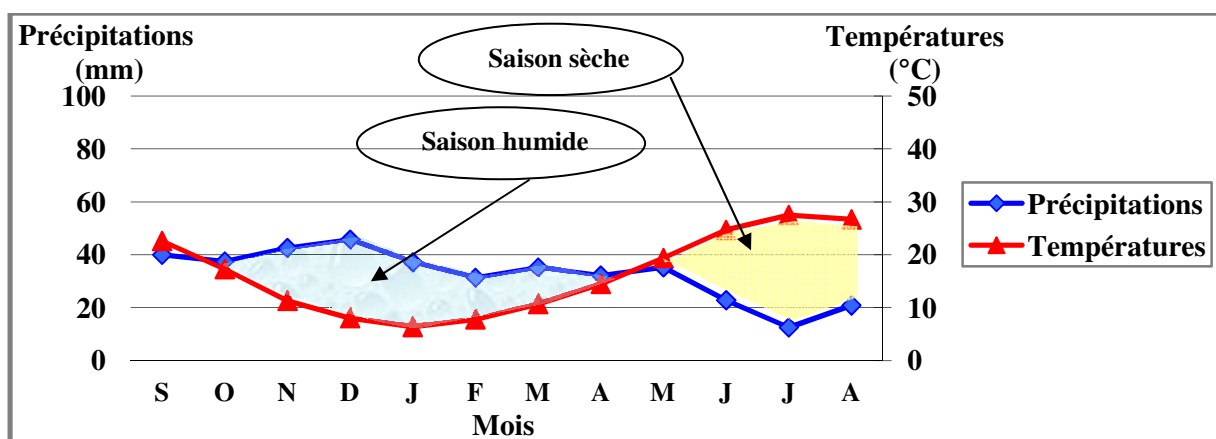


Fig. 10 : Diagramme ombrothermique à la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).

Ce diagramme montre l'existence de deux saisons :

- ❖ L'une humide et froide qui s'étale du moi d'Octobre jusqu'au mois d'Avril.
- ❖ Et l'autre sèche et chaude, elle s'étend du mois d'Avril jusqu'au mois d'Août.

1-2-2-3. L'indice d'aridité de "De-Martonne" :

Il est définit par la relation:

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

avec:

P : précipitation moyennes annuelles (mm).

T : températures moyennes annelles (mm).

Tel que:

- ❖ $20 < I < 30$: climat tempéré.
- ❖ $10 < I < 20$: climat semi-aride.
- ❖ $7.5 < I < 10$: climat steppique.
- ❖ $05 < I < 7.5$: climat désertique.
- ❖ $I < 05$: climat hyperaride.

Pour la station d'Ain Beida et durant la période d'observation allant de 1994 à 2014, on trouve une valeur de $I = 14,84$ ce qui correspond à un climat " semi-aride ".

2. Bilan hydrique (ou de C.W. Thornthwaite):

L'étude du bilan hydrique permet d'évaluer la répartition des quantités d'eau reçues par un bassin versant entre ses différents composants (écoulement, infiltration et évaporation). Il est calculé par la formule suivante :

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

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en (mm).

R : Ruissellement moyen annuel en (mm).

2-1. Détermination des paramètres du bilan:

2-1-1. Evapotranspiration:

L'évapotranspiration est la combinaison de deux phénomènes, l'une physique « évaporation » et l'autre biologique « transpiration ». On distingue :

- 📖 L'évapotranspiration potentielle (ETP) employée lorsque la surface évaporante est convenablement alimentée.
- 📖 L'évapotranspiration réelle (ETR) qui représente une fraction de l'ETP, et ne tient compte que de la quantité réellement évapotranspirée.

2-1-1-1. Evapotranspiration potentielle (ETP) :

C'est la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie en considérant des apports d'eau suffisants. Elle est estimée par la formule de « C.W.Thornthwaite » proposée en 1948 et basée essentiellement sur les

températures de l'air:

$$ETP = 16 (10 t / I)^a \cdot k$$

Avec: $a = 0,016 I + 0,5$; $I = \sum i$; $i = (t / 5)^{1,514}$.

ETP: Evapotranspiration potentielle mensuelle en (mm).

t : Température moyenne mensuelle en (°C).

i : Indice thermique mensuel.

I : La somme des indices mensuels de l'année.

k : Facteur correctif intégrant la durée d'insolation et la température.

Tableau N° 06: Résultats de l'ETP obtenus par la formule de « C.W.Thornthwaite » à la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
i	9.8	6.6	3.5	2.1	1.6	2.0	3.2	5.0	7.8	11.2	13.2	12.6	78.3
ETP (mm)	105.5	62.5	26.3	13.6	9.7	13.5	28.6	51.7	95.1	146.3	179.4	159.2	891.4

$I = 78.3$; $a = 1.75$.

Cette méthode est basée sur la notion de la réserve facilement utilisable (RFU), et nous admettons que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU) qui pourrait être reprise par l'ETP.

2-1-1-2. Evapotranspiration réelle (ETR) :

C'est la somme de l'évapotranspiration et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie. Elle peut être déterminée par différentes méthodes.

2-1-1-2-1. ETR selon la formule de "Turc" :

Cette formule est basée sur les températures et les précipitations moyennes annuelles :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque **P** devient grande : $L = 300 + 25t + 0.05 t^3$, où **t** est la température moyenne annuelle en °C.

Les valeurs de l'évapotranspiration réelle ETR, calculées par cette formule (de Turc) à la station d'Ain Beida durant la période d'observation (1994/1995-2013/2014) sont inscrites dans le tableau N° 07 suivant:

Tableau N° 07 : Résultats de l'ETR obtenus par la formule de « Turc » (1994/1995-2013/2014)

Facteur Station	P (mm)	t (°C)	L	ETR (mm)
Ain Beida	392.68	16.45	933.82	381.24

2-1-1-2-2. ETR selon "C.W.Thornthwaite" :

L'estimation de l'ETR en (mm) par cette méthode est liée au volume de précipitations. Trois cas peuvent se présenter :

❖ **1^{er} cas : $P \geq ETP \Rightarrow ETR = ETP$:**

Il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation, le surplus va représenter l'écoulement superficiel.

❖ **2^{ème} cas : $P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$:**

Dans ce cas, la RFU (réserve facilement utilisable) va s'épuiser jusqu'à satisfaction de l'ETP.

❖ **3^{ème} cas : $P < ETP$ et $RFU = 0 \Rightarrow ETR = P$:**

Il y aura donc un déficit agricole (DA) représenté par la quantité d'eau qui doit être apportée pour l'irrigation.

Tableau N° 08 : Résultats de l'ETR obtenus par les différentes méthodes d'estimation à la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014):

ETR Station	Selon "Turc" (mm/an)	Selon "C.W.Thornthwaite" (mm/an)
Ain Beida	381.24	392.68

Les valeurs du tableau ci dessus sont variables selon chaque méthode d'estimation, et pour cela la station météorologique d'Ain Beida a une évapotranspiration réelle moyenne de l'ordre de 386.96 mm/an.

2-1-2. Ruissellement (R) :

Il est calculé par la formule de « Tixeront Berkaloff » :

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

Avec :

R : Ruissellement en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle en (mm).

Tableau N° 09 : Résultats du ruissellement par la formule de «Tixeront Berkaloff» pour la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).

Station \ Paramètres	P (mm)	R (mm)
Ain Beida	392.68	25.25

2-1-3. Infiltration (I) :

L'infiltration est la quantité d'eau franchissant la surface du sol. Elle renouvelle les réserves d'eaux souterraines et entretient le débit de l'écoulement souterrain des sorties après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous sol (G. Castany 1982). Elle est déduite de l'équation fondamentale du bilan hydrique :

$$P = ETR + R + I \Rightarrow I = P - (R + ETR) \quad \text{Avec :}$$

I : L'infiltration en (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

R : Ruissellement en (mm).

ETR : Evapotranspiration annuelle en (mm) selon la méthode de "C.W.Thornthwaite".

Tableau N° 10 : Estimation de l'infiltration par l'équation fondamentale du bilan hydrique.

Paramètres \ Stations	P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)
Ain Beida	392.68	25.25	392.68	00

En admettant que la réserve facilement utilisable est égale à 100 mm (saturation), les résultats précédemment obtenus nous ont permis d'établir le bilan hydrique, la synthèse finale de l'étude climatique. Le tableau suivant résume le bilan de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014) :

Tableau N° 11 : Bilan de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
P(mm)	40	37.41	42.59	45.64	37.05	31.28	35.14	32.09	35.28	22.81	12.53	20.86	392.6
t (°C)	22.58	17.33	11.33	8.04	6.37	7.80	10.73	14.49	19.42	24.71	27.50	26.69	16.4
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	
i	9.8	6.6	3.5	2.1	1.6	2.0	3.2	5.0	7.8	11.2	13.2	12.6	78.3
ETP	105.5	62.5	26.3	13.6	9.7	13.5	28.6	51.7	95.1	146.3	179.4	159.2	891.4
ETR	40	37.4	26.3	13.6	9.7	13.5	28.6	51.7	95.1	43.3	12.5	20.9	392.6
RFU	0.0	0.0	16.2	48.3	75.6	93.4	100.0	80.3	20.5	0.0	0.0	0.0	
EX	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DA	65.5	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	103.0	166.9	138.4	498.8

2-2. Représentation graphique du bilan de C.W.Thornthwaite :

Afin d'éclaircir les résultats obtenus, une représentation graphique des données sera préférable :

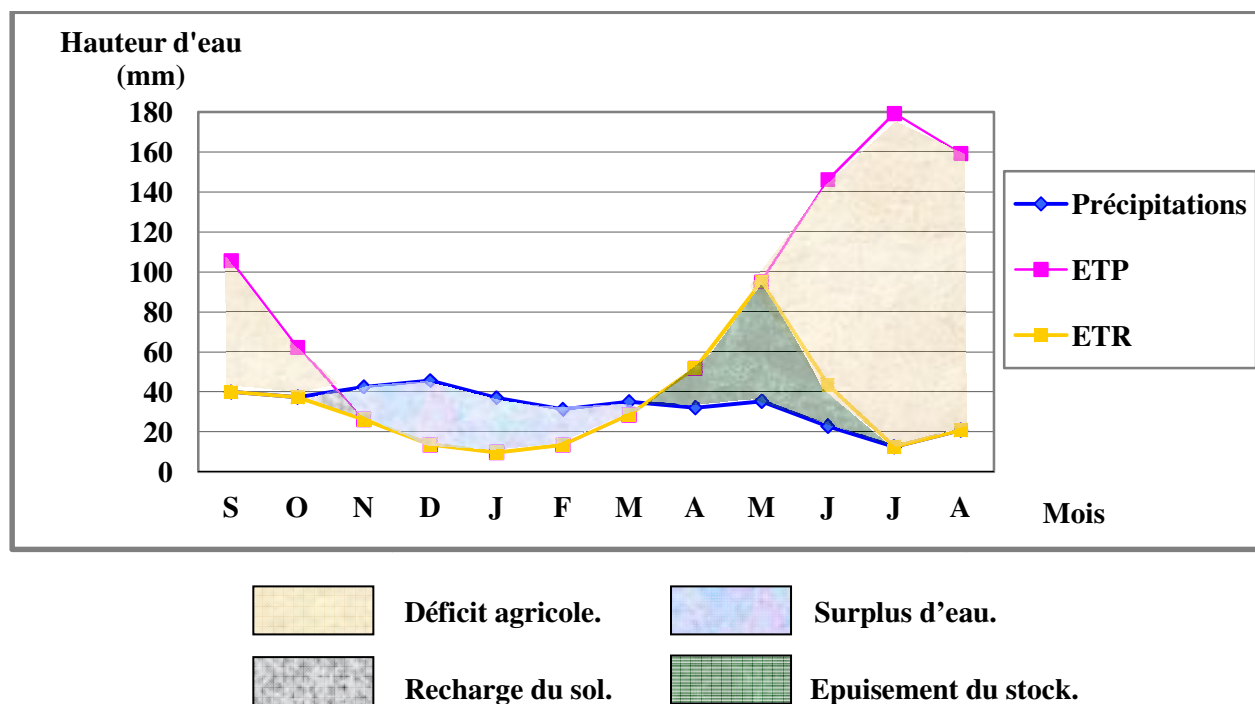


Fig. 11 : Représentation graphique du bilan de C. W. Thornthwaite à la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014).

2-3. Interprétation du bilan de C.W.Thornthwaite :

Les résultats du bilan hydrique de C.W.Thornthwaite obtenus à la station d'Ain Beida (Tableau N°11, fig. 11) nous ont permis de tirer les observations suivantes :

- ✓ La région d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 392.68 mm et une température moyenne annuelle de 16.45 °C.
- ✓ L'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum au mois de Juillet (179.4 mm) et son minimum au mois de Janvier (9.7 mm). L'ETP est de l'ordre de 891.4 mm.
- ✓ L'Evapotranspiration réelle (ETR) totale est de 392.6 mm.
- ✓ Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est pleine, il y a un surplus d'eau (S) accompagné par un ruissellement et quand elle a tendance à diminuer et au point qu'il sera carrément vide, il y aura un épuisement du stock (E) et par conséquent un déficit agricole (D) s'étalant du mois de Mai jusqu'au mois de Novembre avec une moyenne annuelle de 498.8 mm.
- ✓ La reconstitution de la RFU s'effectue au mois de Novembre (16.2 mm). Elle atteint son maximum (saturation : 100 mm) au mois de Mars puis elle commence à s'épuiser pour se vider complètement au mois de Juin.
- ✓ L'écoulement débute après le remplissage de la RFU (100 mm), au mois de Décembre et se termine à la fin du mois d'Avril avec un maximum au mois de Janvier (84.9 mm) et un minimum au mois d'Avril de l'ordre de 18.2 mm.

3. Conclusion :

Le climat de la région d'étude est semi-aride (Hiver froid et Eté chaud). La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 392.68 mm /an. La variation de la température durant l'année se fait d'une manière progressive avec une moyenne de 16.45°C.

Le bilan hydrique et l'estimation de ses paramètres, nous ont permis de ressortir les résultats suivants :

- ☐ Une évapotranspiration réelle de l'ordre de 392.68 mm/an ce qui représente 100 % des précipitations moyenne annuelles.
- ☐ Une infiltration nulle (est égale à 00 mm/an) et un ruissellement égal à 25.25 mm/an.
- ☐ Le déficit des précipitations pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle (ETP) est de l'ordre de 498.8 mm/an répartie du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre, ce qui donne une idée sur l'irrigation nécessaire des terres agricoles durant cette période.

PARTIE III

Etude hydrogéologique et Evaluation des ressources en eaux mobiisables

Cette partie comprend les chapitres suivants :

- *Approche géophysique.*
- *L'Etude hydrodynamique.*
- *Cadre hydrochimique.*
- *Evaluation des ressources en eaux mobilisables.*

CHAPITRE 4

Approche géophysique

A la demande du service hydrogéologique de l'A.N.R.H. de Constantine; la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.) a réalisé en 1976 une étude géophysique dans la région d'Oum El-Bouaghi par méthode électrique; au cours de laquelle 320 sondages électriques ont été exécutés.

1. Introduction –Problèmes posés:

L'étude géophysique dans la région d'Oum El-Bouaghi a été faite pour répondre aux objectifs suivants :

- Détermination de la structure des calcaires crétacés sous le remplissage.
- Détermination des zones de meilleure perméabilité dans le remplissage et les calcaires.
- Identification des accidents tectoniques affectant les calcaires.

Toute la région a été subdivisée en plusieurs zones (Fig. 12) dont celle qui nous intéresse est la zone « H » : F'Kirina. Cette dernière est bordée à l'Ouest par Gareat E-Tarf, à l'Est, au Sud-Est et au Nord-Est par les affleurements du Crétacé Supérieur (calcaires).

D'après l'ANRH, 320 sondages électriques ont été exécutés en deux longueurs d'émissions AB=3000 mètres et AB=400 mètres.

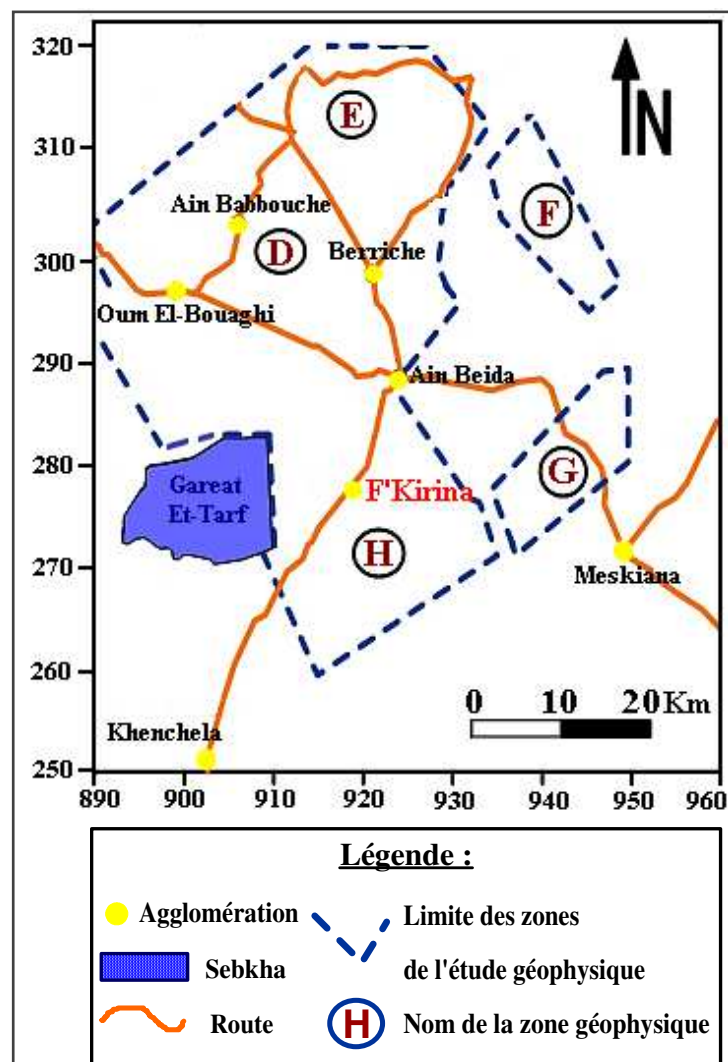


Fig.12: Carte de situation des zones de l'étude géophysique dans la plaine de F'Kirina.

(C.G.G., 1976)

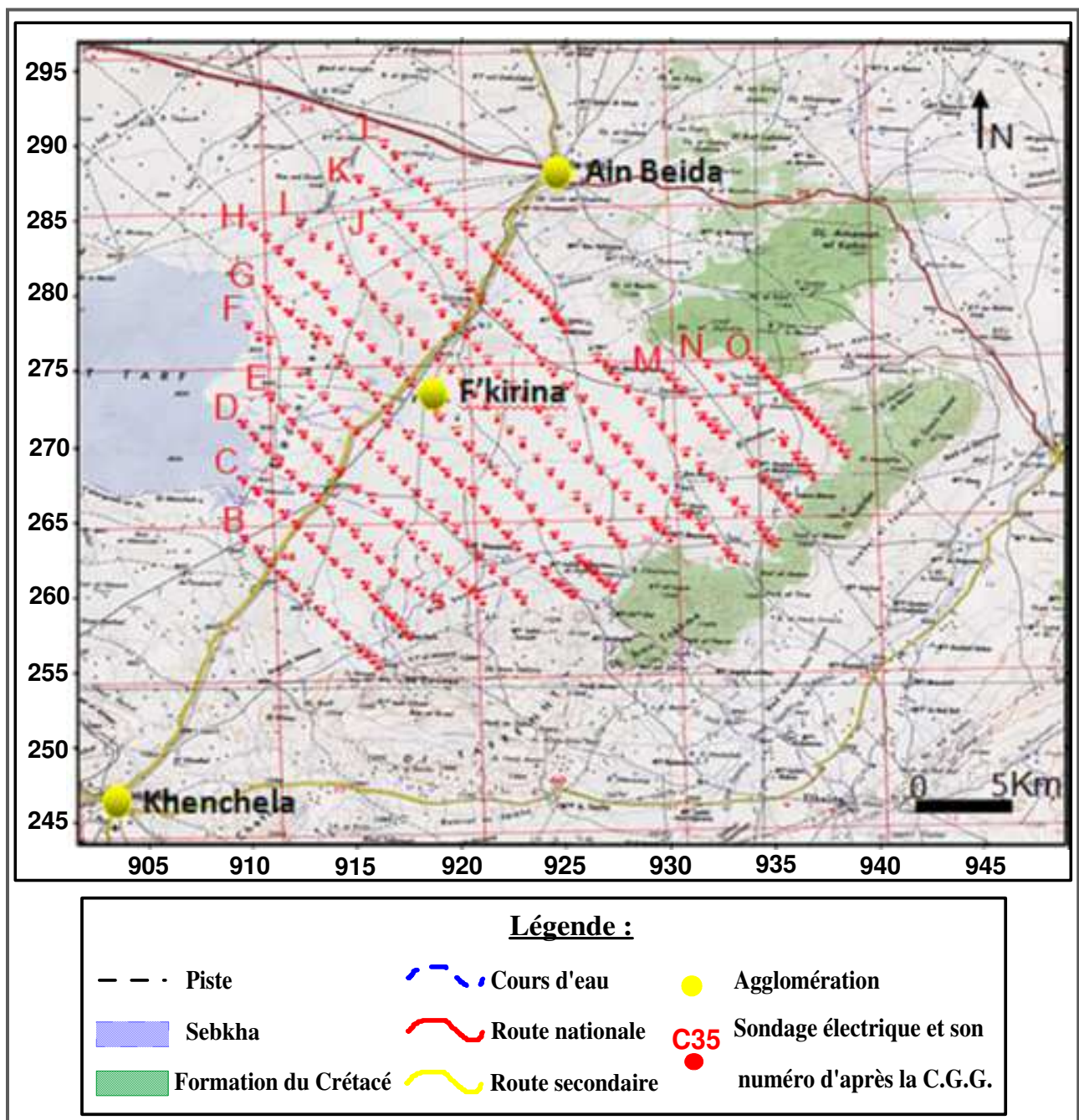


Fig.13: Carte de position des sondages électriques dans la plaine de F’Kirina d’après la C.G.G. (A.N.R.H., 2003).

2. Résultats de la prospection électrique :

La prospection électrique réalisée par la Compagnie Générale de Géophysique en 1976 dans la plaine de F’Kirina a permis l’élaboration de plusieurs cartes et coupes géoélectriques qui ont mis en évidence :

- Les différents niveaux de résistivité et en particulier les horizons résistants superficiels ou profonds pouvant avoir un intérêt aquifère.

- Les zones conductrices sans intérêt aquifère représentées en général par des marnes, des argiles ou des eaux plus ou moins salées.
- Les discontinuités électriques correspondant à des failles, à de forts pendages ou à des changements de faciès.

2-1. Coupes géoélectriques :

Elles montrent les différents niveaux de résistivité, leurs variations d'épaisseurs et les discontinuités électriques. Un certain nombre de coupes géoélectriques à été réalisé suivant des profils orientés Nord-Ouest / Sud-Est où deux les « H » et « I » concernant la région d'étude vont être interprétées.

2-1-1. Coupe « H » :

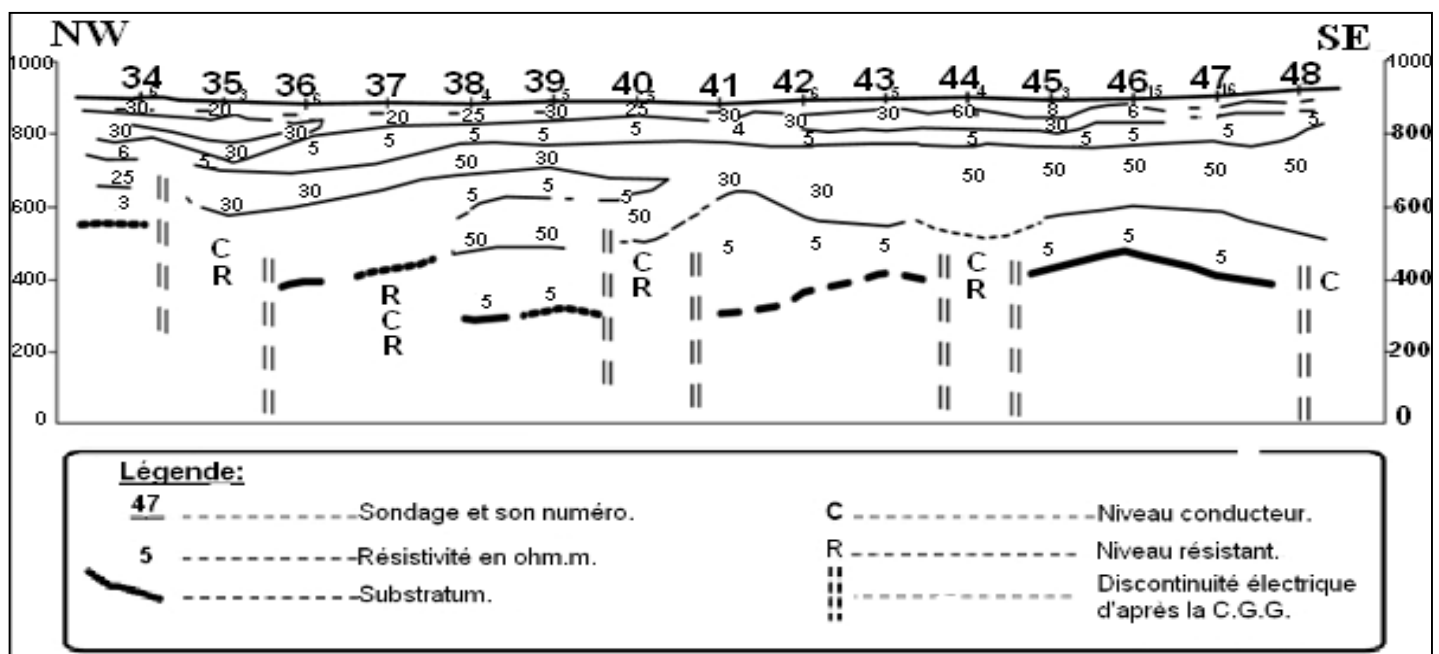


Fig.14 : Coupe géoélectrique suivant le profil « H » (C.G.G., 1976).

Cette coupe montre d'une façon générale l'existence d'un substratum résistant et très accidenté (failles avec fort pendage) qui correspond probablement à des calcaires. Il présente une allure ondulée et se trouve à une profondeur d'environ 400 mètres.

Au dessus de ce substratum, il existe un ensemble de couches dont la morphologie suit celle de substratum et les valeurs de la résistivité alternent entre faibles et fortes valeurs. Ceci est probablement dû à l'alternance des couches correspondant d'après les forages à des argiles, graviers et calcaires tertiaires et quaternaires.

2-1-2. Coupe « I » : (Fig. 15)

Cette coupe est parallèle à la précédente et présente les mêmes caractéristiques électriques, avec un substratum qui se localise à des profondeurs pouvant atteindre les 200 mètres et qui présente des ondulations, au dessus des alternances de couches de faibles épaisseurs, ou de lambeaux de couches. A la différence de l'autre, cette coupe ne présente qu'une seule discontinuité électrique au niveau du sondage « I38 ».

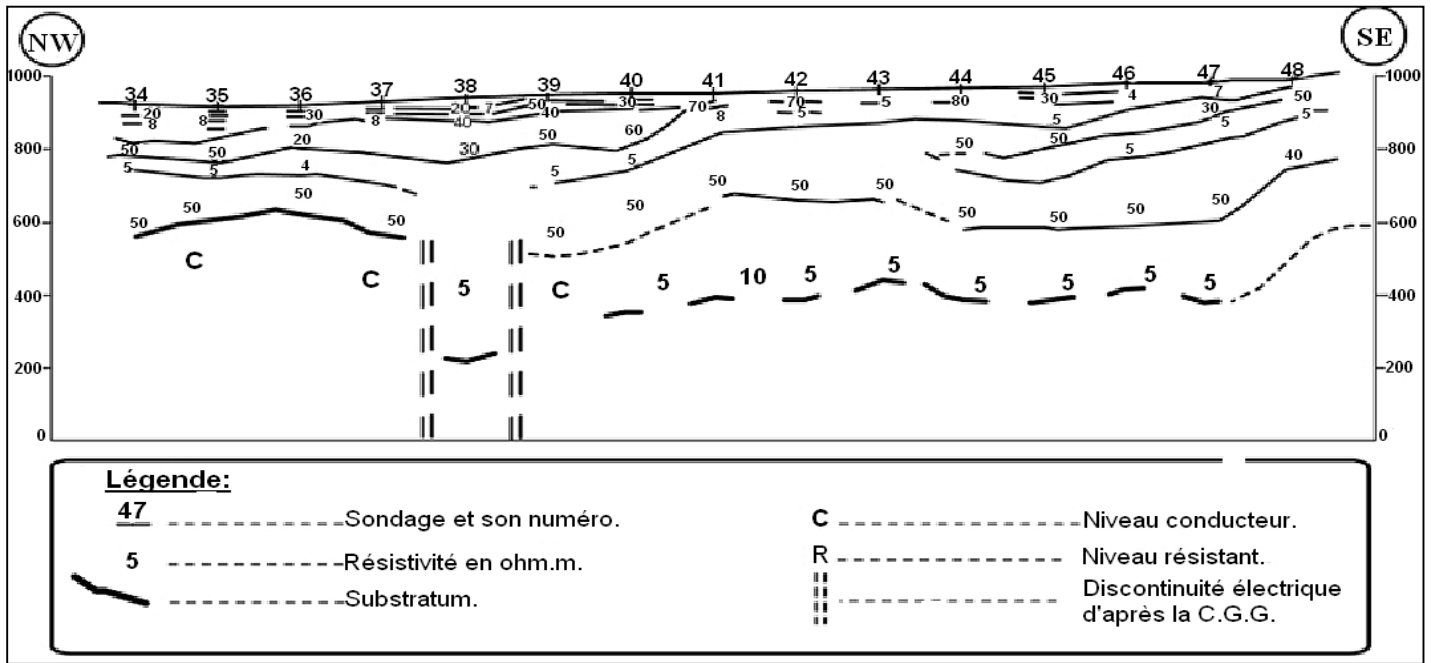


Fig.15 : Coupe géoélectrique suivant le profil « I » (C.G.G., 1976).

2-2. Cartes des résistivités apparentes :

Elles peuvent être construites soit à partir des mesures des profils de résistivité, soit à partir des mesures de sondages électriques par une longueur de ligne AB donnée.

2-2-1. Cartes des résistivités apparentes AB = 400 mètres: (Fig. 16)

Sur l'ensemble du secteur étudié qui est représenté par des formations quaternaires et des formations du Crétacé Supérieur affleurant à l'extrémité Nord-Est et Sud-Est, les résistivités apparentes varient entre 10 à 20 Ω m. Ces faibles valeurs sont dues probablement soit à l'importance de l'épaisseur du remplissage Mio-Plio-Quaternaire soit à l'influence d'un substratum conducteur.

2-2-2. Cartes des résistivités apparentes AB = 3000 mètres: (Fig. 17)

Pour une longueur de ligne AB = 3000 mètres, la profondeur d'investigation est apparemment plus importante et les résistivités apparentes sont entre 10 et 30 Ω m. Il y a donc une influence des niveaux résistants marqués par la courbe d'équirésistivité 30 Ω m et qui correspondent d'après la carte géologique à des calcaires.

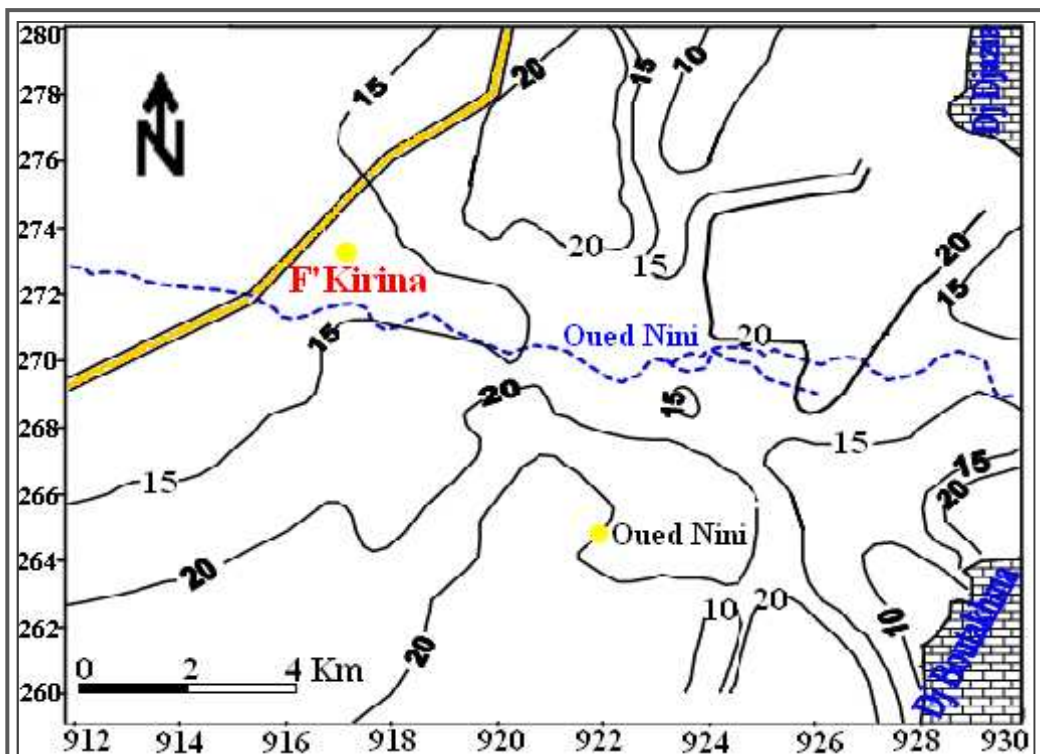


Fig.16: Carte de résistivités apparentes AB = 400 mètres (C.G.G, 1976).

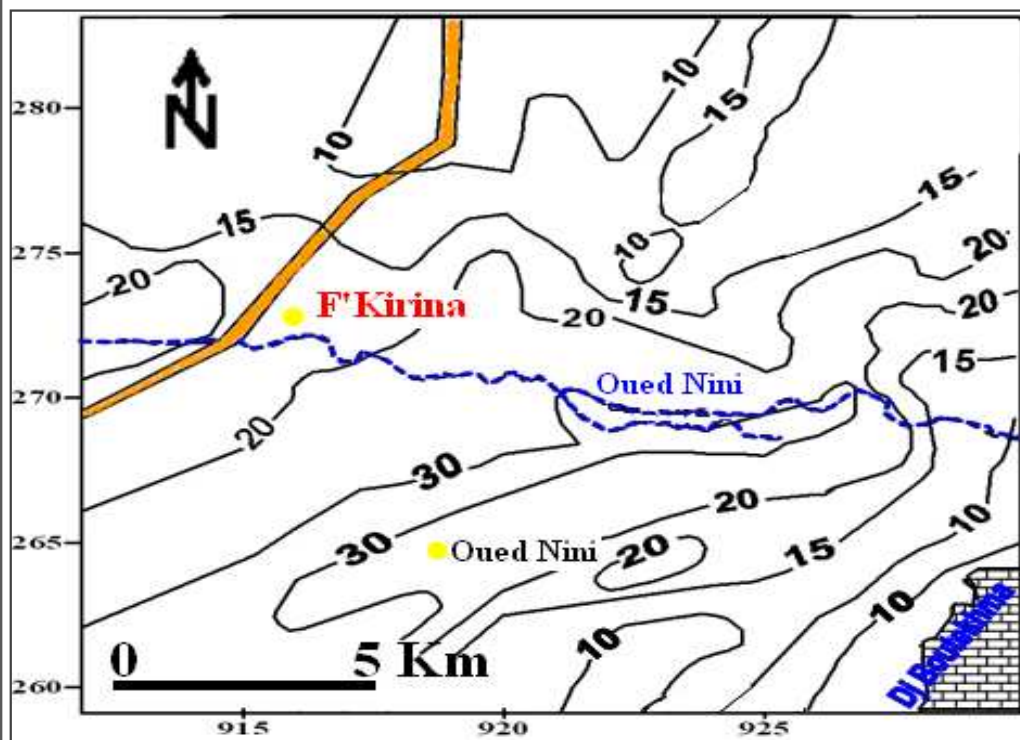


Fig.17 : Carte de résistivités apparentes AB = 3000 mètres (C.G.G., 1976).

Légende:

- Agglomération
- Cours d'eau
- Route
- Massif carbonaté du Crétacé Supérieur
- Quaternaire
- Courbe d'égle-résistivité apparente

2-3. Carte structurale d'après la géophysique : (Fig. 18)

Sur cette carte sont reportées les discontinuités (accidents, failles,...) définies sur les coupes géoélectriques.

Pour la région d'étude, la carte structurale réalisée met en évidence des discontinuités électriques orientées Nord-Est, Sud-Ouest et qui peuvent être attribuées soit à des failles, soit à un fort pendage ou à un changement de faciès.

D'autre part, on signale l'existence de fosses d'effondrements le long de la route Ain-Beida, F'Kirina, aux alentours du point « G55 » et près du massif Bou Tokhma.

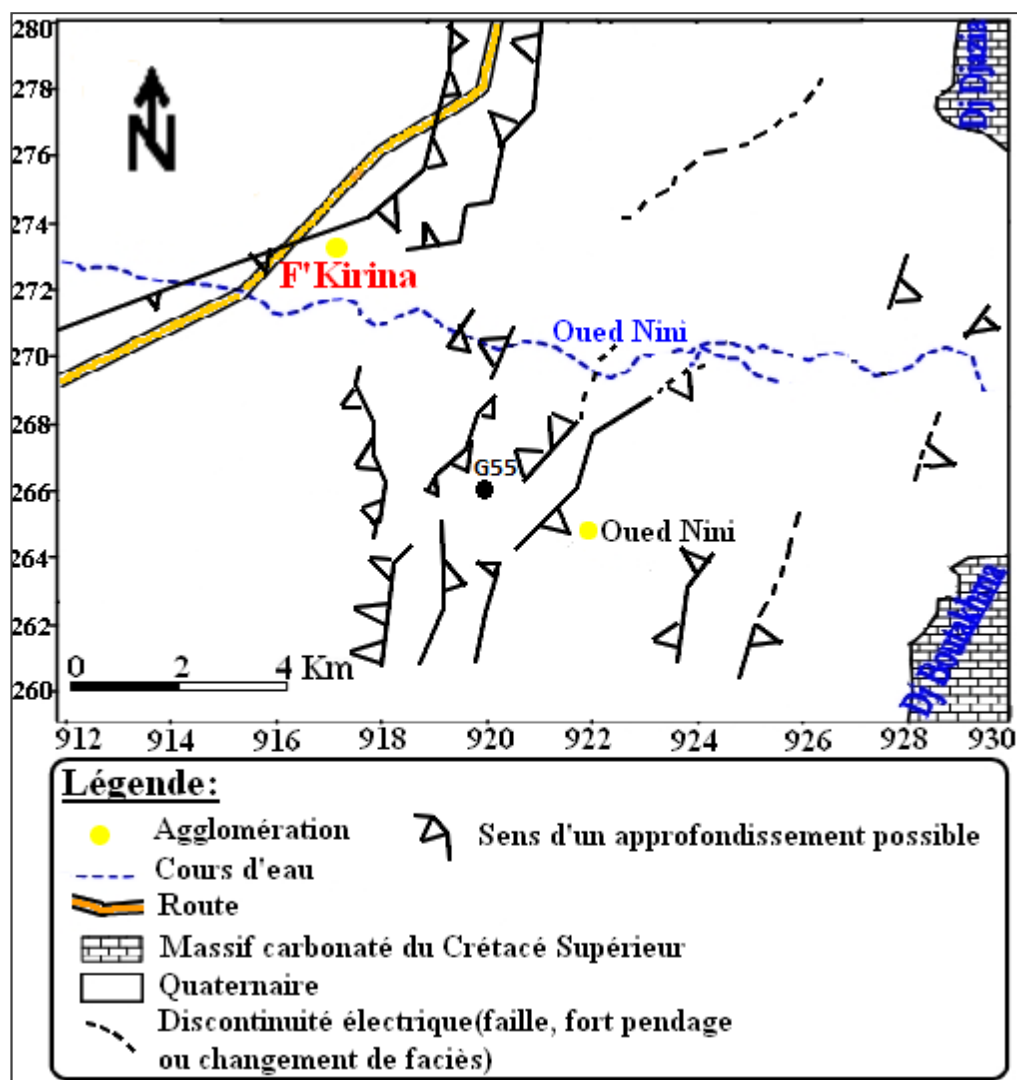


Fig.18: Carte structurale d'après la géophysique de la plaine de F'Kirina.

(C.G.G., 1976).

3. Géométrie de l'aquifère :

L'identification de la géométrie des couches aquifères nécessite une compilation de plusieurs

méthodes, tels que la prospection électrique, les forages mécaniques et l'établissement des coupes hydrogéologiques qui permettent de déduire les dimensions des nappes et leurs nature lithologique, ce qui conduit à une meilleure exploitation des couches aquifères et aide à une bonne gestion des ressources hydriques.

A cet effet, et pour atteindre cet objectif, nous allons essayer de faire une corrélation entre les données géologiques et géophysiques.

3-1. Apport de forages mécaniques:

A partir des mêmes sondages électriques, la C.G.G. a proposé en 1976 plusieurs forages mécaniques dont les objectifs sont les suivants :

- ▀ Tester le résistivité à 50 Ωm et à 100 Ωm . A cet effet, deux forages « F46 » et « G50 » ont été réalisés.
- ▀ Etudier le substratum résistivité peu profond. Pour cela, la C.G.G. a réalisé les forages « C39 », « E32 » et « E34 ».
- ▀ Tester le substratum et l'important niveau résistivité dans l'extrême Sud-Est de la plaine. A cet égard, la C.G.G. a réalisé les forages « L67 » et « O45 ».

L'ensemble de ces forages est mentionné dans la carte de situation de forages mécaniques (Fig. 19).

3-2. Carte du toit de substratum:

A l'aide des résultats obtenus par l'interprétation des 14 profils géoélectriques, 320 sondages électriques et plusieurs coupes de forages fournis par la C.G.G., l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A.N.R.H.) de Constantine a élaboré en 2003 une carte du toit de substratum (Fig. 20) dont l'analyse a permis la mise en évidence de deux structures différentes, des blocs effondrés et d'autres surélevés :

- **Les blocs effondrés :** on distingue deux grandes zones ; la première est située au Sud - Ouest de la plaine entre les sondages électriques « E36 » et « C27 », « C38 » où la cote du toit de substratum est équivalente à 590 mètres dans certains endroits. La deuxième zone est située à l'Est de la plaine entre les sondages électriques « J43 », « J51 » et « K48 », « K55 » où la cote du toit de substratum est de 690 mètres. On remarque que la première zone est plus vaste et fracturée que la deuxième zone.
- **Les blocs surélevés :** se localisent aux piémonts des massifs septentrionaux et méridionaux, dans la partie Nord, au niveau du Djbel El-Djezia, entre les sondages électriques

« L51 », « L55 » et « N33 » où la cote du toit de substratum est de 840 mètres. Ce bloc est l'extension ou le plongement du massif dans la plaine, il réapparaît au niveau de Koudiet Er-Radjel. Dans la partie Sud, nous avons deux zones : la première se localise au piémont du massif Bou Thokma, cette zone est l'extension du monoclinale Bou Thokma - Fedjidjet où la cote du toit est de 840 mètres. La deuxième se situe au niveau de Koudiet El Mzara où on remarque que la courbe 840 mètres passe parallèlement et plus proche aux affleurements du Maestrichtien. Cette courbe représente la limite des affleurements du Maestrichtien. Cette zone qui paraît aussi très fracturée représente un synclinal perché dont le cœur est représenté par des formations de l'Eocène.

Au centre de la plaine nous avons aussi des blocs surélevés séparés par l'Oued Nini dont la cote est de 840 mètres. Ces blocs ont engendré des protubérances au niveau de la carte piézométrique (BE, 2003) (voir la piézométrie) et le jaillissement du forage « H47 » avec les fractures existantes.

3-3. Essai de corrélation entre la géologie et la géophysique :

Pour définir la nature lithologique des formations géologiques de la zone d'étude, une corrélation entre les données géologiques et géophysiques est nécessaire en interprétant les caractéristiques lithologiques et géoélectriques des forages réalisés par la C.G.G. dans la plaine de F'Kirina, d'après l'étude hydrogéologique faite par l'A.N.R.H. de Constantine en 2003.

3-3-1. Forage « G50 »:

(Réalisé en 1987, Coordonnées : $x = 917.850$, $y = 268.650$, profondeur = 105mètres).

Tableau N° 12 : Caractéristiques lithologiques et géoélectriques du forage « G50 » :

Profondeurs en mètres	Résistivités en ohm.m.	Forage mécanique équivalent
00-10 m.	10 Ω m.	Argile brune + graviers fins.
10-25 m.	40 Ω m.	Calcaire blanchâtre très friable + galets + argile.
25-30 m.	05 Ω m.	Calcaire tufacé + graviers + argile brune.
30-80 m.	30 Ω m.	Calcaire blanc (très décomposé) + calcaire friable + graviers de calcaires blanchâtres + argile jaune à la base.
80-120 m.	05 Ω m.	Argile brune + graviers de calcaires + argile rouge + graviers et galets à la base.
120-300 m.	50 Ω m.	Non atteinte.
300-550 m.	05 Ω m.	Non atteinte.

Source: A.N.R.H. de Constantine, 2003.

Les caractéristiques lithologiques et géoélectriques du forage « G50 » présentent une grande analogie. Par ailleurs, le « G50 » présente une lithologie identique à celle du forage « I40 » sauf qu'au niveau du forage « G50 » les dépôts (graviers + argile + galets) sont plus épais.

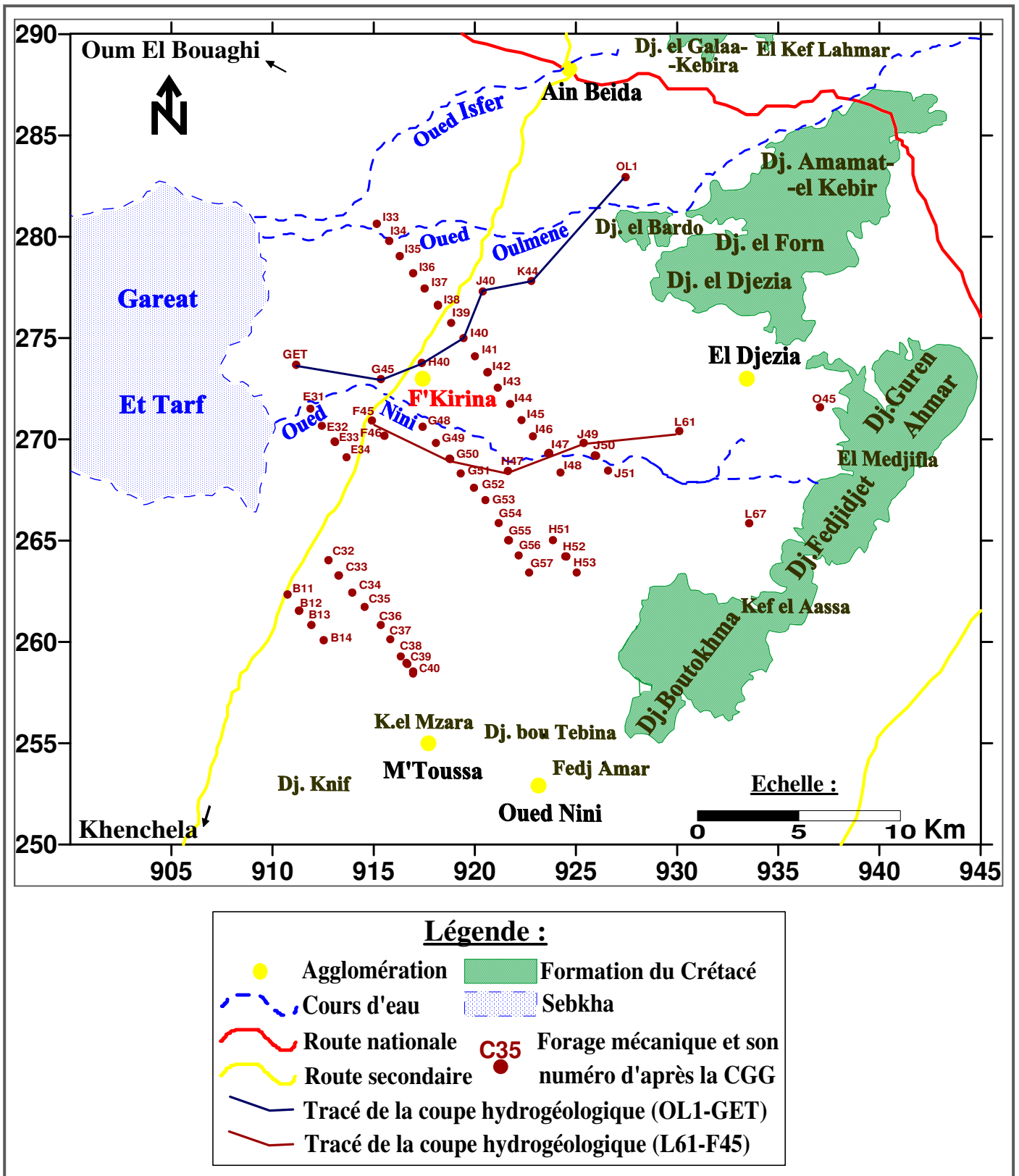


Fig. 19 : Carte de situation de quelques forages mécaniques réalisés par la C.G.G., 1976. (2019).

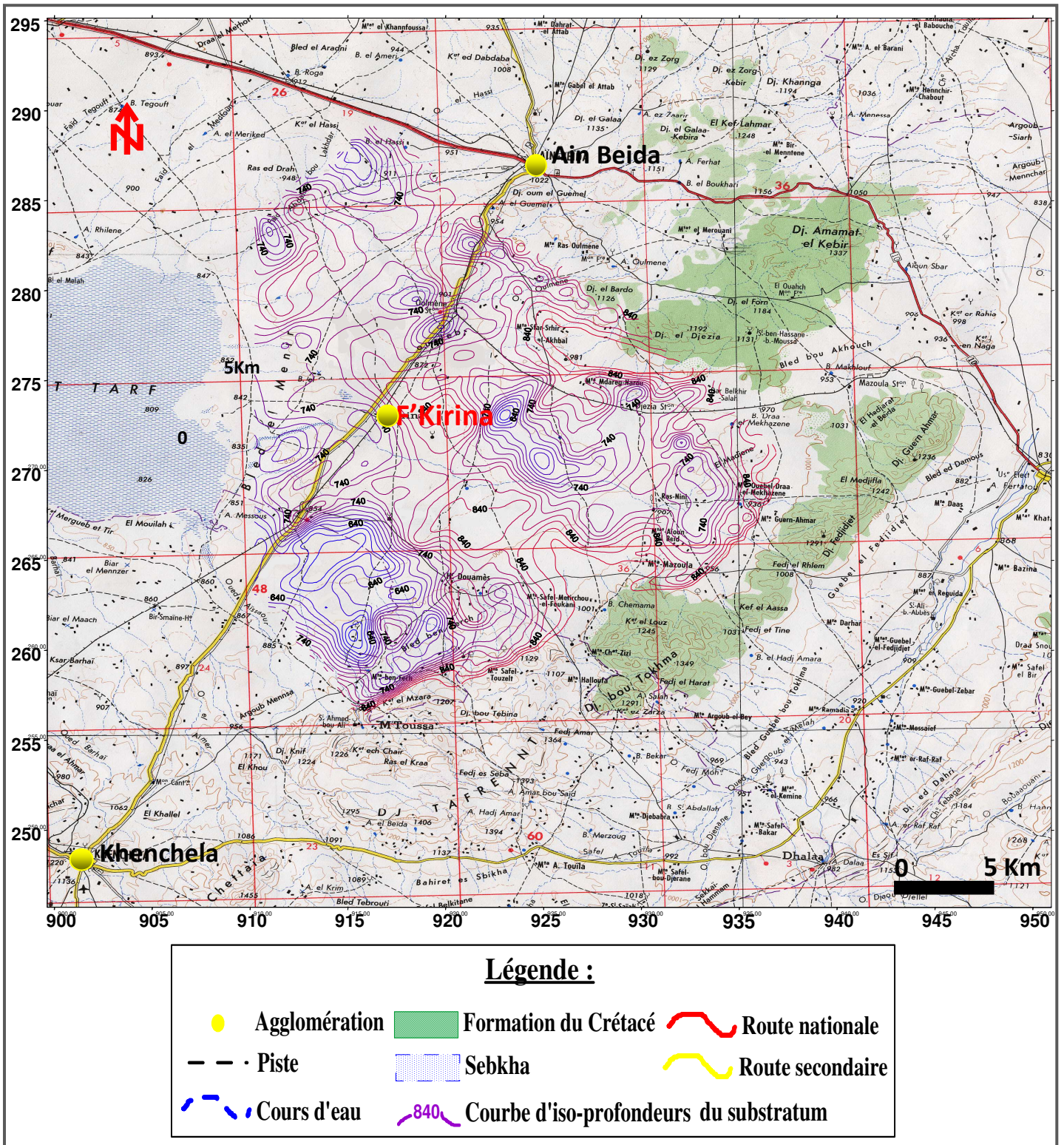


Fig.20 : Carte du toit de substratum de la plaine de F'Kirina (A.N.R.H., 2003).

3-3-2. Forage « B12 » :

(Réalisé en 1985, Coordonnées : x = 911.45, y = 261.300, profondeur = 150 mètres).

Tableau N° 13: Caractéristiques lithologiques et géoélectriques du forage « B12 » :

Profondeurs en mètres	Résistivités en ohm.m.	Forage mécanique équivalent
00-10 m.	42 Ω m.	Sables fins argileux, à la base graviers de calcaires+ argiles.
10-50 m.	06 Ω m.	Argile rougeâtre + graviers, à la base argile jaune.
50-150 m.	50 Ω m.	Au sommet marne grise puis marne grise et graviers de calcaires, à la base des calcaires gris blanc friables.
150-200 m.	03 Ω m.	Non testé.
200-320 m.	80 Ω m.	Non testé.
Au-delà de 320m.	50 Ω m.	Non testé.

Source: A.N.R.H. de Constantine, 2003.

D'après ces résultats, on peut dire que les premiers niveaux présentent une analogie avec la coupe géoélectrique sauf au troisième niveau où nous avons une résistivité de 50 Ω m.

La série lithologique du forage montre de haut en bas des argiles puis des marnes, ensuite des marnes grises et graviers et enfin des calcaires friables. Ce forage est artésien, son niveau dynamique se trouve à 55 mètres.

3-3-3. Forage « H52 »:

(Réalisé en 1981, Coordonnées : x = 941.500, y =264.150, profondeur = 150 mètres).

Tableau N° 14 : Caractéristiques lithologiques et géoélectriques du forage « H52 » :

Profondeurs en mètres	Résistivités en ohm.m.	Forage mécanique équivalent
00-25 m.	60 à 40 Ω m.	Argile jaune + graviers de calcaires avec peu d'argile.
25-70 m.	70 Ω m.	Argile jaune+ graviers et galets +argile sableuse + graviers de calcaires.
70-100 m.	05 Ω m.	Pas de cuttings.
100-170 m.	100 Ω m.	Pas de cuttings.
170-400 m.	05 Ω m.	Non testé.

Source: A.N.R.H. de Constantine, 2003.

D'après ces résultats, on remarque que ce forage présente une analogie entre sa lithologie et ses caractéristiques géoélectriques.

3-3-4. Forage « G55 »:

(Réalisé en 1991, Coordonnées : x = 921.750, y =265.950, profondeur = 150 mètres).

Tableau N° 15 : Caractéristiques lithologiques et géoélectriques du forage « G55 » :

Profondeurs en mètres	Résistivités en ohm.m.	Forage mécanique équivalent
00-10 m.	8-16 Ω m.	Graviers de calcaires puis graviers de calcaires et argile beige.
10-30 m.	60 Ω m.	Graviers de calcaires + argile, à la base argile rouge mixte avec graviers de calcaires.
30-70 m.	10 Ω m.	Argile avec peu de graviers, à la base graviers de calcaires beiges.
70-130 m.	30 Ω m.	Au sommet argile + graviers, à la base alternance de marne et marno-calcaires.
130- 190 m.	05 Ω m.	Marne grise.
190-380 m.	50 Ω m.	Non testé.

Source: A.N.R.H. de Constantine, 2003.

Ce forage présente une analogie entre les résistivités et les caractéristiques lithologiques. L'horizon aquifère correspond à la couche de résistivité 60 Ω m.

3-3-5. Forage « I40 » :

(Réalisé en 1980, Coordonnées : x = 919.390, y =274.890, profondeur = 100 mètres).

Tableau N° 16 : Caractéristiques lithologiques et géoélectriques du forage « I40 » :

Profondeurs en mètres	Résistivités en ohm.m.	Forage mécanique équivalent
00-10 m.	170 Ω m.	Argile brune avec peu de graviers de calcaires.
10-25 m.	60 Ω m.	Galets et graviers de calcaires.
25-35 m.	06 Ω m.	Argile rouge avec graviers de calcaires.
35-90 m.	60 Ω m.	Pas de cuttings.
Au-delà de 100m.	05 Ω m.	Marne grise.

Source: A.N.R.H. de Constantine, 2003.

Dans ce forage il ya une bonne corrélation entre la géophysique et les caractéristiques lithologiques. L'horizon aquifère correspond à la couche de résistivité 60 Ω m.

3-3-6. Forage « I38 » :

(Réalisé en 1988, Coordonnées : x = 918.150, y =276.550, profondeur = 172 mètres).

Tableau N° 17 : Caractéristiques lithologiques et géoélectriques du forage « I38 » :

Profondeurs en mètres	Résistivités en ohm.m.	Forage mécanique équivalent
00-10 m.	20 Ω m.	Argile beige + graviers de calcaires.
10-20 m.	10 Ω m.	Argile avec peu de graviers.
20-35 m.	10 Ω m.	Argile jaune avec graviers de calcaires.
35-50 m.	30 Ω m.	Graviers de calcaires avec très peu d'argile.
50-170m.	05 Ω m.	Graviers de calcaires.
Au-delà de 170m.	50 Ω m.	Marne.

Source: A.N.R.H. de Constantine, 2003.

Pour ce forage aussi, il ya une conformité entre les caractéristiques géoélectriques et lithologiques. L'horizon aquifère est désigné par la couche de résistivité 30 Ωm .

3-4. Type des nappes aquifères de la plaine de F'Kirina :

La synthèse des données précédentes nous a permis de caractériser les formations hydrogéologiques qui existent dans la région d'étude. Au fait, on distingue deux nappes aquifères superposées de haut en bas :

- **La nappe du Mio-Plio-Quaternaire :**

Elle est caractérisée par les formations lithologiques suivantes : graviers et argiles, graviers de calcaires et galets. Cette nappe d'une puissance variant de 10 à 100 mètres, a une très grande extension horizontale vu que les formations du Mio-Plio-Quaternaire recouvrent toute la plaine.

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 superposée 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 déterminé vu que tous les forages qui l'exploitent sont imparfaits (ne dépassent pas les 150 mètres de puissance).

Les tableaux N° 18 et 19, fournis par l'A.N.R.H. de Constantine montrent en détailles les principaux horizons aquifères de la région d'étude.

Tableau N° 18 : Les principaux aquifères Tertio- Quaternaire. (Source: A.N.R.H. de Constantine, 2003).

Age géologique probable d'après analogie avec les régions voisines étudiées		Lithologie générale		Principaux horizons aquifères
Quaternaire Actuel	Couches de sol. Eboulis. Alluvions actuelles et récentes du fond des vallées.		Argiles sableuses et graviers. Formés par des blocs de calcaires du Maestrichtien. Graviers grossiers parfois mal cimentés aux conglomérats friables, sables et limons ; généralement dépôts argilo - sableux dans les basses parties d la plaine	Horizon aquifère.
	Quaternaire ancien remplissage des dépressions.	Croûte calcaire principale, sommet du Quaternaire ancien. Alluvions caillouteuses des plateaux. Sables. Argiles et pélites.		
Néogène		Pliocène	Calcaires lacustres.	Calcaires noduleux bréchiques à la base et travertineux au sommet. Argile, grès, conglomérats localisés à la base.
	Argiles, grès, conglomérats.			
Miocène	Calcaires gréseux.	Calcaires gréseux roux d'aspect noduleux en banc à dominante gréseuse et rares intercalations marneuses. Conglomérats mal cimentés.		
	Conglomérats.			
Paléogène	Eocène	Calcaires	Des alternances de calcaires blanchâtres à nombreux rognons de silex 80 m. Des alternances des marnes grises, beiges et de biomicrites vers le finement gréseuses. Des marnes grises- verdâtre à la base 70 m.	Principal horizon aquifère pour les sources, localisé principalement dans la partie méridionale de la zone d'étude.
		Marnes, calcaires		
		Marnes		

Tableau N° 19 : Les principaux aquifères du Crétacé Supérieur (Maestrichtien). (Source: A.N.R.H. de Constantine, 2003).

Age géologique probable d'après analogie avec les régions voisines étudiées		Lithologie générale	Principaux horizons aquifères
Maestrichtien Supérieur	Calcaires marneux et marnes.	Alternances de calcaires marneux beiges à cassure blanchâtre.	Principal Horizon aquifère du Crétacé Supérieur.
Maestrichtien Inférieur	Calcaires.	Calcaires gris- blanchâtres, crayeux à rognons de silex.	
	Marnes.	Marnes grises- beiges, suivies d'alternances de marnes de biomicrudites argileuses ocre.	
Campanien	Marnes.	Marnes grises- beiges, suivies d'alternances de marnes de biomicrudites argileuses ocre.	En général formations de très petites ressources.
	Calcaires marneux.	Calcaires marneux plus ou moins crayeux à cassure laiteuse alternance avec films de marnes grises.	
Santonien.	Marnes noires.	Marnes sombres grises légèrement gypseuses.	

3-5. Coupes hydrogéologiques :

Pour mieux comprendre et visualiser le système aquifère de la plaine de F’Kirina, on a réalisé les deux coupes hydrogéologiques mentionnées dans la figure 19 page 35.

3-5-1. Coupe hydrogéologique suivant le tracé (L61-F45) :

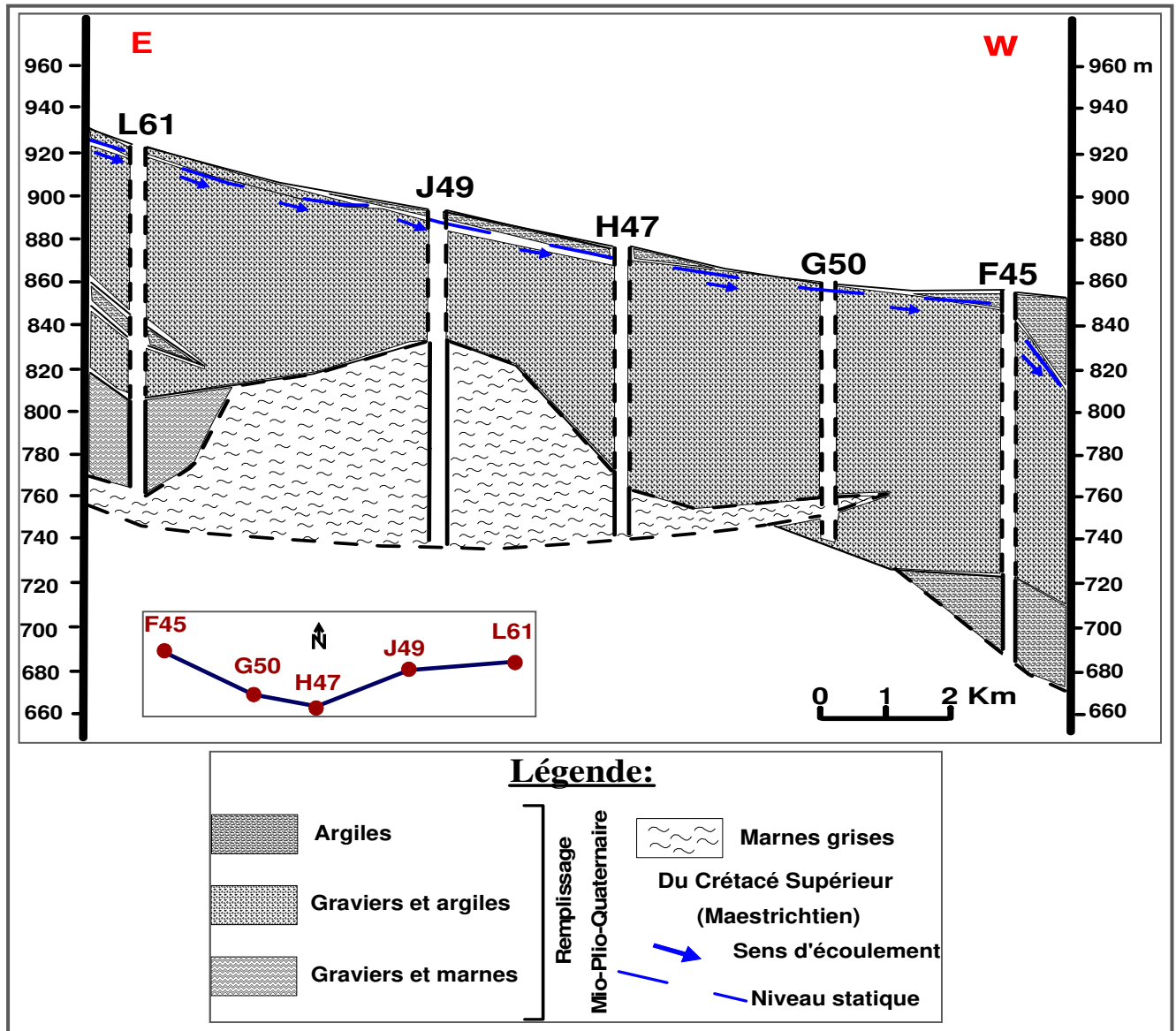


Fig.21: Coupe hydrogéologique suivant le tracé (L61-F45) dans la plaine de F’Kirina (2019).

D’orientation Est-Ouest, cette coupe traverse successivement les forages « L61 », « J49 », « H47 », « G50 » et « F45 ».

Le substratum du Maestrichtien Inférieur est marneux à l’Est de la région d’étude et argileux vers l’Ouest (vers Gareat Et-Tarf). Il est surmonté par une couche de graviers et argiles avec des

marnes à l'Est dont l'épaisseur est très variable, allant de 50 mètres dans le forage « J49 », à 90 et 100 mètres respectivement dans les forages « H47 » et « G50 ». Cette nappe du Mio-Plio-Quaternaire est captive au niveau des forages « G49 », « H47 » et « F45 » avec un toit argileux et Libre au niveau des forages « L61 » et « G50 ».

Le sens de l'écoulement est de direction Est-Ouest, vers Gareat Et-Tarf, l'exutoire naturel.

On remarque l'absence de la nappe des calcaires du Maestrichtien Supérieur car cette coupe passe directement par la zone d'érosion (A.N.R.H, 2003).

3-5-2. Coupe hydrogéologique suivant le tracé (OL1-GET) :

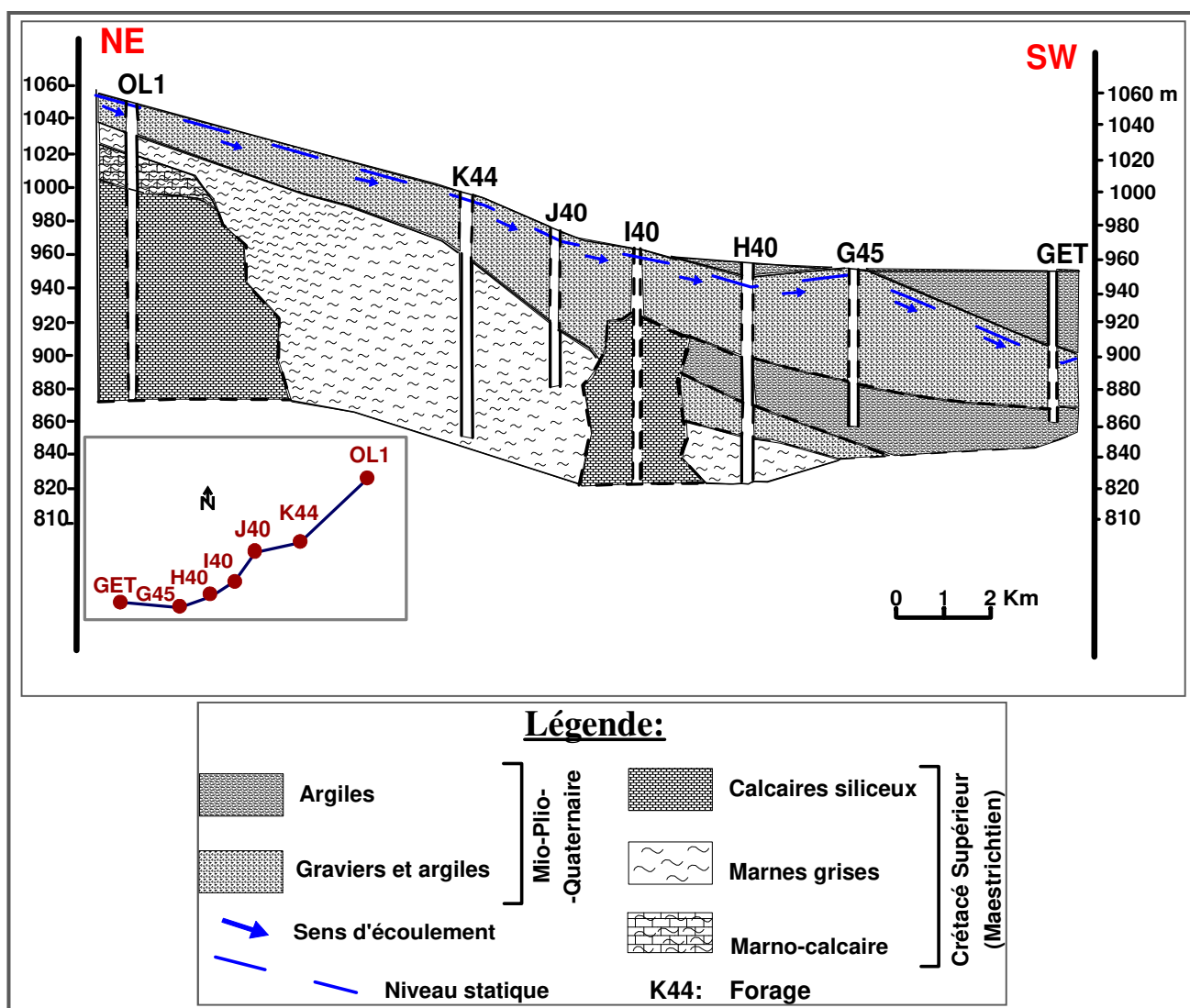


Fig.22: Coupe hydrogéologique suivant le tracé (OL1-GET) dans la plaine de F'Kirina (2019).

Les forages « I40 » et « OL1 » mettent en évidence les deux types de nappes (celle du Mio-Plio-Quaternaire et celle du Maestrichtien Supérieur) qui sont en relation hydraulique directe au niveau du

forage « I40 » et indirecte au niveau du forage « OL1 » où il existe les marnes imperméables entre les deux nappes.

Pour le reste des forages (K44, J40, I40, H40, G45 et GET), ils mettent en évidence seulement la nappe du Mio-Plio-Quaternaire qui a un substratum marneux au niveau des forages « J40 » et « K44 » et argileux au niveau des forages « G45 » et « GET ». Cette nappe possède une continuité horizontale contrairement à la nappe des calcaires maestrichtiens qui est horizontalement discontinue.

D'autre part, la nappe est libre au niveau de l'ensemble des forages, sauf au niveau des « H40 » et « GET » où elle est captive avec un toit argileux.

3-6. Alimentation et décharge de la nappe : (D'après Houha Belcacem, 2007)

3-6-1. Alimentation de la nappe superficielle:

En dehors des infiltrations directes des eaux de pluie, la nappe superficielle est alimentée par les eaux qui dévalaient les versants Nord des massifs bordiers (Djbel Taffrent, Bou Tokhma, El-Knif, El Krouma et les Aurès). Cette alimentation, assurée par une perméabilité relativement bonne des calcaires Maestrichtiens et des grès Miocènes, est sous forme d'un drainage latéral.

3-6-2. Alimentation de l'aquifère carbonaté:

La nappe profonde est alimentée aussi directement par les eaux de pluie récoltées sur tout l'impluvium sous forme d'infiltration efficace et indirectement à partir des formations carbonatées, notamment celles qui dominant le paysage au Sud-Est et à l'Est de la plaine sous forme d'écoulement latéral. Cette alimentation est favorisée par l'existence d'un réseau de fractures et d'une karstification (Durosoly, 1949 et Vila 1977) très dense susceptible de véhiculer un volume d'eau important. L'examen des coupes des forages à montré la possibilité de certains échanges hydrauliques entre les deux nappes (superficielle et profonde) sous forme de drainance.

3-6-3. Vidange de la nappe:

Cette vidange qu'elle soit horizontale, par drainage des eaux vers la sebkha, ou verticale par les échanges inter-nappes ou drainance, reste le seul moyen de remobilisation et renouvellement des eaux superficielles et souterraines.

Les prélèvements par pompage et l'évaporation sont d'autres facteurs qui conditionneraient et activeraient la décharge.

4. Conclusion :

Le système aquifère dans la plaine de F'Kirina est composé de deux nappes : la première est représentée par des formations carbonatées du Crétacé Supérieur, qui sont fissurés et karstifiés et forment un milieu favorable à l'accumulation des eaux souterraines, et la deuxième qui la surmonte, est recouverte par des formations plus récentes d'âge Mio-Plio-Quaternaire.

CHAPITRE 5

L'étude hydrodynamique

L'étude de l'état hydrodynamique de la nappe permet de définir l'écoulement, l'alimentation et la résurgence des eaux souterraines.

L'interprétation des cartes piézométriques va nous permettre de caractériser les directions d'écoulement de la nappe ainsi que les zones de drainages et l'évolution du gradient hydraulique.

1. Piézométrie:

1-1. Inventaire des points d'eau:

Dans le cadre de ce travail, on a sélectionné un réseau représentatif de 21 points d'eau captant la nappe superficielle (15 puits et 6 forages) et qui sont mentionnés sur la carte d'inventaire suivante:

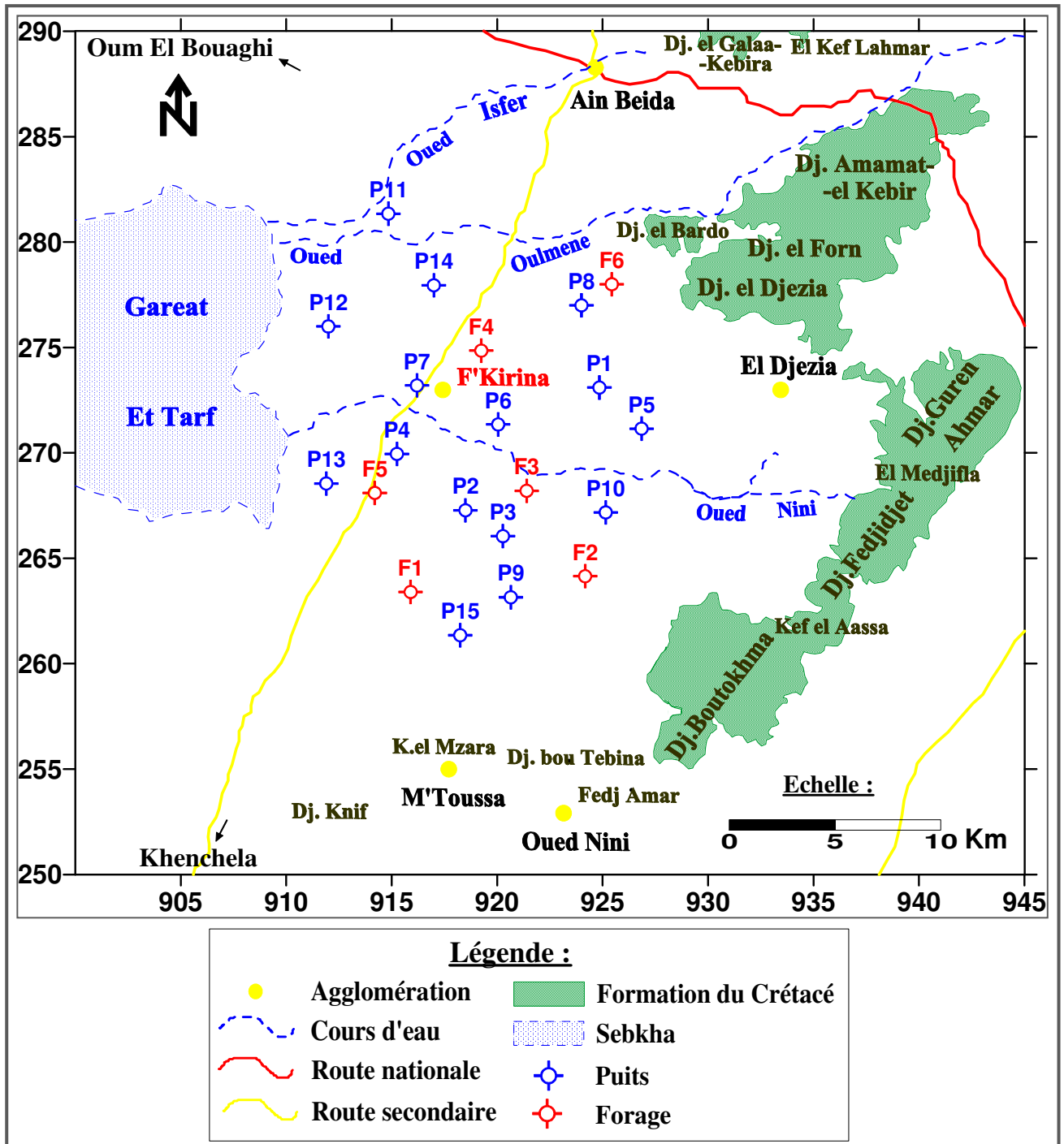


Fig. 23: Carte d'inventaire des points d'eau dans la zone d'étude.

Ces points d'eau ont fait l'objet de deux campagnes de relevés piézométriques; la première a été effectuée durant la période des hautes eaux (Mai 2016) et la deuxième en période des basses eaux (Novembre 2016). Les résultats obtenus ont permis de dresser les deux cartes suivantes:

1-1-1. Carte piézométrique des hautes eaux (Mai 2016) : (Fig. 24)

Elle montre un écoulement général des massifs carbonatés vers la Gareat Et-Tarf qui constitue un exutoire naturel, selon trois directions : (Nord-Est/Sud-Ouest), (Sud-Est/Nord-Ouest) et (Nord-Sud). Les courbes isopièzes sont éloignées dans les deux parties Est et Ouest indiquant un gradient hydraulique faible et donc une perméabilité assez forte des terrains ce qui permet l'alimentation de la nappe par les massifs carbonatés à l'Est et par la Gareat Et-Tarf à l'Ouest. Par contre, au centre de la plaine les courbes isopièzes deviennent plus serrées signalant un gradient hydraulique fort et par conséquent une perméabilité faible. Cette zone est une ancienne vallée d'érosion, c'est pourquoi elle constitue une ligne de symétrie entre les zones Est et Ouest. D'autre part l'existence d'un dôme piézométrique dans la partie Nord-Est confirme que c'est une zone de recharge de la nappe par les affleurements carbonatés.

1-1-2. Carte piézométrique des basses eaux (Novembre 2016) : (Fig. 25)

L'allure générale de la carte des basses eaux est presque la même que celle des hautes eaux, avec le même sens d'écoulement et les mêmes gradients hydrauliques et perméabilités, sauf qu'il y a une convergence aux points « P4 » et « F5 » différente de celle des hautes eaux.

2. Evolution piézométrique:

L'évolution piézométrique sera étudiée pour les dernières quatorze (14) ans de 2003 à 2016 et durant les deux périodes (BE et HE) et elle est illustrée par onze (11) cartes piézométriques élaborées à partir des données fournies par l'A.N.R.H. de Constantine. Ces différentes cartes sont représentées dans les figures N°26, 27, ... jusqu'à la figure N° 36.

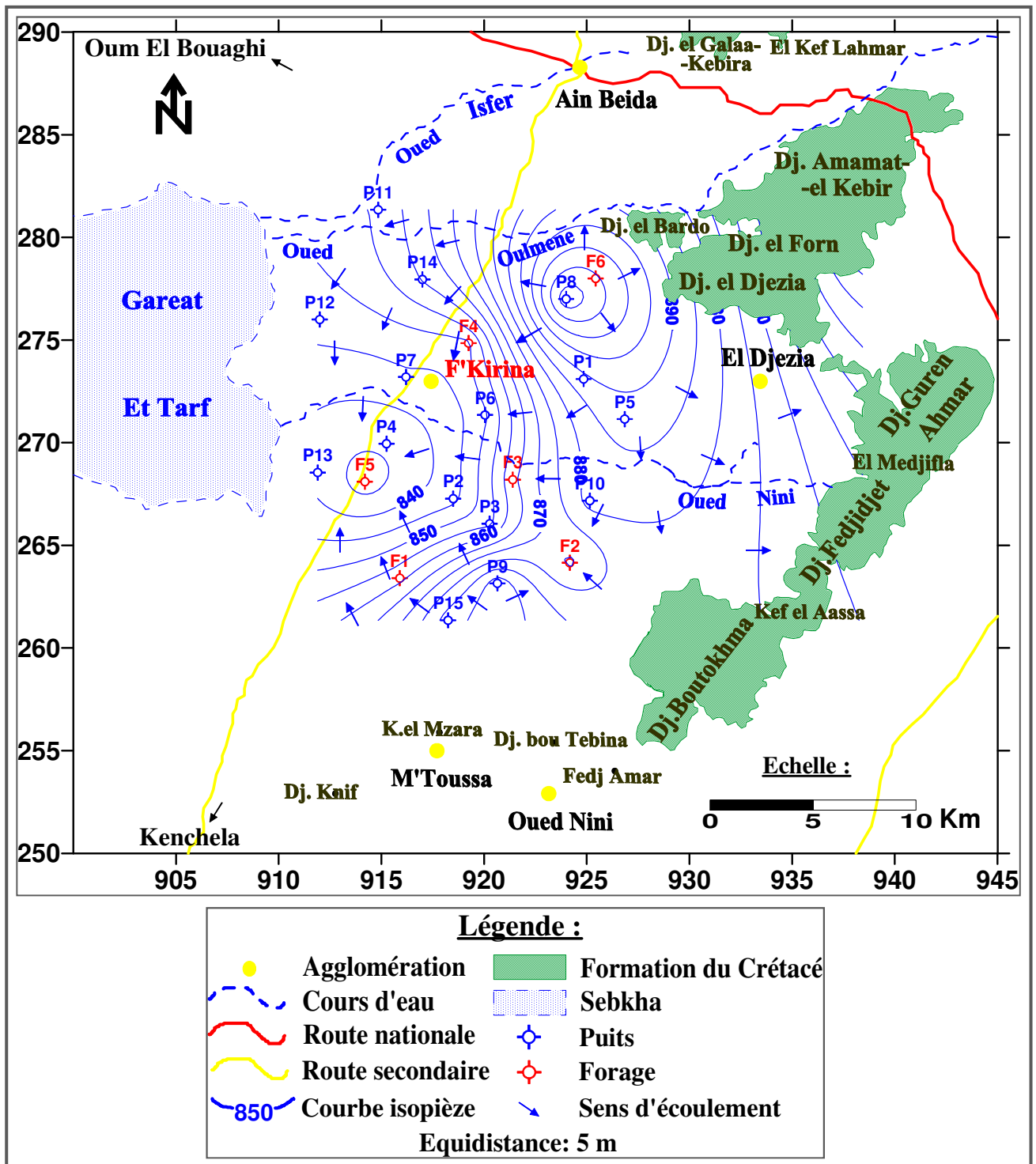


Fig. 24: Carte piézométrique de la nappe superficielle (hautes eaux, Mai 2016).

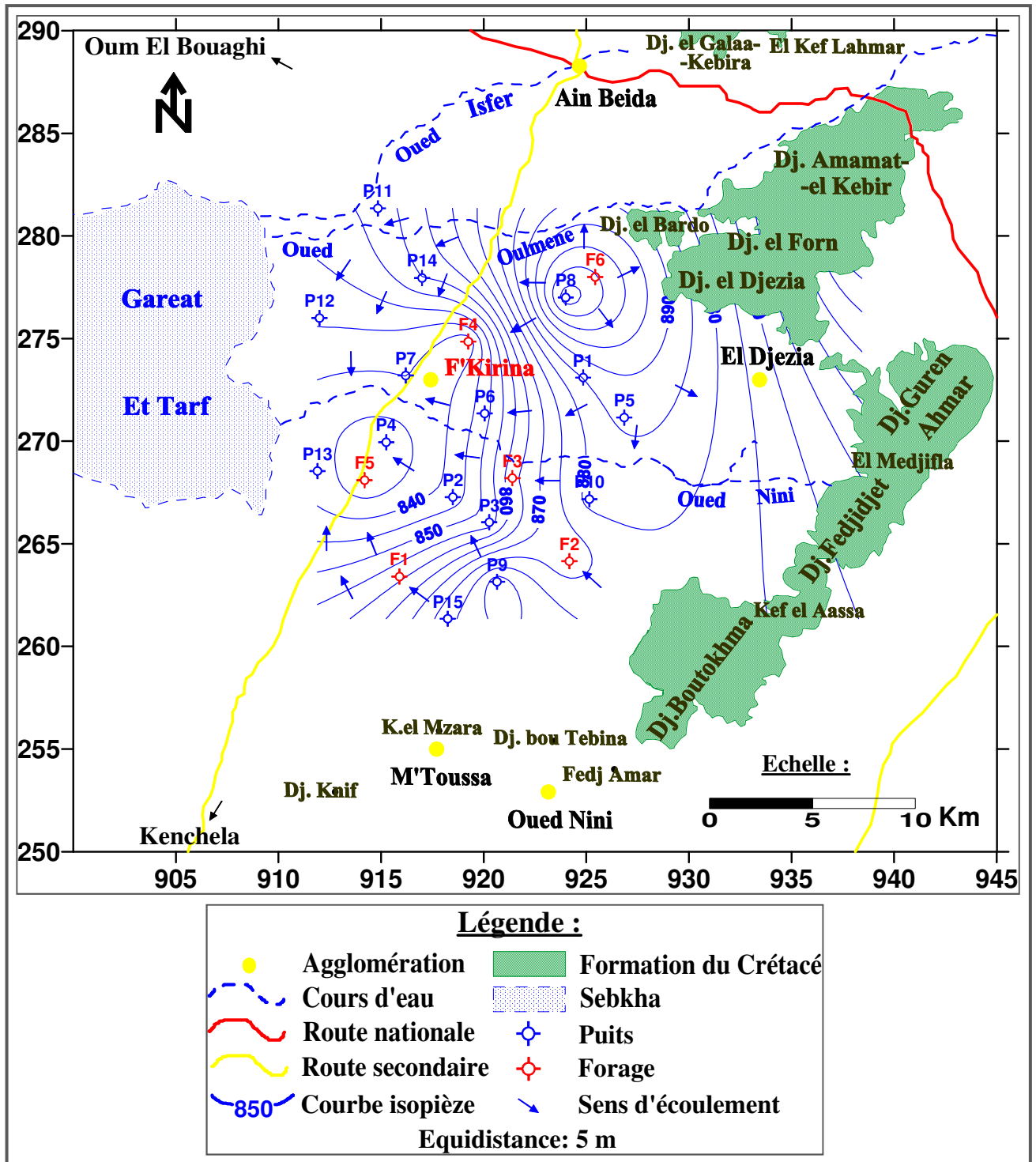


Fig. 25: Carte piézométrique de la nappe superficielle (basses eaux, Novembre 2016).

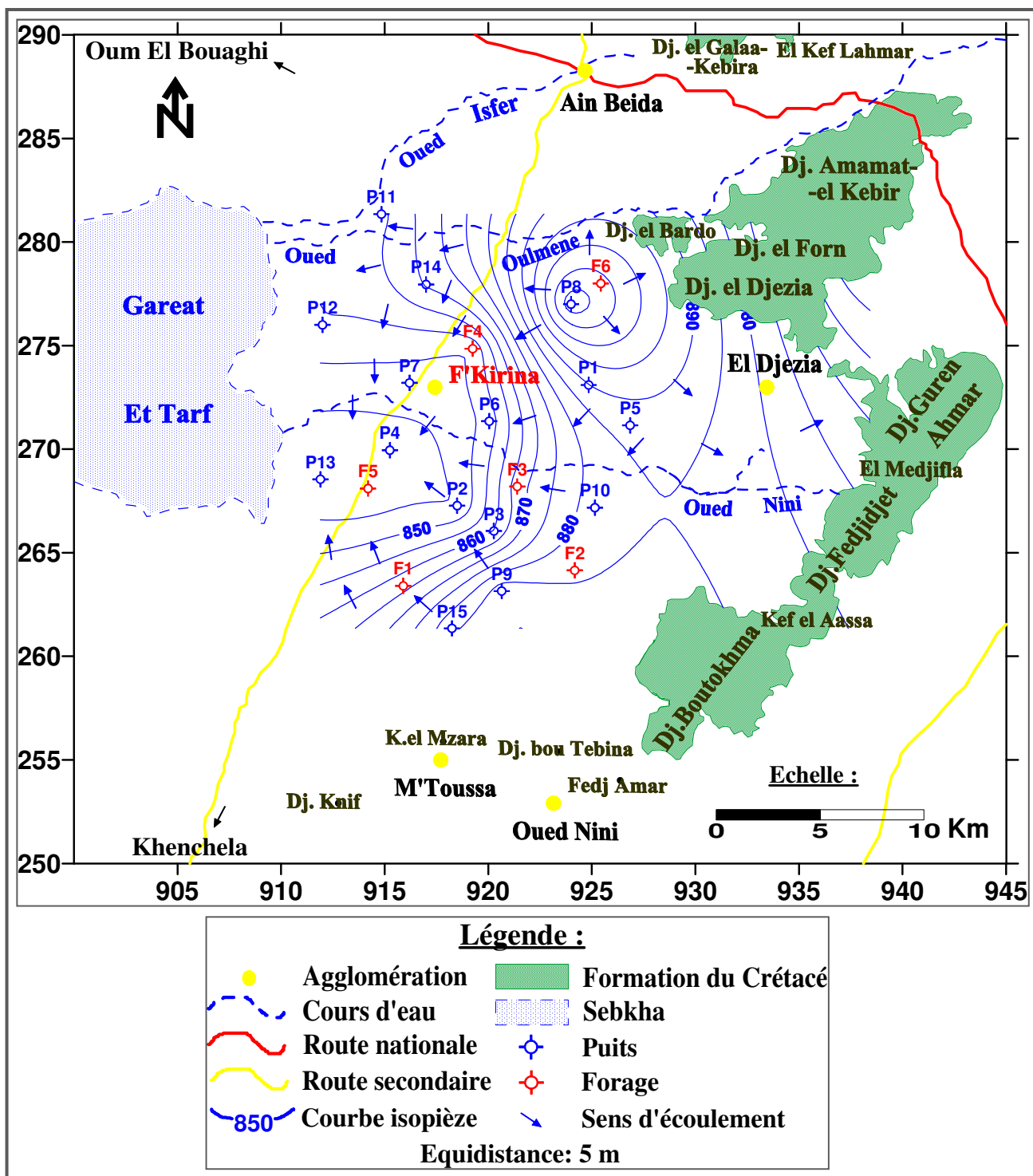


Fig. 26: Carte piézométrique de la nappe superficielle (basses eaux, Octobre 2003).

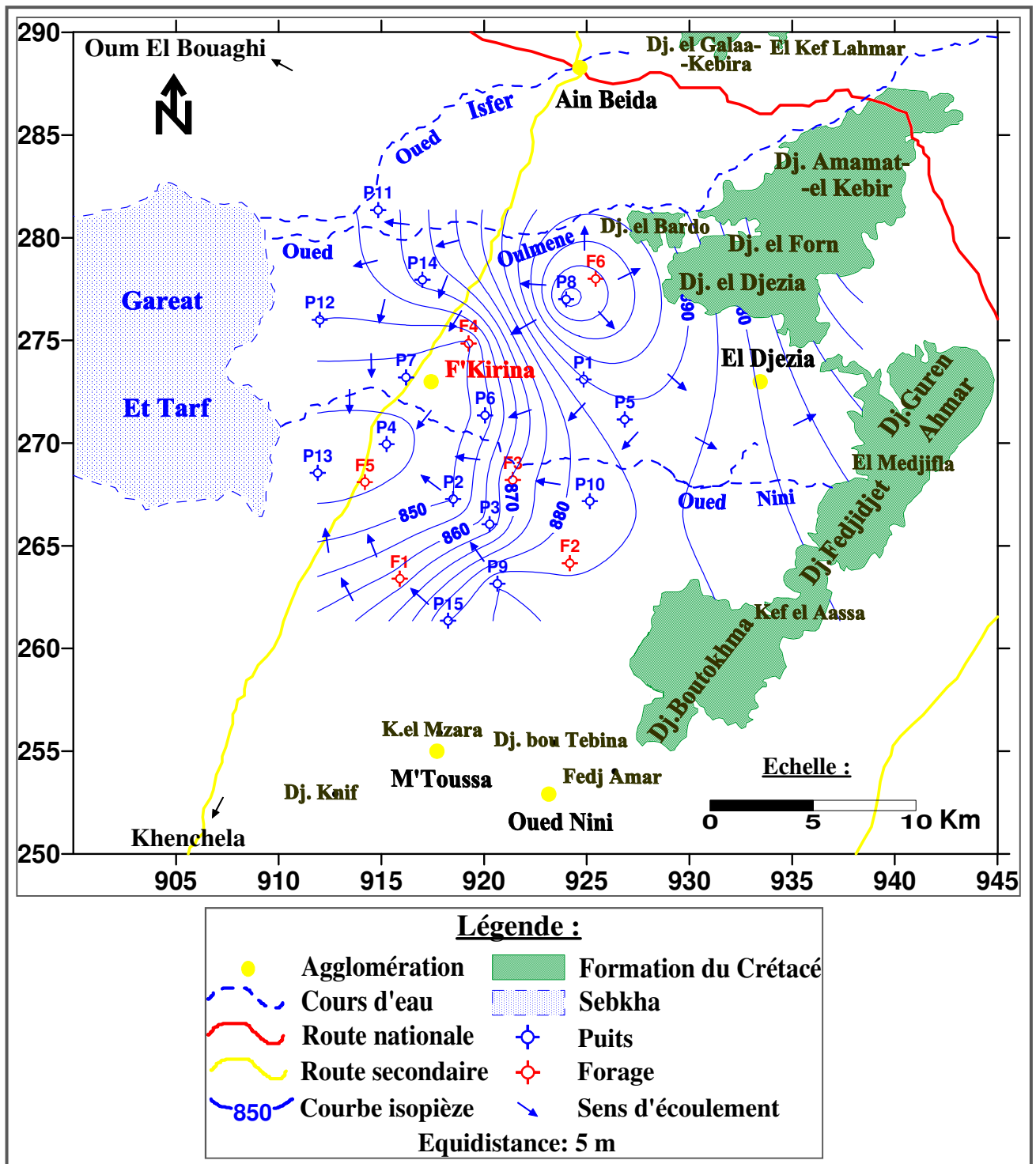


Fig. 27: Carte piézométrique de la nappe superficielle (hautes eaux, Juin 2004).

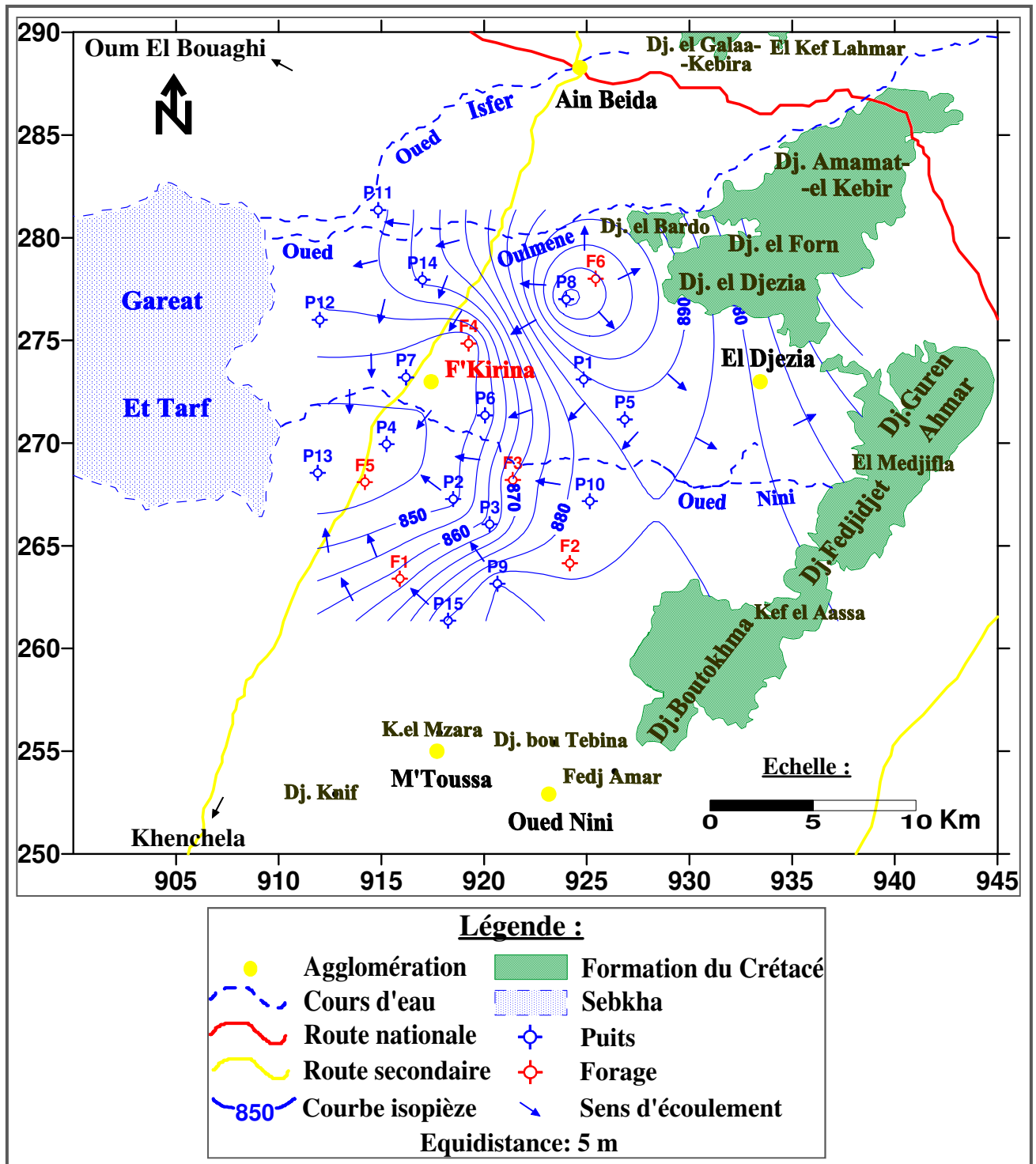


Fig. 28: Carte piézométrique de la nappe superficielle (basses eaux, Octobre 2004).

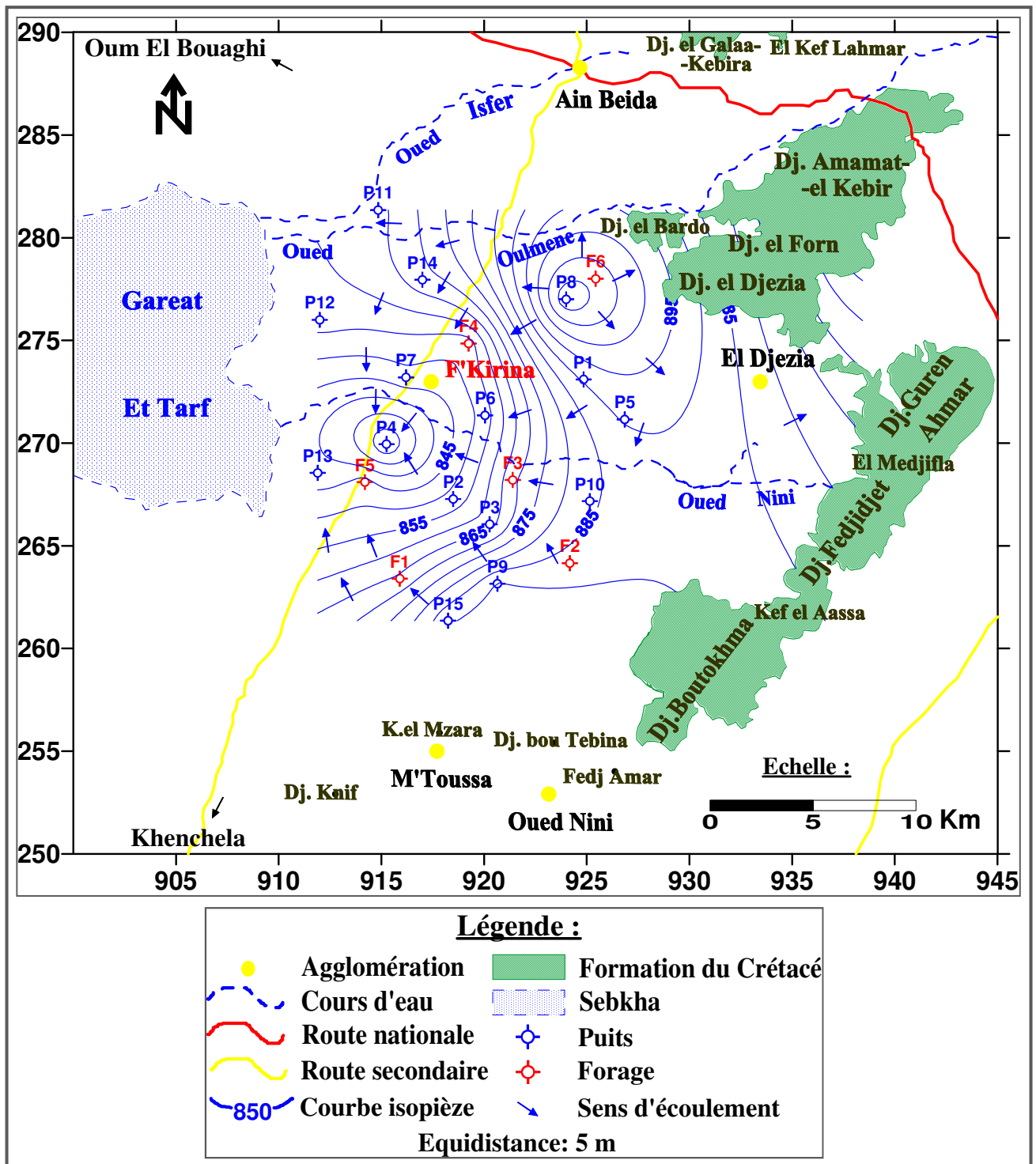


Fig. 29: Carte piézométrique de la nappe superficielle (hautes eaux, Juin 2005).

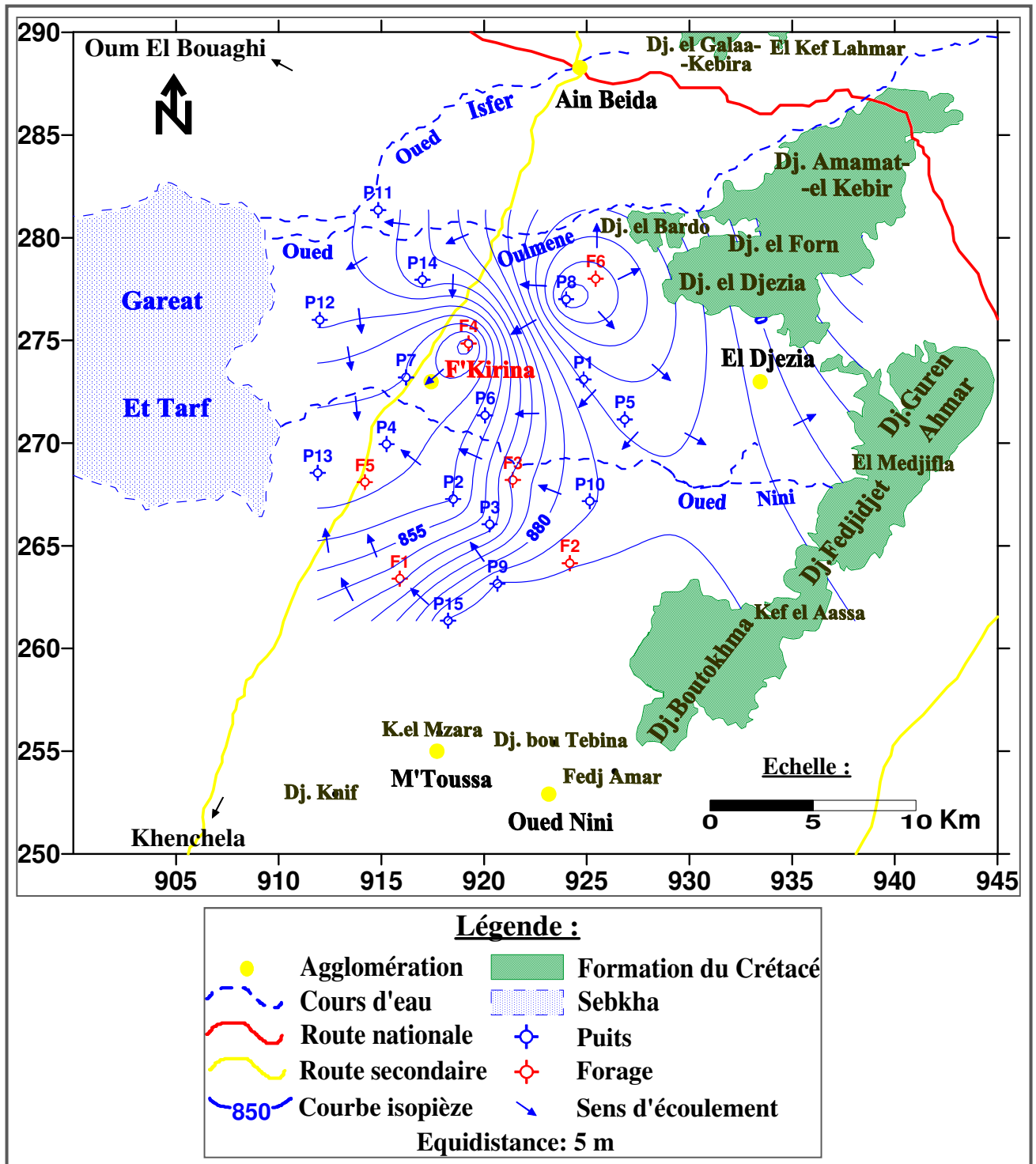


Fig. 30: Carte piézométrique de la nappe superficielle (basses eaux, Octobre 2005).

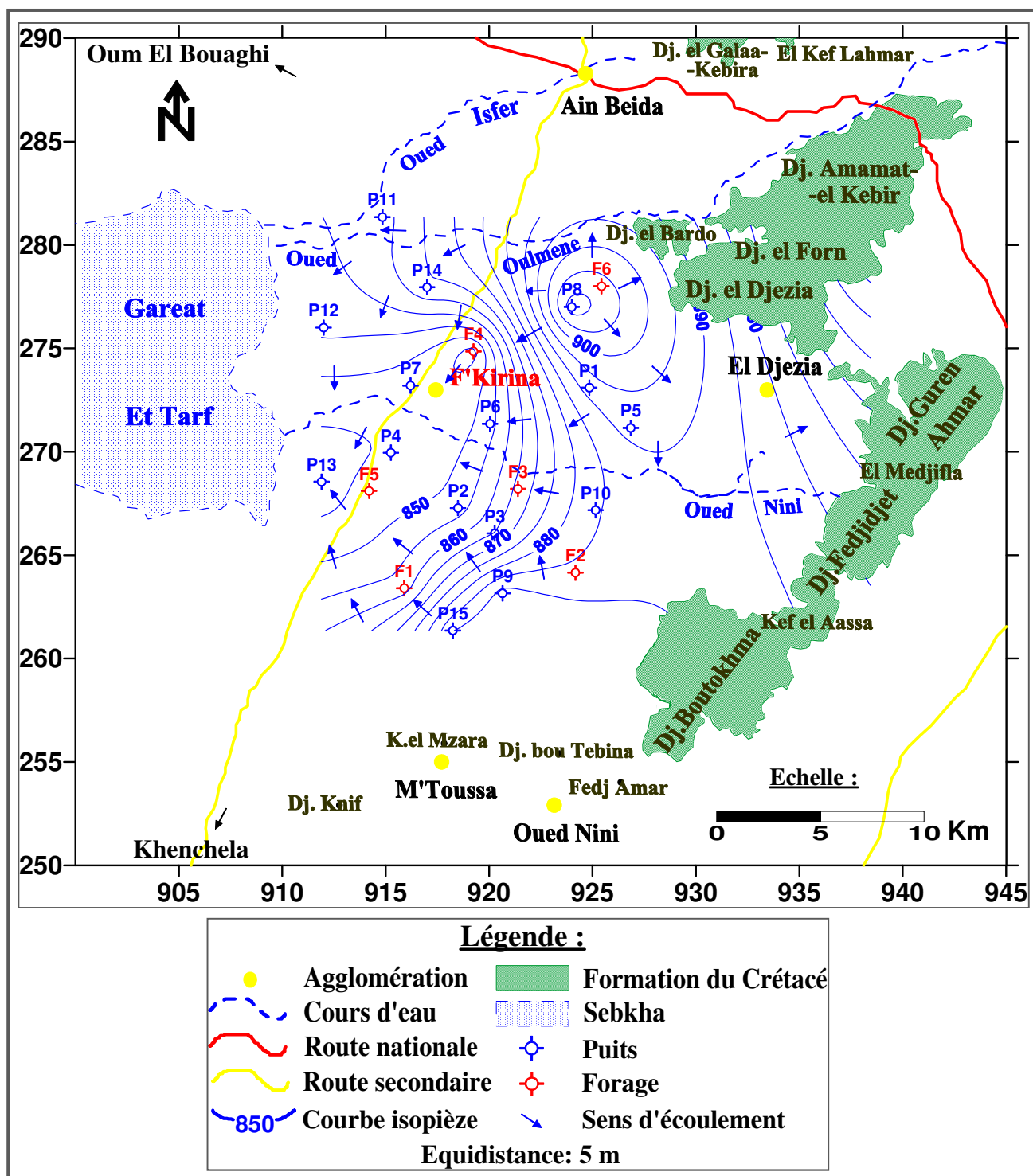


Fig. 31: Carte piézométrique de la nappe superficielle (hautes eaux, Juin 2006).

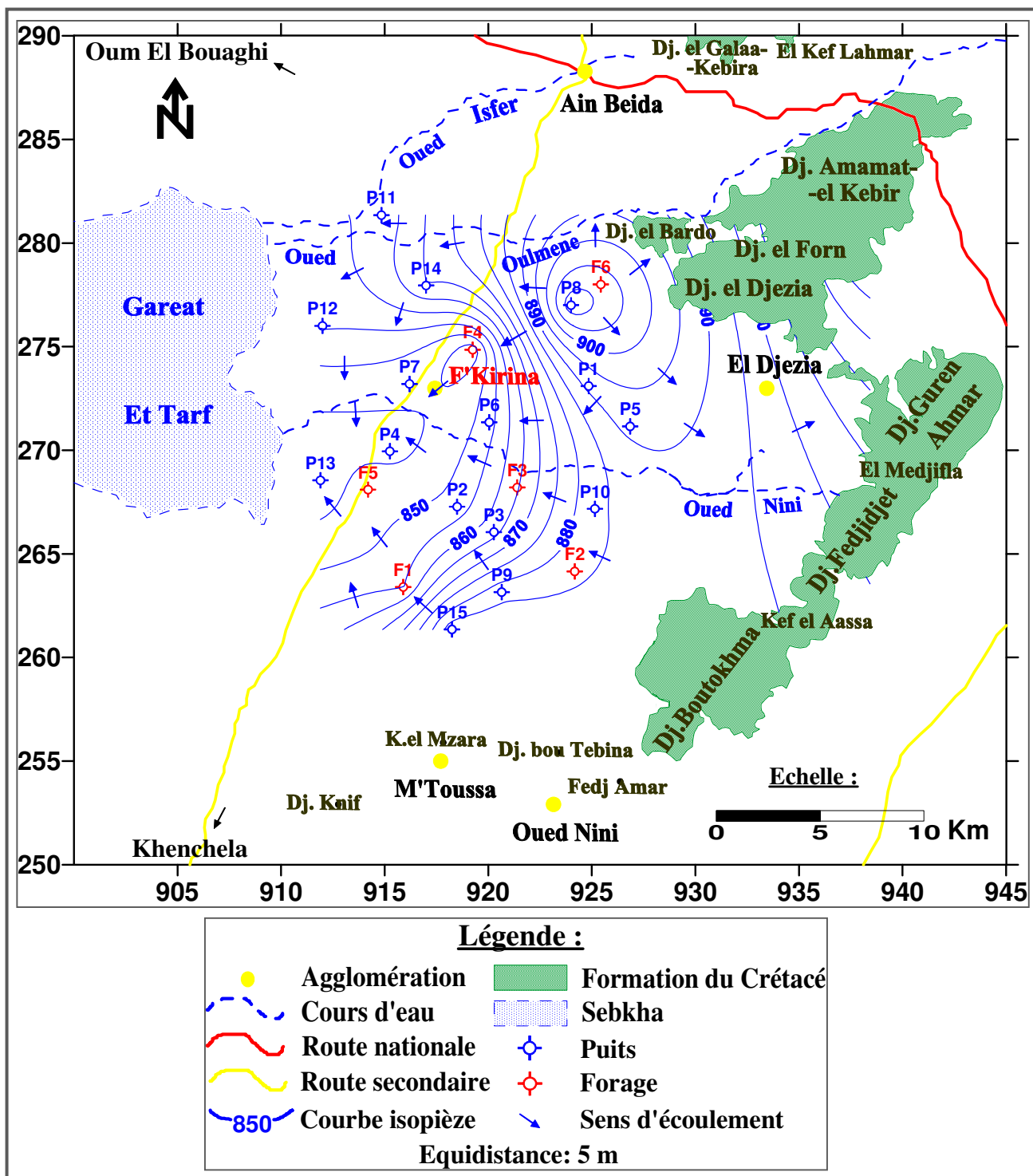


Fig. 32: Carte piézométrique de la nappe superficielle (basses eaux, Novembre 2006).

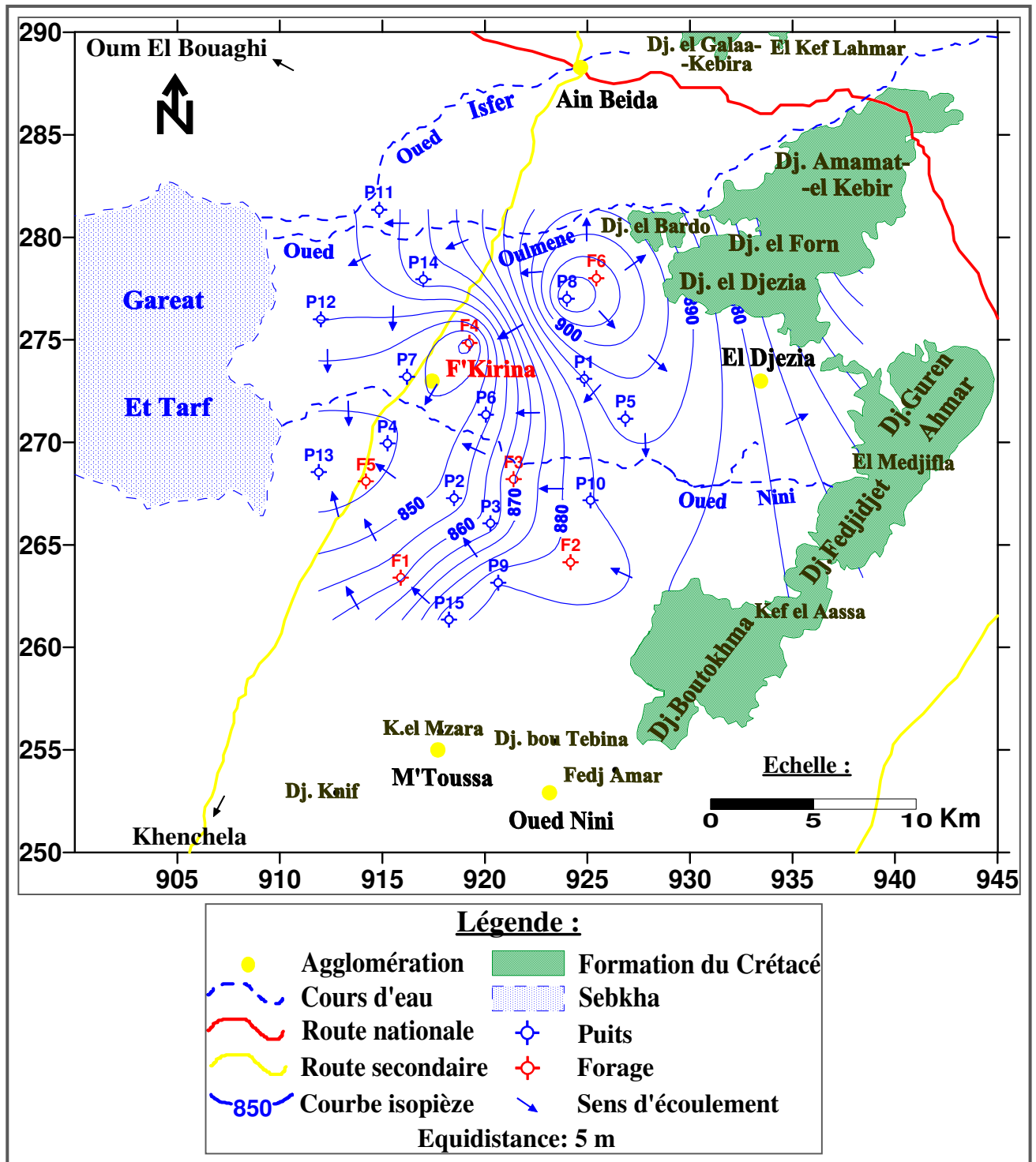


Fig. 33: Carte piézométrique de la nappe superficielle (basses eaux, Novembre 2007).

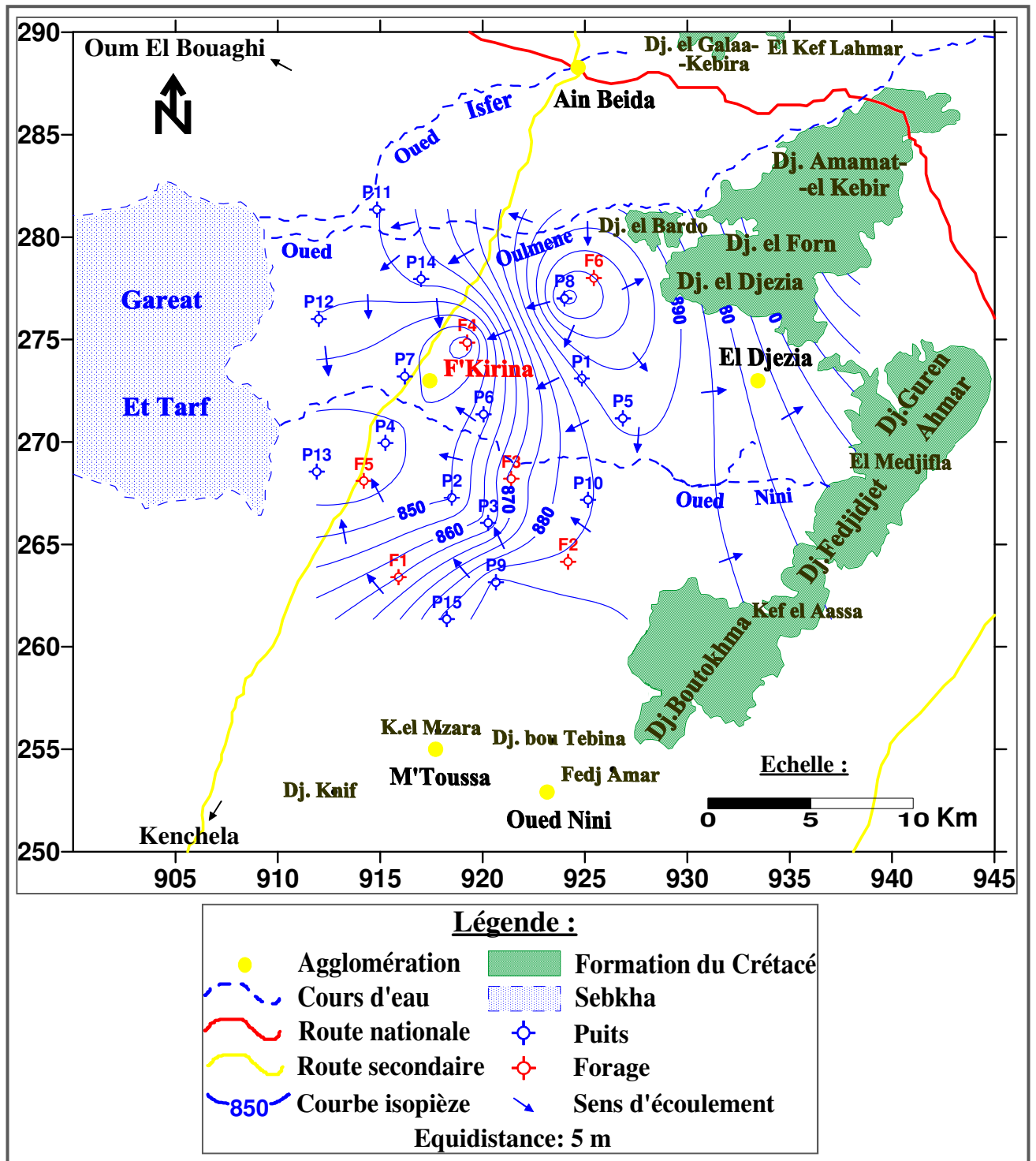


Fig. 34: Carte piézométrique de la nappe superficielle (hautes eaux, Juin 2010).

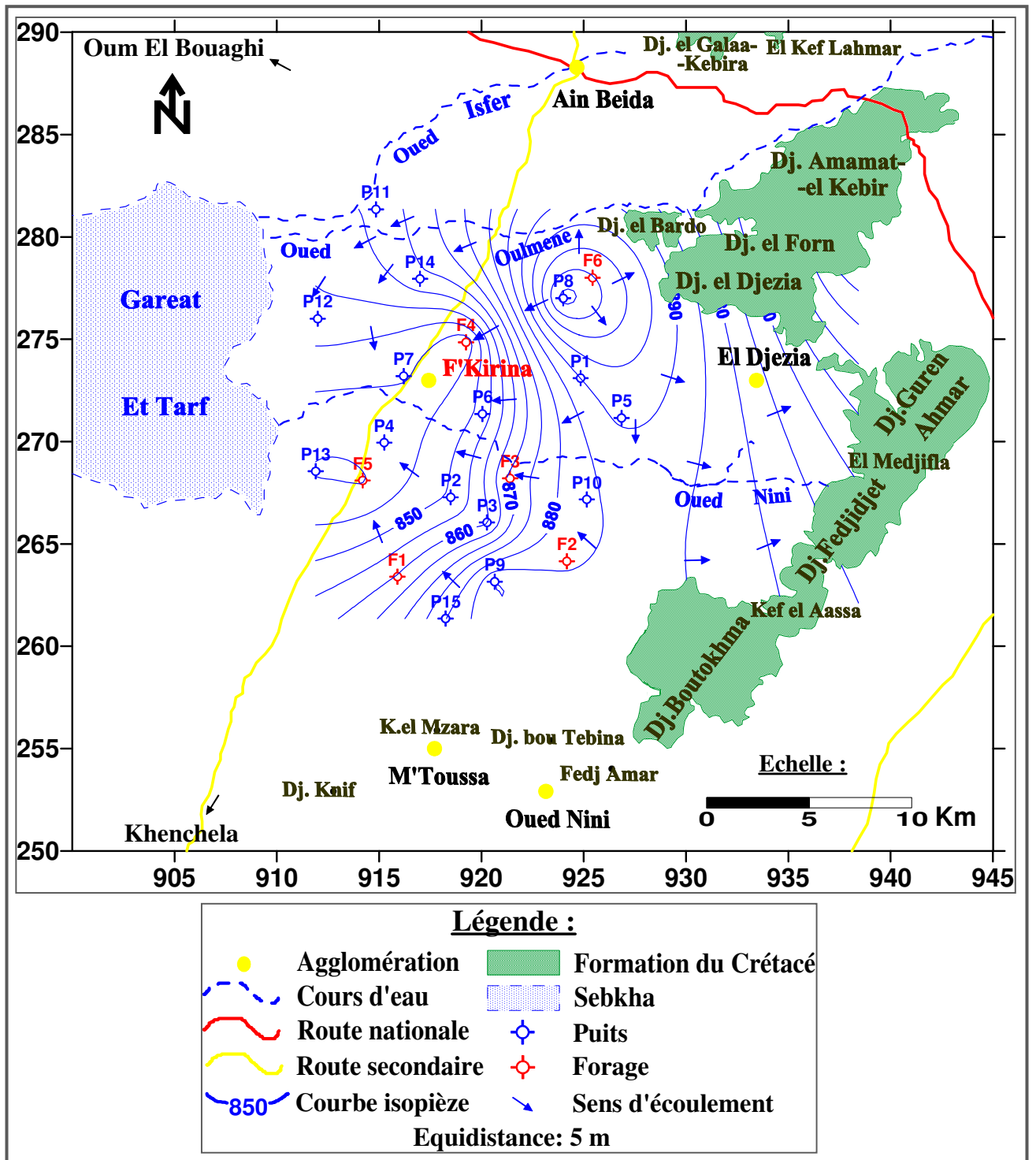


Fig. 35: Carte piézométrique de la nappe superficielle (basses eaux, Octobre 2010).

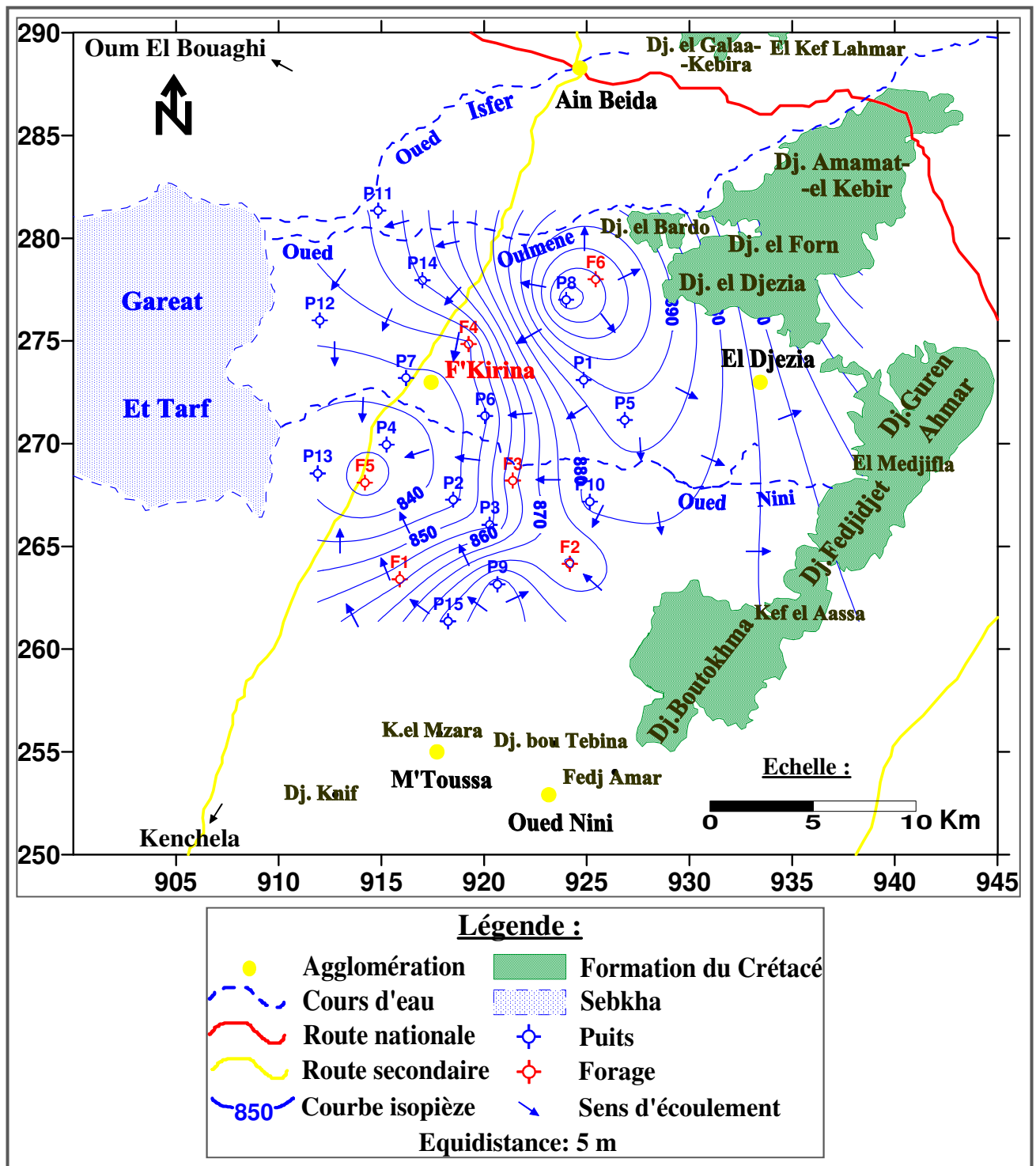


Fig. 36: Carte piézométrique de la nappe superficielle (hautes eaux, Mai 2016).

❖ **Note:** on n'a pas pris en considération la carte de basses eaux 2016 car le changement de la surface piézométrique n'est pas significatif entre elle et celle de hautes eaux 2016, l'allure générale est presque la même.

Le suivi des chroniques piézométriques de 2003 à 2016 (Fig. 26, 27,... à 36) permet de tirer les observations suivantes:

- ✓ Le niveau de la nappe change d'une année à une autre, et d'une période à l'autre.
- ✓ Les grandes variations sont observées dans la partie Nord-Est de la plaine.
- ✓ De 2003 à 2006 (fig. 26, 27, 28, 29, 30, 31, et 32), on remarque un écoulement général dirigé vers Gareat Et-Tarf, et une alimentation par les versants carbonatés situés à l'Est et au Sud-Est de la plaine.
- ✓ D'autre part, l'Oued Nini sert de drain à la nappe dans sa partie Est, tandis qu'à l'Ouest la relation de la nappe avec lui est alternée.
- ✓ La carte piézométrique 2007 montre une apparition d'un dôme de dépression dû 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 proches des calcaires de Maestrichtien l'abaissement du niveau est faible, ce qui explique que la nappe karstique alimente la nappe phréatique.

3. Caractéristiques hydrodynamiques des nappes :

3-1. Définitions :

3-1-1. Perméabilité:

Mesurée par le coefficient de perméabilité « K » qui est défini par la loi de Darcy. Il représente la quantité de fluide traversant une unité de section perpendiculaire à la direction d'écoulement sous un gradient égal à l'unité. Elle a la dimension d'une vitesse et s'exprime en « m/s ».

3-1-2. Transmissivité :

Notée « T », elle est égale au produit du coefficient de perméabilité « K » par l'épaisseur de la couche aquifère « b ». Elle s'exprime en m^2/s . Elle régit le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur « L » d'un aquifère sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique « i ». Elle évalue la fonction conduite de l'aquifère. C'est aussi le pouvoir d'un aquifère de transmettre l'eau.

3-1-3. Coefficient d'emmagasinement:

Noté « S », sans dimension, est le rapport du volume d'eau libéré ou emmagasiné par unité de surface de l'aquifère (m^2), à la variation de la charge hydraulique « h » correspondante.

Dans un aquifère captif, ce paramètre est lié à la compressibilité et à l'expansibilité de l'eau et du milieu aquifère ainsi qu'à la puissance de la couche aquifère.

Dans un aquifère libre, il est équivalent en pratique à la porosité efficace.

3-2. Détermination des paramètres hydrodynamiques des nappes :

Ces paramètres sont influencés par les conditions géologiques et hydrogéologiques spécifiques de la nappe de F'Kirina qui ont été vu précédemment, et qui ont montré que :

- La nappe du Mio-Plio-Quaternaire qui s'étend latéralement dans toute la région avec des épaisseurs très variables se caractérise par des paramètres hydrodynamiques très différents à cause de l'hétérogénéité de la nappe horizontalement et verticalement, par exemple, dans le forage « I40 », cette nappe présente une très bonne perméabilité ($K = 2,41 \cdot 10^{-2}$ m/s), par contre dans les autres forages qui atteignent cette nappe, la perméabilité varie de $1,38 \cdot 10^{-3}$ à $2,41 \cdot 10^{-5}$ m/s). Pour le débit maximum pompé, il est important dans presque tous les forages ($Q_{I40} = 55$ l/s, $Q_{H47} = 40$ l/s) (Younssi Houssam Eddine, 2009).
- Pour la nappe des calcaires du Maestrichtien, les forages implantés donnent de très faibles débits surtout dans les zones élevées. Ces faibles débits fournis par cette nappe sont dus au faible taux de fissuration et de karstification de la couche.

Le tableau suivant englobe les paramètres hydrodynamiques de quelques forages qui exploitent soit la nappe superficielle, soit la nappe profonde ou les deux ensembles :

Tableau N° 20 : Paramètres hydrodynamiques des nappes de la plaine de F'Kirina.

Forages	Débit « Q » (l/s)	Transmissivité « T » (m ² /s)	Profondeur « b » (m)	Perméabilité « K » (m/s)	Remarque
I40	55	$6,53 \cdot 10^{-1}$	27	$2,41 \cdot 10^{-2}$	Nappe du Mio-Plio-Quaternaire
I40bis	38	$2,24 \cdot 10^{-2}$	47	$1,75 \cdot 10^{-3}$	Nappe des calcaires du Maestrichtien
J28	9.8	$8,33 \cdot 10^{-2}$	64	$1,38 \cdot 10^{-3}$	Nappe du Mio-Plio-Quaternaire
I33	28	$1,98 \cdot 10^{-2}$	58	$3,41 \cdot 10^{-4}$	Nappe du Mio-Plio-Quaternaire + Nappe des calcaires du Maestrichtien

(Source : Ramdani Yacine, 1987)

3-2-1. Essai de pompage dans la plaine de F'Kirina et calcul des paramètres hydrodynamiques au niveau du forage « H47 »:

3-2-1-1. Informations sur le forage « H47 » :

Ce forage nommé « Safel Nini » équivalent au sondage électrique « H47 » a été réalisé par la C.G.G. en 1981, à 6 Km au Sud-Est de F'kirina (fig. 37). Ses coordonnées géographiques et caractéristiques lithologiques et d'équipement sont mentionnés en annexe.

Ce forage atteint uniquement la nappe du Mio-Plio-Quaternaire où elle est artésienne. Cela 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. On outre, cette nappe captive présente une alimentation irrégulière (colmatage, drainance,...etc) (Ramdani Yacine, 1987).

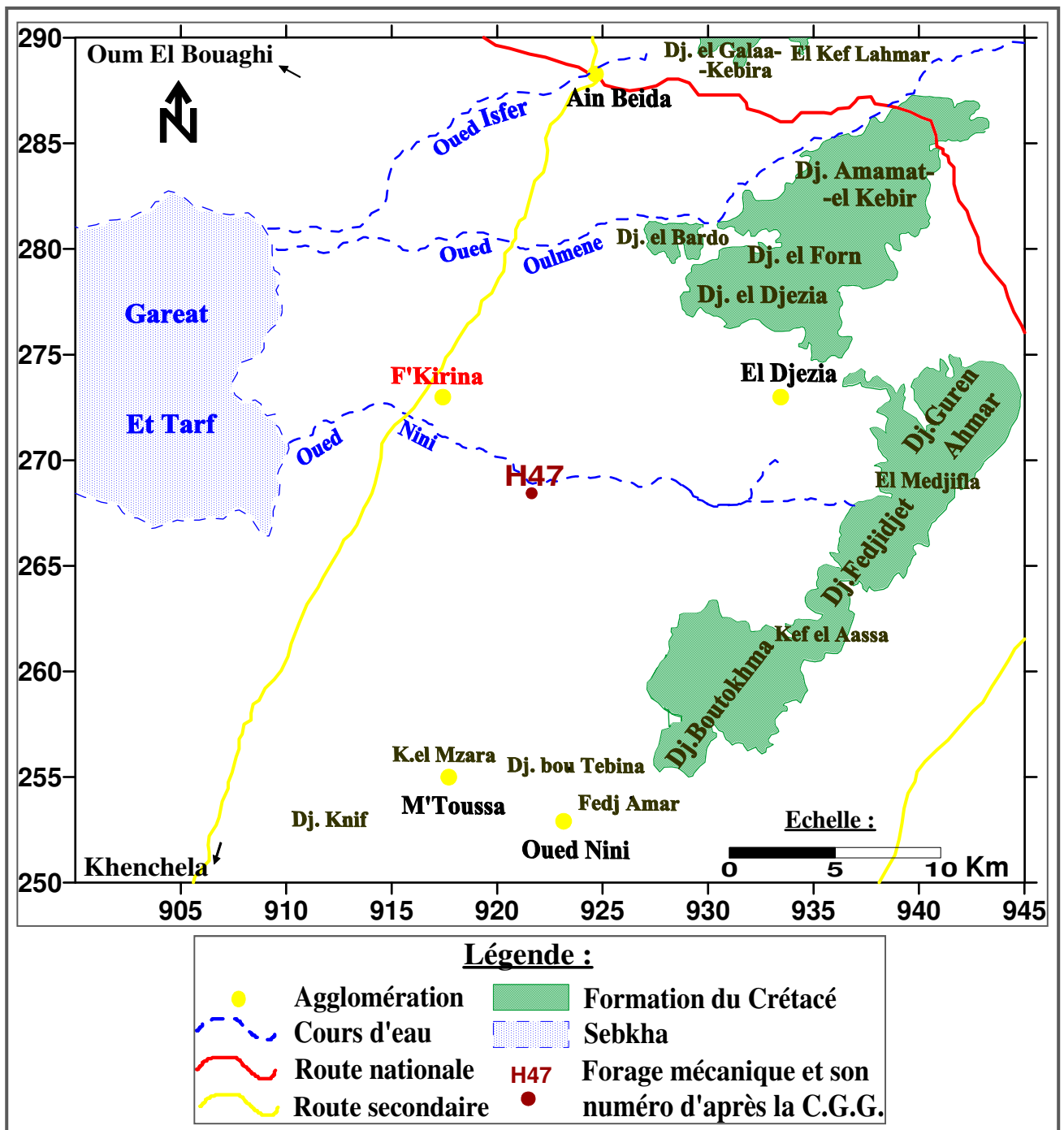


Fig.37 : Carte de situation géographique du forage « H47 » (2019).

3-2-1-2. Essai de pompage par palier sur le forage « H47 » :

Les essais de pompage ont été effectués durant la période des basses eaux, pendant 32 heures de pompage, pour un débit de 40 l/s. Les données de l'essai ont permis de tracer les deux courbes, de descente (fig. 38) et de remontée (fig. 39) qui montrent chacun d'elles trois tronçons distincts (Younssi Houssam Eddine, 2009):

- Le premier tronçon dépend de l'effet de capacité de puits, provenant d'un écoulement turbulent dans l'ouvrage.

- Le deuxième correspond à la réponse directe de l'aquifère. Il est représenté par une droite qui passe par le maximum des points.
- Et le troisième tronçon représente une inclinaison observée à la fin du pompage qui peut être expliquée par une étanche.

3-2-1-3. Calcul des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère au niveau du forage « H47 » : (D'après Younssi Houssam Eddine, 2009).

3-2-1-3-1. Calcul de la transmissivité :

Le calcul de ce paramètre hydraulique s'effectue graphiquement à partir de la courbe de descente et celle de la remontée.

La transmissivité est calculée par la pente de la droite représentative. Cette pente est déterminée par l'accroissement des rabattements (ou des profondeurs des niveaux d'eau), au cours d'un module logarithmique, noté c (G. Castany, 1982). La transmissivité est calculée par l'expression :

$$T \text{ (m}^2\text{/s)} = 0.183 \frac{Q}{c} \dots (1)$$

Tel que : c , est la valeur donnée par l'accroissement du rabattement (courbe de descente) dans un cycle logarithmique.

3-2-1-3-1-1. Courbe de descente : (fig. 38)

Pour cette courbe de descente : $c = 2.4$ mètres. Et si $Q = 0.04 \text{ m}^3\text{/s}$, alors la relation (1) nous donne : $T = 3,05 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{/s}$.

3-2-1-3-1-2. Courbe de remontée : (fig. 39)

D'après cette courbe de remontée : $c = 2.2$ mètres. Et si $Q = 0.04 \text{ m}^3\text{/s}$, alors la relation (1) nous donne : $T = 3,32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{/s}$.

Pour obtenir une seule valeur de la transmissivité au niveau de ce forage, on fait la moyenne entre les deux valeurs de transmissivité de la descente et de la remontée, on obtient :

$$T_{\text{moy}} = 3,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{/s}.$$

3-2-1-3-2. Calcul de la perméabilité :

Pour déterminer la perméabilité (K), on utilise la relation suivante :

$$T = K \cdot b \quad \text{Donc :} \quad K = T/b \quad \text{où :}$$

T : transmissivité en $\text{m}^2\text{/s}$.

b : puissance de la nappe captée en mètre (ou profondeur).

Si $T = 3,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{/s}$ et $b = 100 \text{ m}$, alors, $K = 3,18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2\text{/s} / 100 = 3,18 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.

On remarque que cette perméabilité est très faible. Cela est dû à la présence d'argile.

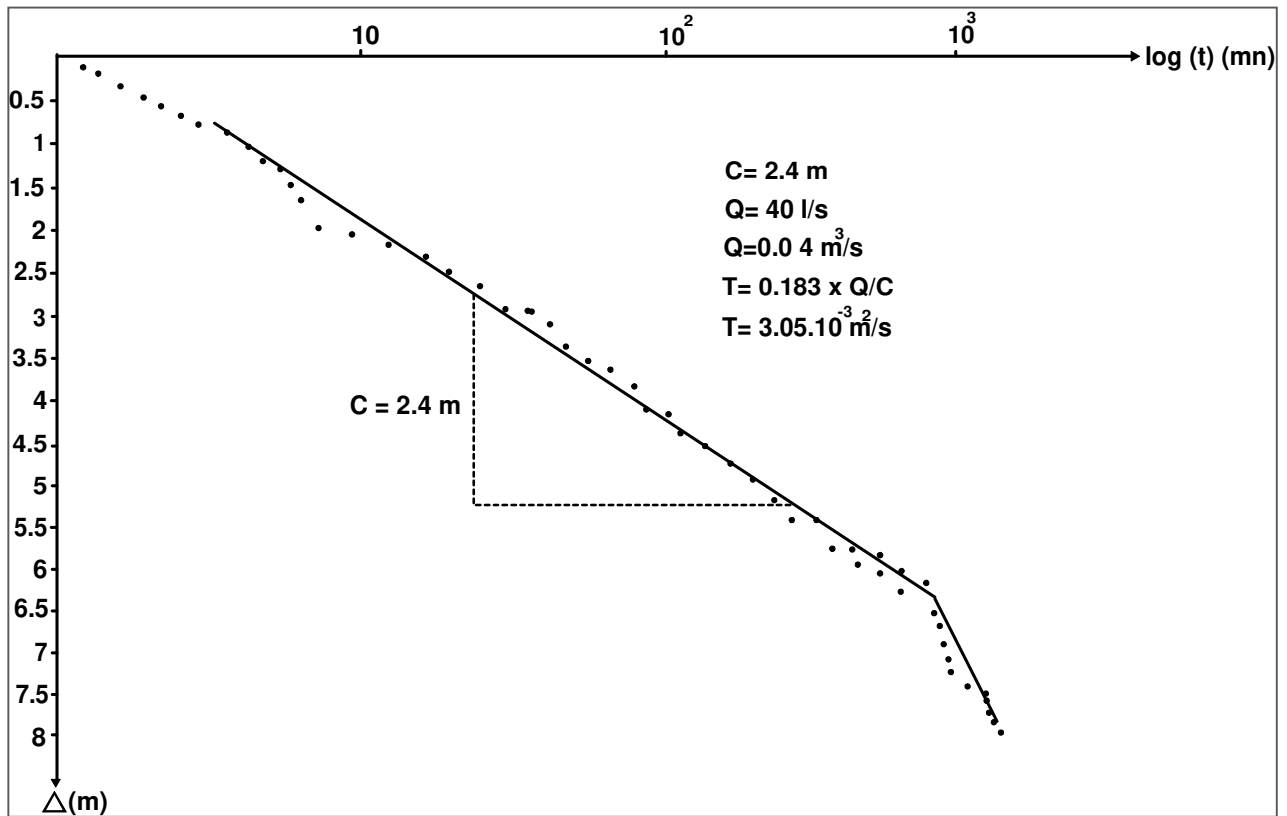


Fig.38 : Courbe de descente du forage « H47 » (Younssi Houssam Eddine, 2009).

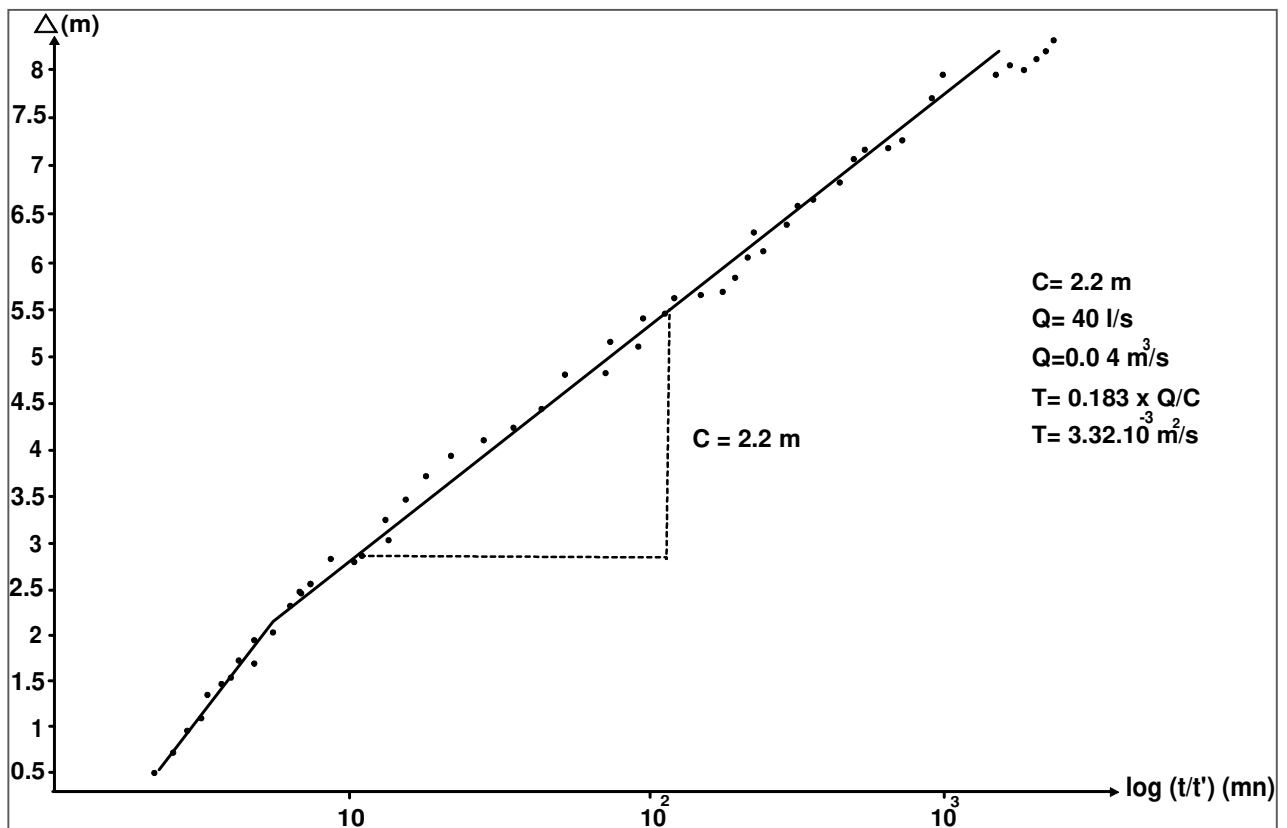


Fig.39 : Courbe de remontée du forage « H47 » (Younssi Houssam Eddine, 2009).

3-2-1-3-3. Calcul du coefficient d'emmagasinement:

Il est déterminé par le deuxième terme de l'expression de Jacob :

$$S = 2.25 T t_0/x^2 \quad \text{Tel que :}$$

t_0 : le temps fictif à l'origine.

x : la distance séparant le piézomètre du forage ou du puits.

Il est impossible de calculer ce paramètre au niveau du forage « H47 » car ce dernier n'est pas équipé par un piézomètre.

4. Conclusion :

➤ L'analyse des cartes piézométriques de 2003 à 2016 montre que la direction principale de l'écoulement se fait globalement des affleurements calcaires vers l'exutoire naturel, Garaet Et- Tarf selon trois directions NE-SW, SE-NW et N-S.

➤ Les limites géologiques incarnées par les calcaires assurent l'alimentation en eau de la plaine. Cette alimentation se fait latéralement par drainage ou verticalement par drainance (échanges entre les deux nappes superficielle et profonde).

➤ L'étude des caractéristiques hydrodynamiques de la plaine a permis de dégager les constatations suivantes :

- La plaine de F'Kirina est occupée en surface par un matériau alluvionnaire hétérogène formé d'argiles, graviers et sables.
- Le substratum constituant l'assise imperméable, est représenté par des calcaires du Maestrichtien Supérieur, mais il existe une zone où ces calcaires sont érodés et remplacés par des marnes du Maestrichtien Inférieur.
- La nappe se rapproche de la surface au fur et à mesure que l'on se rapproche de la Gareat Et-Tarf.
- La perméabilité est faible dans la quasi-totalité de la plaine, elle est de l'ordre de 10^{-5} m/s.
- La transmissivité reste relativement faible, elle est de l'ordre de 10^{-3} m²/s.

CHAPITRE 6

Cadre hydrochimique

Nous essaierons dans ce chapitre de:

■ *Déterminer la répartition quantitative des éléments majeurs dissous dans les eaux souterraines de la plaine, et de suivre leur évolution dans l'espace et dans le temps.*

■ *Déterminer l'influence lithologique et de la Gareat Et-Tarf sur le chimisme des eaux souterraines de la plaine par la caractérisation du faciès chimique.*

1. Méthode et stratégie du travail:

1-1. Echantillonnage:

Cette étude hydrochimique a été faite grâce à la constitution d'un dossier analytique concernant chaque point d'eau ayant servi à la piézométrie. En effet, une campagne d'échantillonnage a été effectuée sur vingt et un (21) points d'eau (15 puits et 6 forages) bien répartis sur la zone d'étude (fig. 40); en période des basses eaux (Novembre 2016).

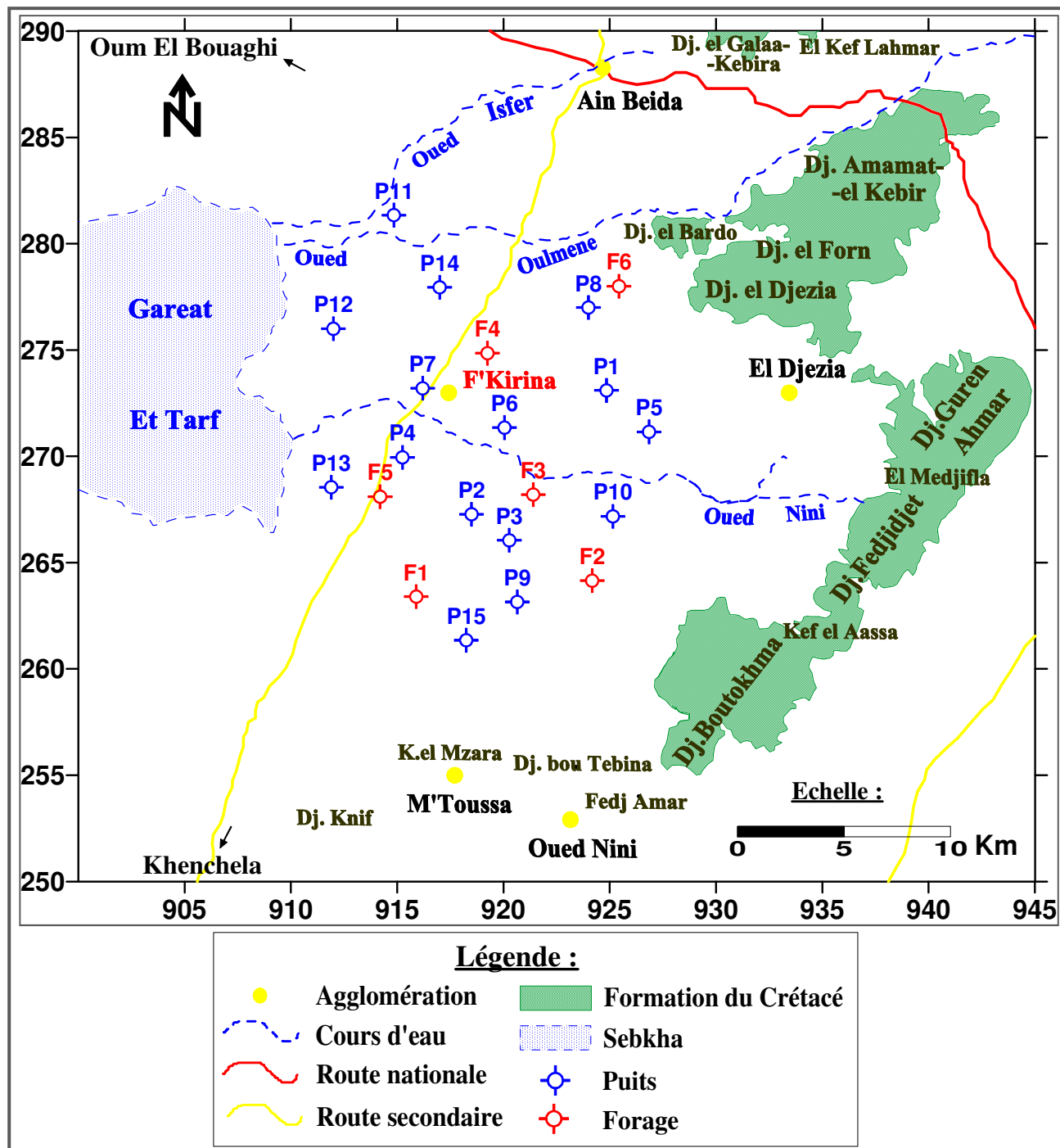


Fig. 40: Carte d'échantillonnage (Novembre 2016) montrant la position des points de prélèvements d'eau dans la zone d'étude. (2019)

Les échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des flacons en plastiques rincés avec de l'eau distillée avant d'être rincés plusieurs fois et remplis par l'eau à analyser puis bouchonnés.

1-2. Mesures in-situ:

Sur le terrain, juste après le prélèvement des échantillons et à l'aide d'un appareil multi-paramètres de marque WTW, nous avons mesuré la température et le pH de l'eau.

1-3. Analyses physico-chimiques:

Les échantillons sont pris directement des points d'eau et sont conservés dans une glacière à 4°C (Rodier, 2009) et emmenés au laboratoire des analyses physicochimiques de L'A.N.R.H. (Agence Nationale des Ressources Hydriques) à Constantine pour analyser les paramètres chimiques majeurs suivants:

- Calcium (Ca^{++}), Magnésium (Mg^{++}) et Sulfates (SO_4^{-}) par spectrophotomètre de type « HI 83200, HANNA Instruments ».
- Sodium (Na^+) et Potassium (K^+) par spectrophotomètre d'émission de flamme de type « JENWAL PFP7 ».
- Chlorures (Cl^-) par argentimétrie.
- Bicarbonates (HCO_3^-) par spectrophotomètre de marque « WTW 2000 », et Nitrates (NO_3^-) par colorimétrie.

Les résultats d'analyses en mg/l doivent tout d'abord être convertis en meq/l (obtention des quantités en réaction "r") de la façon suivante: [] meq/l ou $r = [] \text{ mg/l} / \text{équivalent chimique}$. Ce dernier est le rapport entre la masse molaire de l'élément chimique et sa valence. (Voir le tableau correspondant en annexe).

Il faut ensuite vérifier la balance ionique par la formule suivante:

$$\text{BI} = \left| \frac{\sum r \text{ anions} - \sum r \text{ cations}}{\sum r \text{ anions} + \sum r \text{ cations}} \right| \times 100 (\%)$$

Les analyses sont considérées fiables pour l'interprétation lorsque $\text{BI} \leq 6 \%$. Ces analyses ont pour but d'établir la genèse et l'origine des éléments chimiques et de déterminer le faciès chimique et effectuer des comparaisons spatio-temporelles.

2. Interprétation des résultats :

2-1. Paramètres physiques:

2-1-1. Température:

La température de l'eau (°C) est un paramètre d'une grande utilité pour le diagnostic hydrogéologique et hydrochimique. Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, autrement dit, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH. Elle est nécessaire pour déterminer les équilibres chimiques entre les diverses espèces en présence (ions, molécules non dissociées, gaz, solides). Elle fournit des informations sur la profondeur de l'écoulement souterrain, le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère.

Dans cette étude, les températures des eaux souterraines mesurées oscillent entre 18 °C et 23 °C en période des basses eaux (Novembre 2016) ce qui indique l'influence de la température ambiante de l'air sur les eaux souterraines traduisant ainsi une circulation peu profonde.

2-1-2. Potentiel d'hydrogène (pH):

Le pH constitue le mode de présentation en ions H^+ d'une solution aqueuse, ce qui en exprime l'acidité ou l'alcalinité et permet de définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés.

En général, les eaux de la région ont un caractère basique avec un pH qui oscille entre 7.2 et 8.22.

2-1-3. Minéralisation globale:

La minéralisation est la teneur en sels dissous dans une eau, elle est exprimée en (mg/l) et peut être calculée à l'aide d'un facteur empirique à partir de la conductivité électrique.

Elle se manifeste par l'action des sels actifs (ion Ca^{++} associé à l'ion SO_4^{--} , ion Na^+ associé à l'ion Cl^-) donnant ainsi des minéralisations généralement importantes dans la région d'étude.

L'examen de la carte de la minéralisation (Fig. 41) et la carte du toit du substratum (Fig. 20, Chapitre 4) permet de caractériser deux différentes zones :

- ▬ La première est caractérisée par de fortes valeurs de minéralisation dépassant les 2000 mg/l, elle est divisée en trois parties :
 - La première est située dans la partie Nord-Ouest autour des puits « P11 », « P12 » et « P14 ». Cette zone est la limite méridionale du fossé d'Oum El-Bouaghi et représente la fin des cours d'eaux (l'Oued Isfer et l'Oued Oulmène).
 - La deuxième est située à l'Ouest où les fortes valeurs de minéralisation peuvent être associées à plusieurs facteurs :
 - La forte perméabilité des terrains confirmée par le gradient hydraulique faible (Voir le chapitre de la piézométrie) ce qui favorise le contact eau-roche.

- Cette zone est l'aval de l'Oued Nini.
- Dans cette zone les croutes calcaires sont karstifiées et parfois dissous.
- Le substratum est plus profond que la zone précédente (voir fig. 20, Chapitre 4)
- La troisième partie est située au Sud de la plaine autour des puits « P9 » et « P15 » où on peut lier la forte minéralisation au diapir de Djebel Knif. On a donc l'influence du Trias.
- La deuxième zone est caractérisée par de faibles valeurs de minéralisation qui varient entre 300 mg/l et 1000 mg/l, elle peut être subdivisée en deux parties :
 - La première est localisée au Sud-Ouest de la plaine (aux alentours des forages « F1 » et « F5 ») avec des minéralisations qui ne dépassent pas les 800 mg/l.
 - Et la deuxième est localisée du centre (« F3 » et « F4 ») vers l'Est de la plaine, entre les puits « P1 » et « P5 » où il y a un fossé d'effondrement comme le montre la carte du toit du substratum (fig. 20, Chapitre 4) et aux piedmonts des massifs carbonatés (Nord- Est et Sud-Est de la plaine).

2-2. Paramètres chimiques:

Comme nous avons précédemment vu, la minéralisation correspond à la quantité de sels minéraux contenus dans l'eau. Elle est principalement évaluée à partir de huit ions appelés couramment les ions majeurs dont on distingue les cations: calcium, magnésium, sodium et potassium et les anions: chlorures, sulfates, bicarbonates et nitrates.

La présence de ces minéraux dans les eaux souterraines est souvent due à la lithologie des terrains traversés (origine naturelle), mais en excès, ces minéraux peuvent provenir de l'extérieur (invasion marine dans les zones côtières, rejets industriels et urbains, utilisation intensive des produits chimiques en agricultures, etc).

2-2-1. Cations:

Les cations analysés sont: le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium.

2-2-1-1. Le calcium (Ca^{++}):

Il représente l'élément principal de la dureté totale de l'eau. Il provient essentiellement de l'attaque des roches carbonatées par le gaz carbonique: $[\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \Leftrightarrow \text{Ca}^{++} + 2 \text{HCO}_3^-]$ et de la dissolution du gypse ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$).

La carte de la distribution du calcium (Fig. 42) montre qu'il existe plusieurs zones où les teneurs en calcium sont élevées :

- La première est située à l'Est de la plaine autour des puits « P1 » et « P5 » où il y a l'influence des calcaires (de résistivité égale à 50 Ωm d'après la géophysique).

- La deuxième est située à l'Ouest dans les puits limitrophes à Gareat Et-Tarf, à l'aval des Oueds (la fin des cours d'eau) où l'écoulement des eaux souterraines est très faible comme l'indique l'espacement des courbes isopièzes (gradient hydraulique faible) (Voir la piézomètre). Les teneurs ici dépassent les 200 mg/l.
- La troisième zone est au Sud de la plaine autour des points « P9 » et « P15 » où nous avons des valeurs supérieures à 160 mg/l dues au diapirisme du Djebel Knif (formation conductrice, de résistivité oscillant entre 3 Ωm et 5 Ωm d'après la géophysique).

Les autres zones sont caractérisées par de faibles teneurs en calcium.

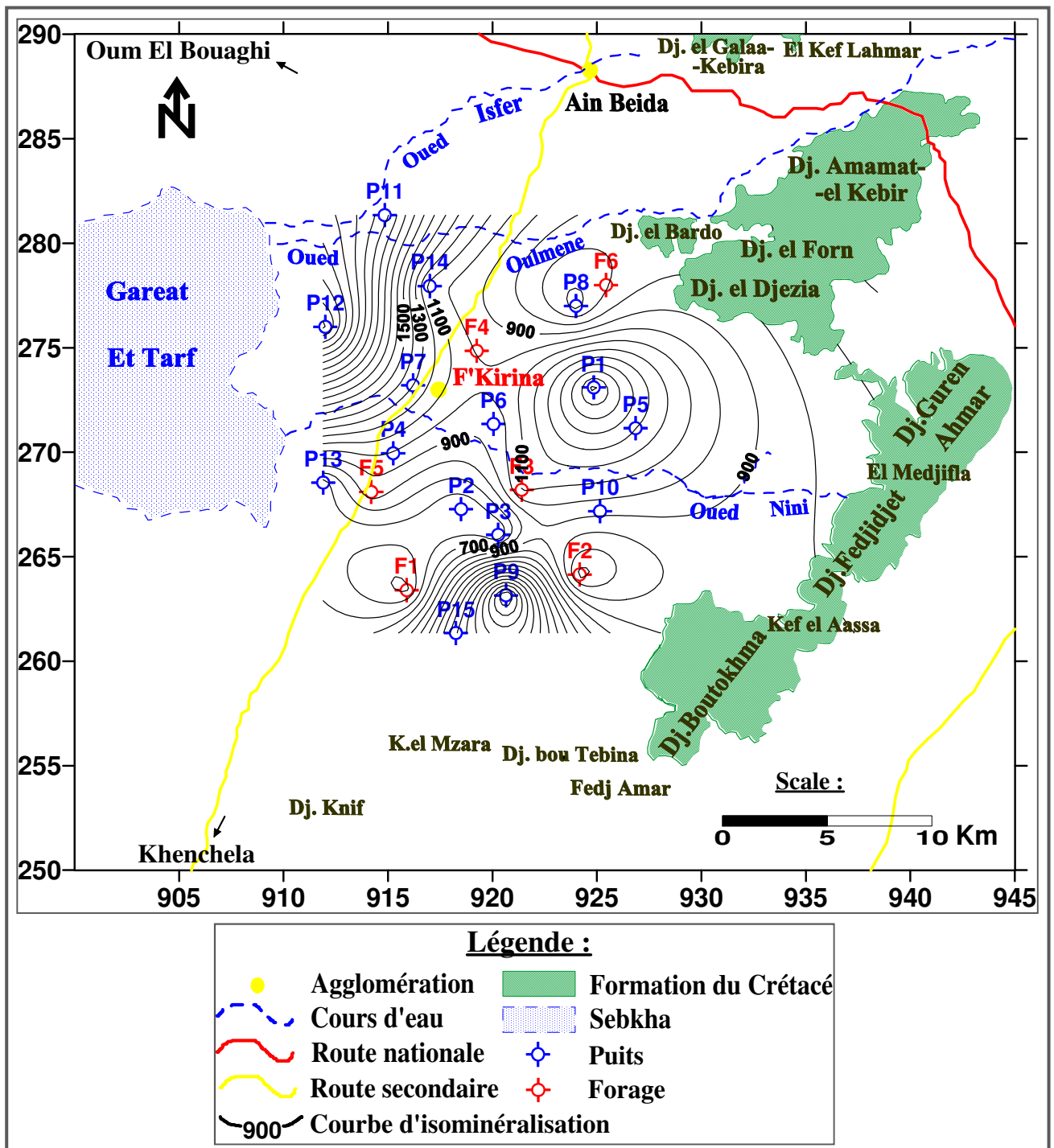


Fig. 41: Carte de la distribution de la minéralisation dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).

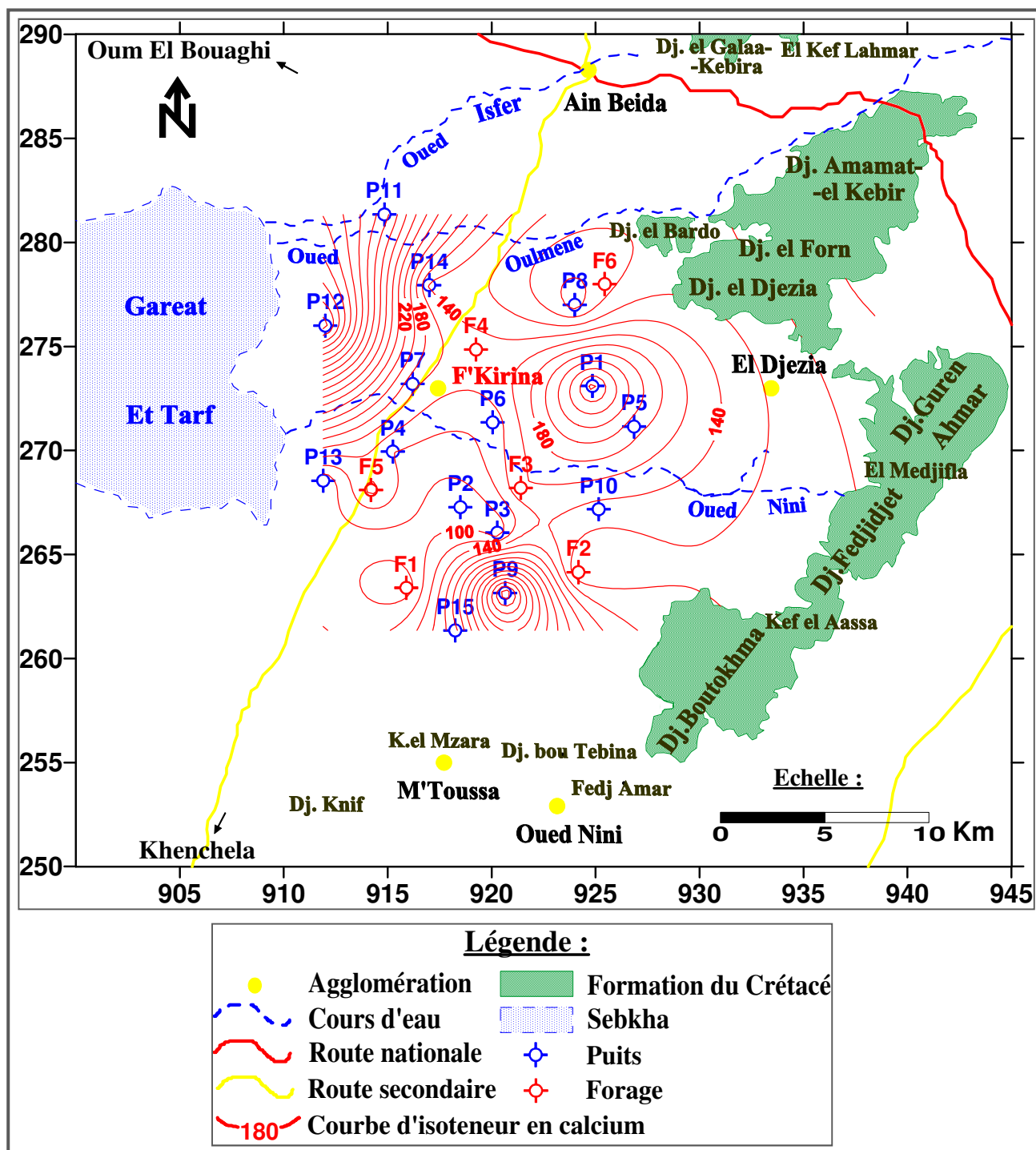


Fig. 42: Carte de la distribution du calcium dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).

2-2-1-2. Le magnésium (Mg⁺⁺):

Second élément intervenant dans la dureté totale de l'eau, le magnésium a des origines semblables à celles du calcium, il provient de la dissolution des formations carbonatées (calcaires dolomitiques, magnésites, dolomites, etc) en présence du gaz carbonique mais sa mise en solution nécessite un temps de contact plus long avec la roche. Il peut provenir aussi de la dissolution des sulfates de magnésium dans les terrains gypseux ce qui est le cas à l'Est de la plaine (Fig. 43) surtout autour du point « P5 » où on a de fortes teneurs en magnésium dues à

cette dissolution (d'après la carte structurale et les coupes géoélectriques, cette zone paraît très fracturée). Dans le reste de la plaine la distribution du magnésium ressemble à celle du calcium, dont les valeurs les plus élevées se trouvent au Sud près de Djebel Knif (« P9 » et « P15 ») et à l'Ouest (« P12 ») (zones de fins des cours d'eau) où l'écoulement est faible et la minéralisation est très élevée.

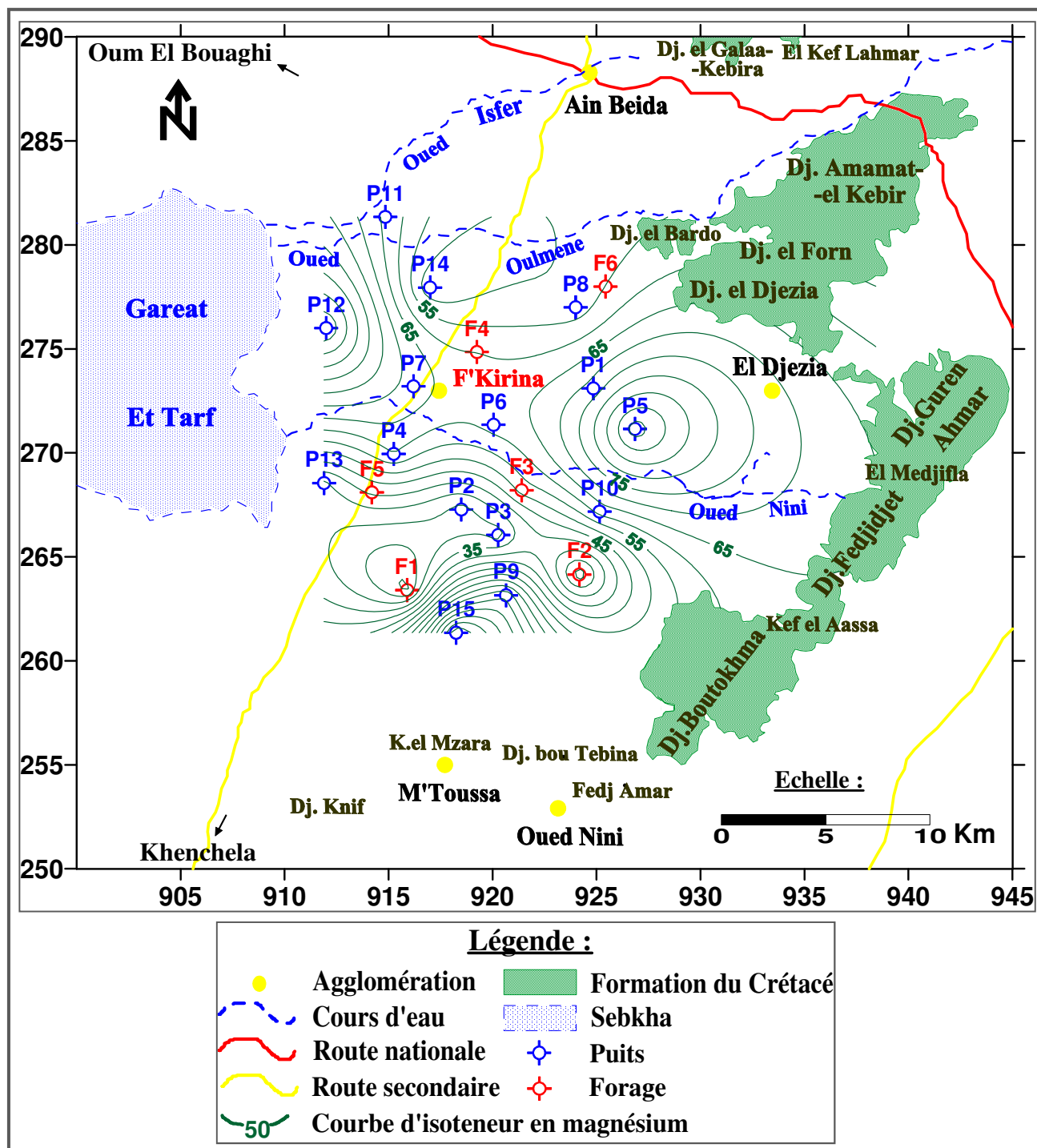


Fig. 43: Carte de la distribution du magnésium dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).

2-2-1-3. Le sodium (Na⁺):

Mis à part la dissolution des couches salifères, le sodium dans les eaux peut provenir :

- Du lessivage des formations riches en Na Cl (argiles, marnes, etc).
- De la décomposition des sels minéraux comme les Silicates (argiles).
- Des rejets d'eau usée d'origine industrielle et domestique.
- De l'invasion des eaux marines dans les régions côtières.

Dans notre terrain et d'après la carte en iso-teneurs du sodium (Fig. 44), on remarque que les valeurs les plus élevées sont situées à l'aval de l'Oued Nini (zone de fin des cours d'eau), à l'Est et au Sud de la plaine suivant les trois premières origines citées ci-dessus.

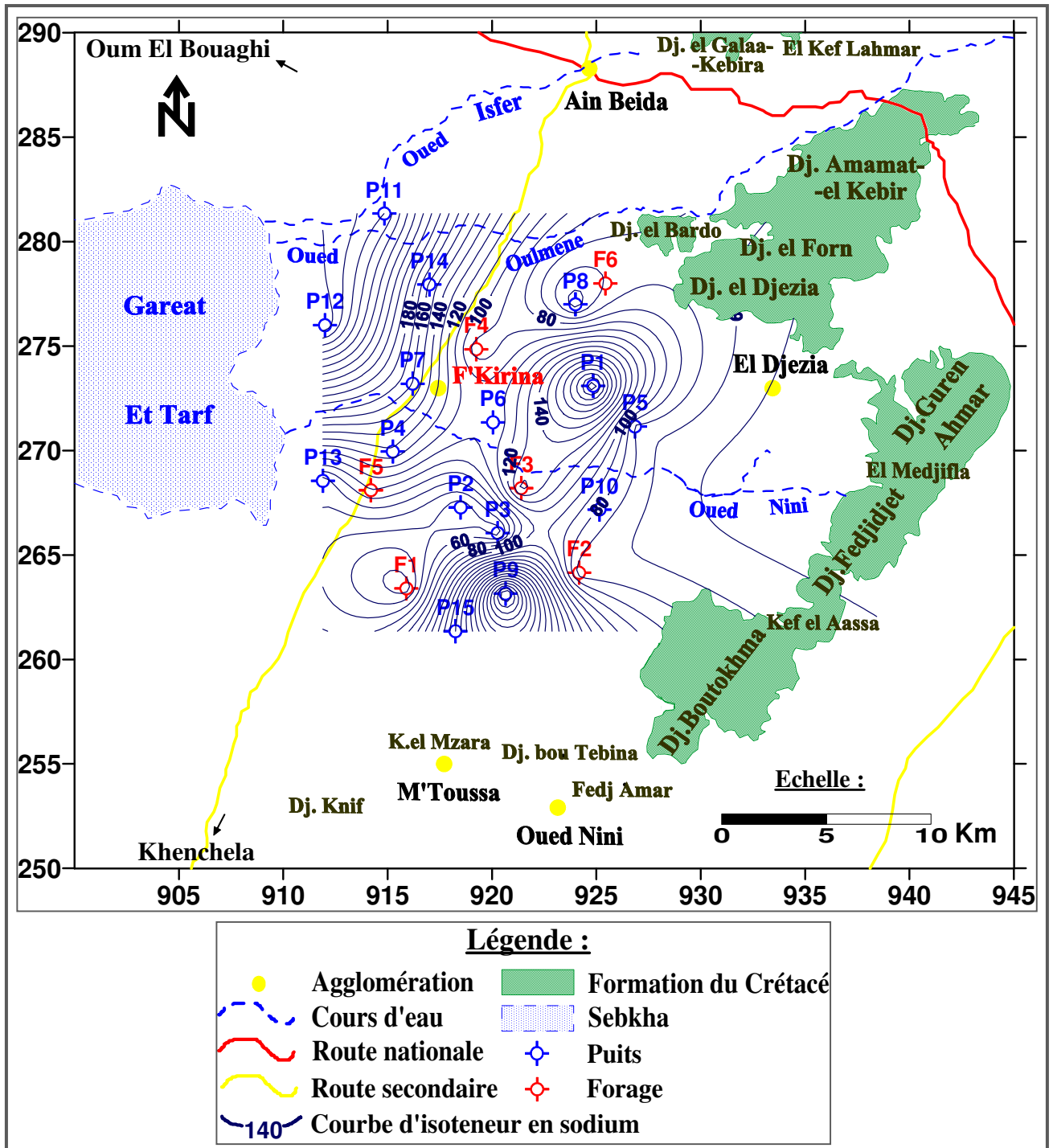


Fig. 44: Carte de la distribution du sodium dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).

2-2-1-4. Le potassium (K⁺):

C'est l'ion le moins abondant des cations. Il peut provenir du lessivage des terrains argileux par l'altération des Feldspaths, des Micas, etc.

Dans notre terrain sa teneur dépasse rarement les 2 mg/l, elle est égale à 20 mg/l au puits « P9 » et 24 mg/l au puits « P15 » situés au Sud de la plaine.

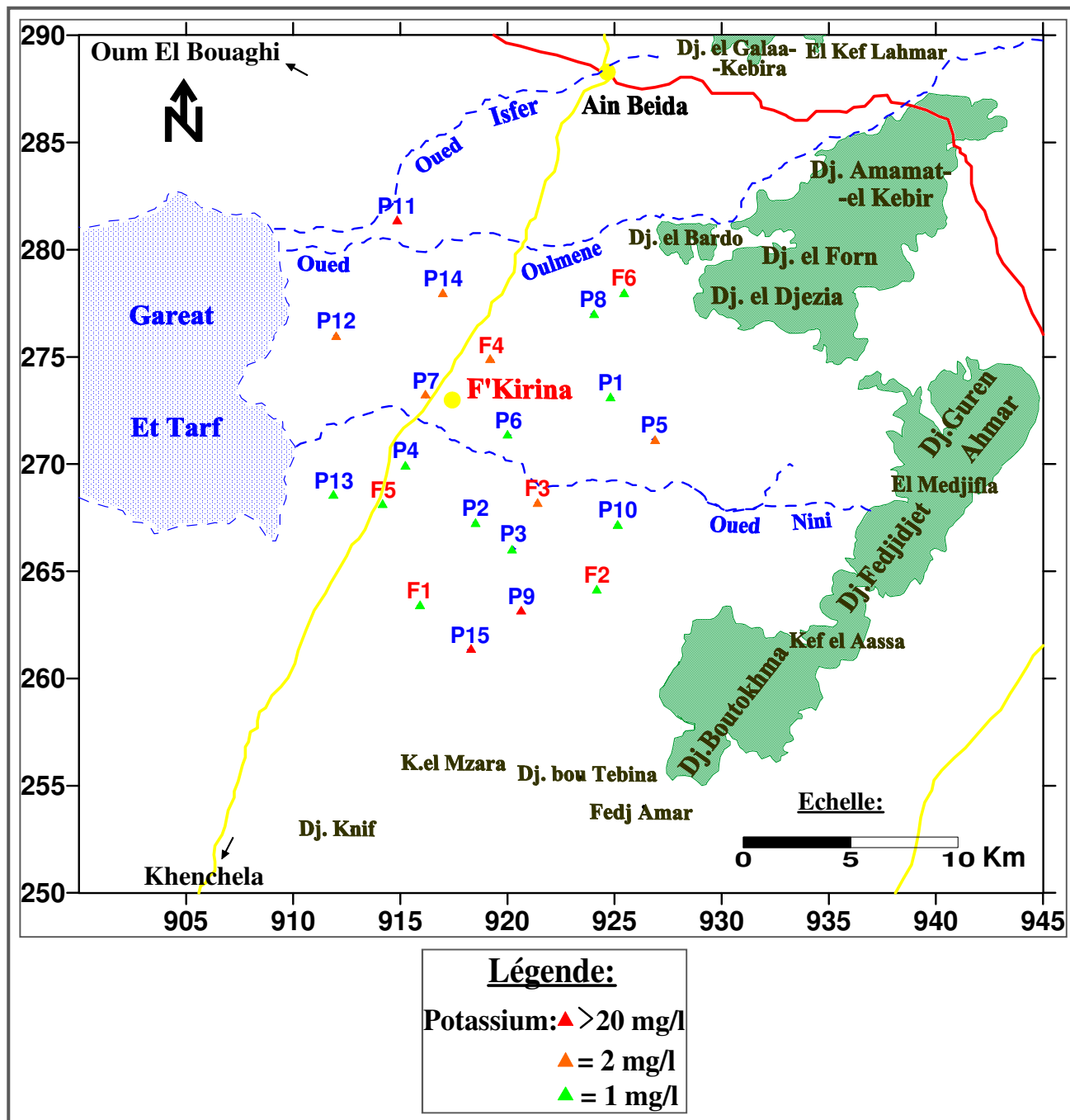


Fig. 45 : Carte de la distribution du potassium dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).

2-2-2. Anions:

Les anions analysés sont: les chlorures, les sulfates, les bicarbonates et les nitrates.

2-2-2-1. Les chlorures (Cl⁻):

L'eau en contient presque toujours mais en proportions très variables. La teneur en chlorures augmente généralement avec le degré de minéralisation d'une eau.

Les chlorures rencontrés en grande quantité dans les eaux souterraines peuvent provenir:

- De la dissolution des sels naturels par lessivage des terrains salifères.
- Du lessivage superficiel en cas de forte pluie dans les zones arides.
- De l'intrusion des eaux marines dans les régions côtières.
- Des rejets d'eau usée d'origine domestique et industrielle.

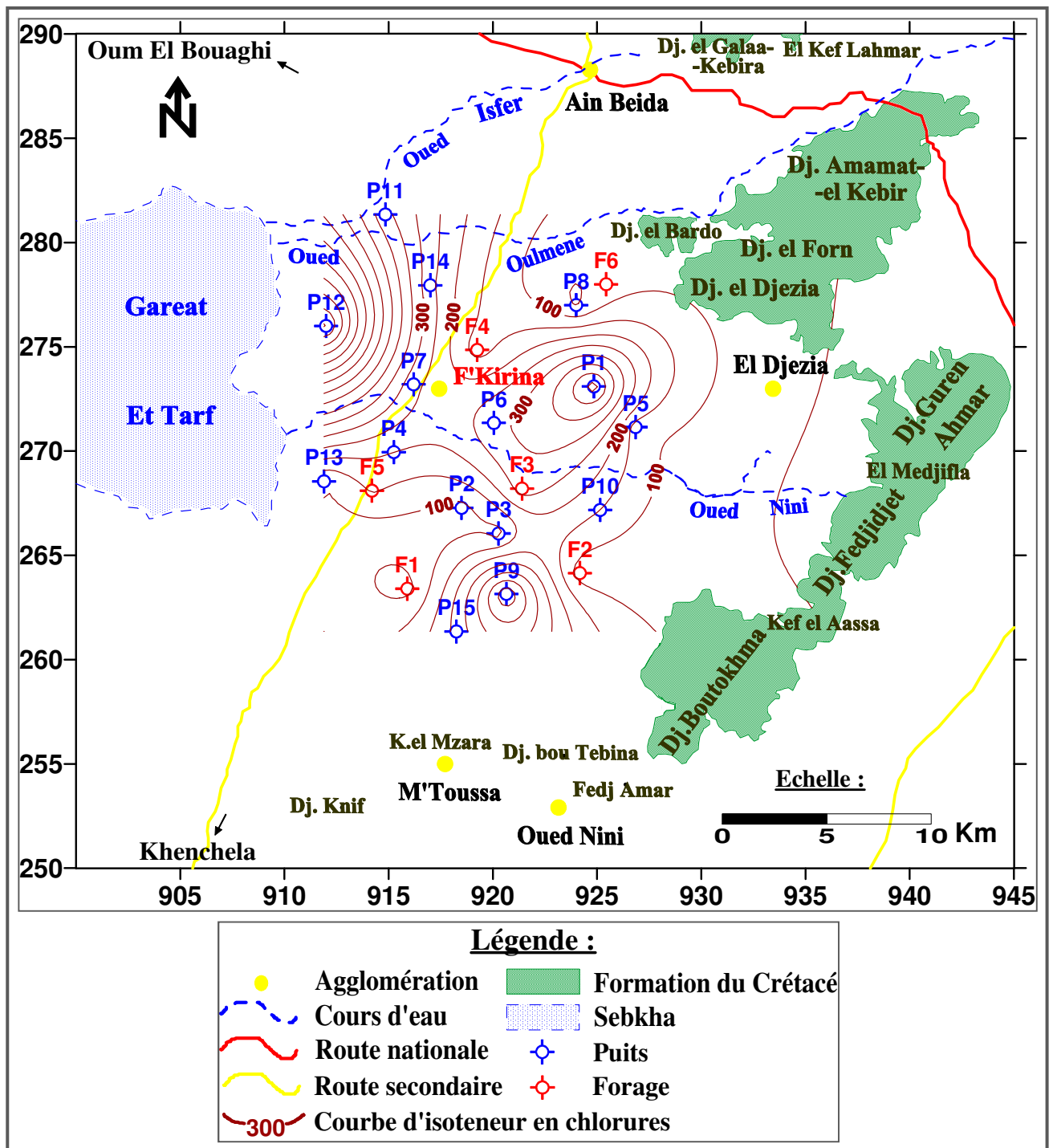


Fig. 46: Carte de la distribution des chlorures dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).

Dans notre région caractérisée par un climat semi-aride, on peut lier les teneurs importantes en chlorures qui dépassent parfois les 250 mg/l au lessivage superficiel ce qui est le cas à l'Est de la plaine (autour du puits « P1 ») et tout au long de l'Oued Nini (zone de drainage) où nous avons des teneurs qui varient entre 100 mg/l et 450 mg/l. Ainsi, et d'après la carte de la distribution des chlorures (fig. 46), les fortes teneurs en chlorures sont observées au Sud de la plaine autour des puits « P9 » et « P15 » ce qui peut être lié au lessivage des formations triasiques, et à l'Ouest de la plaine très proche de la Gareat Et-Tarf (« P12 ») avec des teneurs qui dépassent les 750 mg/l, donc c'est l'influence possible de la Gareat. De même, on trouve de fortes teneurs en Chlorures dans la partie Nord-Ouest de la plaine notamment au niveau du puits « P11 » ce qui est dus probablement à la pollution de la nappe par l'infiltration des eaux usées qui viennent des rejets de Ain Beida (pollution industrielle).

2-2-2-2. Les sulfates (SO_4^{2-}):

Les sulfates sont présents dans l'eau en quantités variables. Ils peuvent provenir:

- De la légère solubilité du sulfate de calcium des roches gypseuses ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$).
- Du lessivage des niveaux argileux et marneux de la nappe.
- De l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (exp: la pyrite FeSO_4).
- Des eaux usées industrielles qui contiennent souvent des sulfates divers ainsi que l'acide sulfurique (H_2SO_4).
- De l'eau de la pluie par l'oxydation dans l'atmosphère de l'anhydrite sulfureuse.
- De la matière organique végétale.
- De l'utilisation des engrais chimiques en agriculture.

Dans notre terrain (Fig. 47), les teneurs les plus élevées se trouvent dans trois zones :

- La première est située au Nord-Ouest de la plaine, à l'aval de l'Oued Isfer (« P11 ») ce qui est dus à la contamination par les eaux usées venant des rejets de la ville d'Ain Beida, et au voisinage de la Gareat Et-Tarf qui peut influencer cette teneur élevée en sulfates.
- La deuxième est située dans la partie Sud de la plaine aux alentours du puits « P9 », où nous avons le lessivage des formations triasiques (Diapir de Djebel Knif).
- Et la troisième à l'Est de la plaine (aux alentours des puits « P1 » et « P5 ») ce qui peut être dus au lessivage des niveaux argileux et marneux.

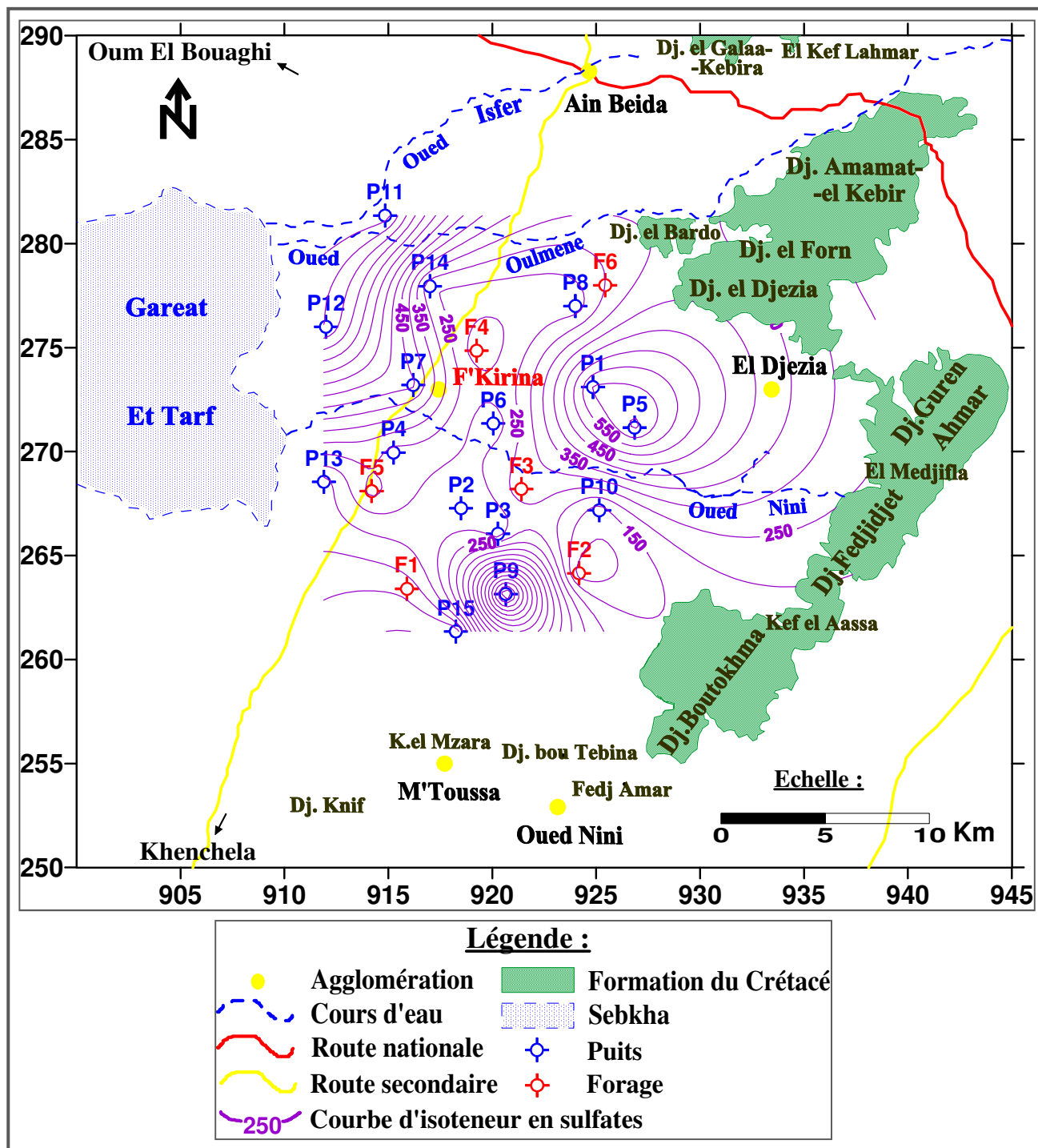
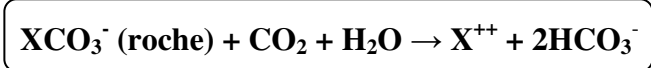


Fig. 47 : Carte de la distribution des sulfates dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).

2-2-2-3. Les bicarbonates (HCO₃⁻):

Les bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation générale suivante :



Leur concentration dans l'eau est fonction des paramètres suivants :

- Température de l'eau.
- Le pH de l'eau.
- Tension du CO₂ dissous.
- Concentration de l'eau en sels et la nature lithologique des terrains traversés.

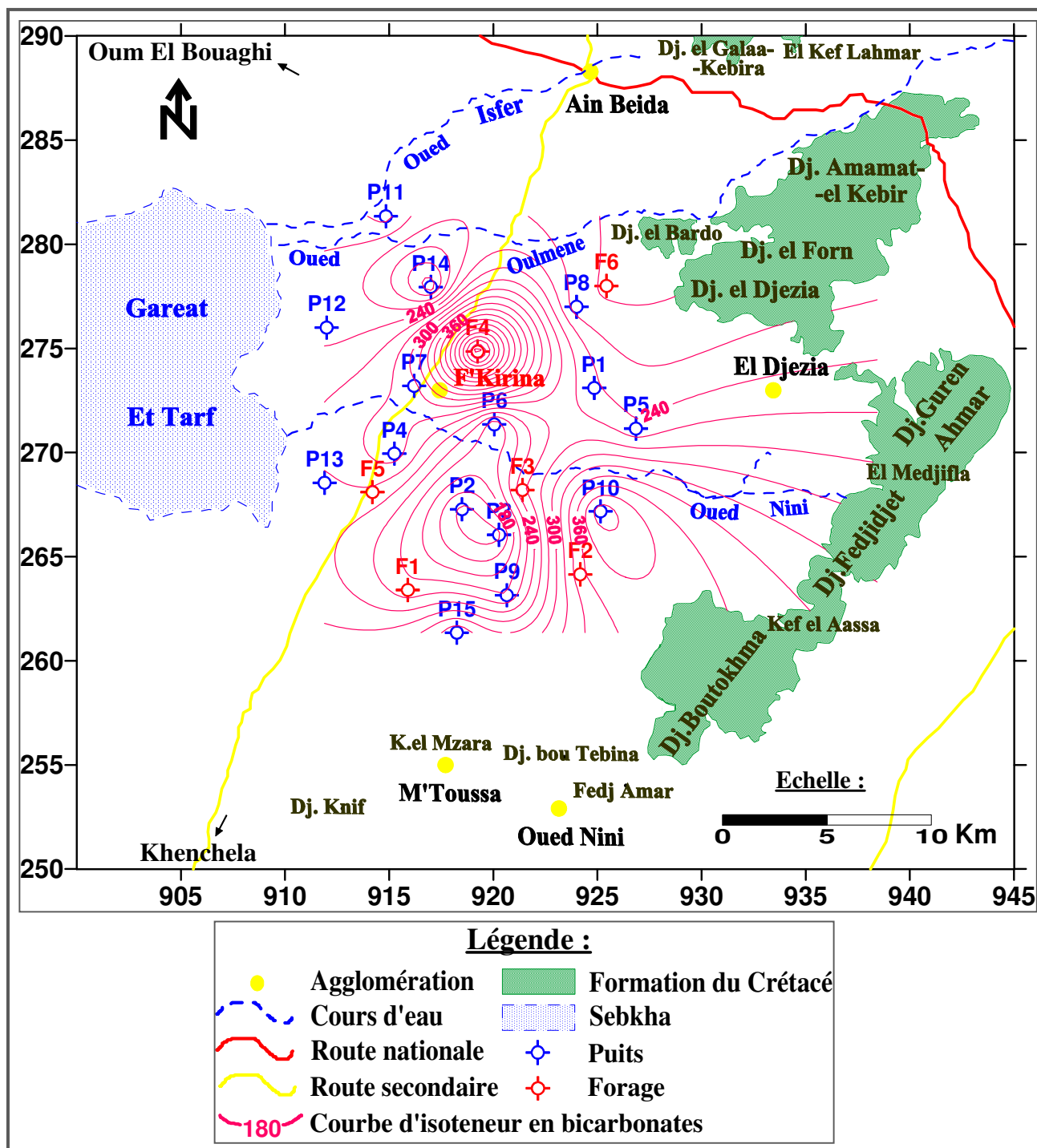


Fig. 48 : Carte de la distribution des bicarbonates dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).

Dans notre terrain, les valeurs les plus élevées en bicarbonates se situent au niveau du forage « F4 » avec une teneur qui dépasse les 500 mg/l et au niveau du puits « P10 » où la teneur est supérieure à 350 mg/l. Plusieurs arguments sont pris en considération pour lier ces deux zones :

- D'après la carte du toit du substratum (fig. 20, Chapitre 4), la côte du toit est la même dans les deux zones (795 mètres).
- Les deux points sont situés dans la même structure du toit du substratum (à la limite du bloc où il y a un soulèvement, zone de failles).
- D'après la géophysique, les deux points « F4 » et « P10 » qui correspondent successivement aux sondages géoélectriques « I40 » et « G50 » ont les mêmes caractéristiques géoélectriques sauf que la puissance du deuxième est plus importante (voir le 4^{ème} chapitre).

D'après ces arguments, on peut attribuer la teneur très élevée en bicarbonates dans les deux zones à l'influence de la nappe profonde.

Pour les autres zones, nous avons des teneurs en bicarbonates qui ne dépassent pas les 200 mg/l, se sont des eaux de la nappe superficielle.

2-2-2-4. Les nitrates (NO₃⁻):

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques et organiques ce qui est le cas de la plaine de F'Kirina (Fig. 49) où les teneurs les plus élevées en nitrates sont observées dans les zones très cultivées caractérisées par un développement de l'agriculture irriguée, au Sud de la plaine (au "P9") et au Nord-Ouest (au « P11 ») avec des concentrations qui dépassent les 70 mg/l. Par contre les teneurs les plus faibles en nitrates (de 5 à 25 mg/l) sont observées au niveau des forages qui alimentent les villes d'Ain Beida et El-Djezia, tels que les forages « F4 » et « F6 ».

3. Classification des eaux :

Plusieurs méthodes de classification des eaux naturelles ont été définies par divers auteurs, On s'intéressera ici uniquement à celles couramment utilisées, pour déterminer le faciès hydrochimique.

3-1. Classification de Stabler (formule ionique):

Après la vérification de la fiabilité des analyses chimiques, les concentrations des éléments exprimées en meq/l seront réduites en quantités en réaction pour cent (r %) par rapport à la concentration totale de la façon suivante:

$$r \% = r (\text{meq/l}) \cdot 100 \% / \text{concentration totale (meq/l)}$$

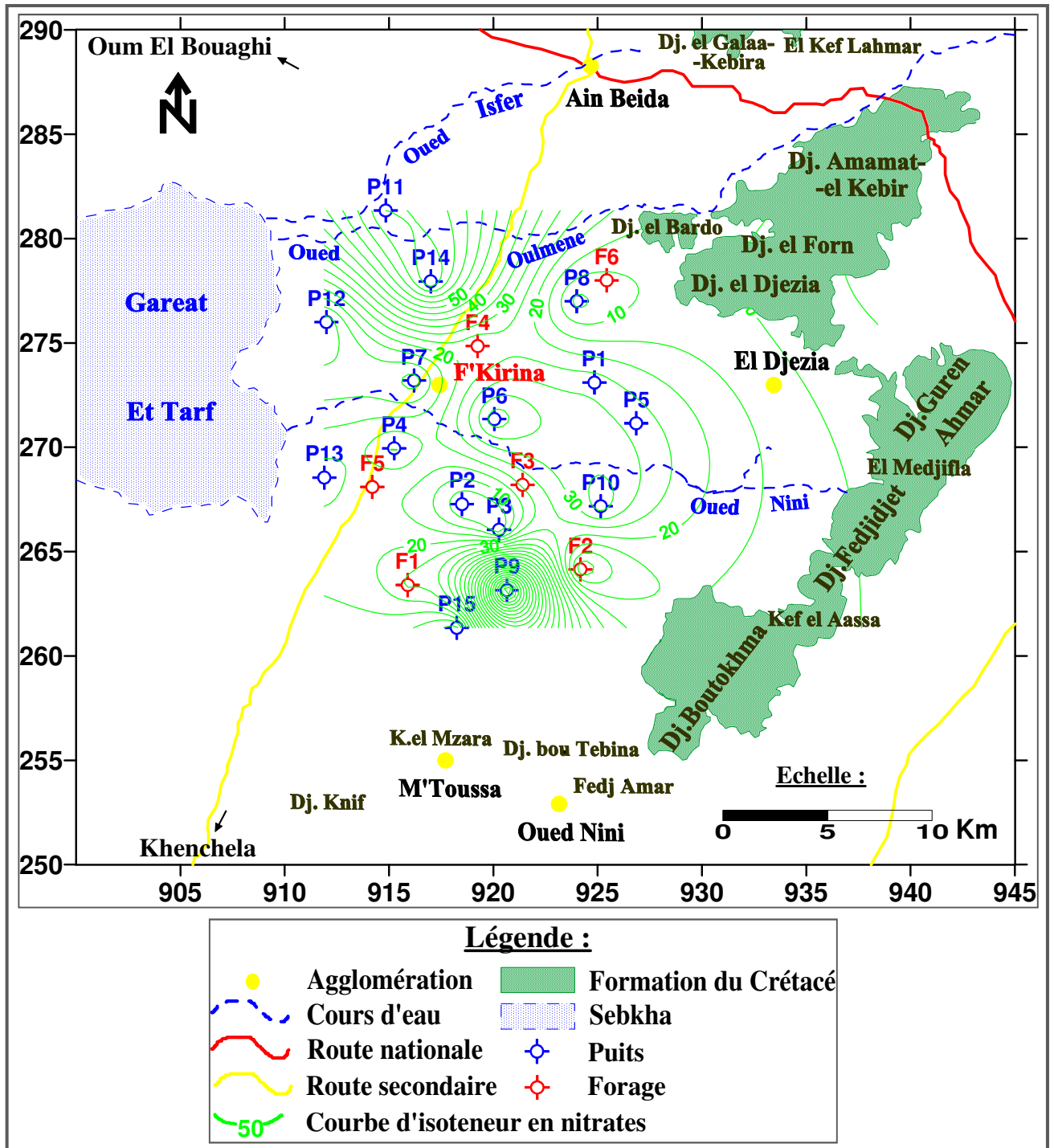


Fig. 49: Carte de la distribution des nitrates dans la nappe superficielle (BE, Novembre 2016).

Enfin, la formule ionique sera établie en classant par ordre décroissant de gauche à droite les "r %" des anions puis des cations. Cette formule ionique permet de définir les caractéristiques physico-chimiques des eaux de l'aquifère en relation avec sa lithologie et de classer les eaux de même origine. (Voir tableau 22).

3-1-1. Faciès chimique:

Au cours de son parcours souterrain, l'eau acquiert progressivement une charge en éléments dissous selon des concentrations croissantes, jusqu'à atteindre un état d'équilibre qui caractérise son faciès (Jacques Bodin, 2008). A partir de la formule caractéristique de Stabler et en tenant compte de l'anion et du cation prédominants dans les eaux de notre plaine, nous obtenons trois principales familles de faciès chimiques, qui sont:

● **Faciès chloruré:** Il se subdivise en deux sous familles :

- Sous famille chloruré calcique.
- Sous famille chloruré sodique.

La mise en place de ce faciès est due à la présence d'un remplissage formé par des dépôts calcaires (graviers et croûte calcaire) et des dépôts salifères venant respectivement de l'érosion des formations carbonatées des massifs bordiers et des formations gypsifères du Trias.

● **Faciès bicarbonaté:** Il n'apparaît qu'avec six échantillons représentatifs donnant la sous famille bicarbonaté calcique.

La mise en place de ce faciès peut être liée à des apports d'eau venant respectivement des massifs calcaires de bordures et l'alimentation par phénomène de drainance de la nappe profonde.

● **Faciès sulfaté:** Il se subdivise en deux sous familles :

- Sous famille sulfaté calcique.
- Sous famille sulfaté magnésienne.

Les affleurements triasiques qui se situent aux alentours de la plaine de F'Kirina ont donné naissance à des eaux sulfatées.

Les résultats sont regroupés dans le tableau N° 21.

Tableau N°21: Classification des eaux souterraines selon la formule caractéristique de Stabler.

Point d'eau	Basses eaux (Novembre 2016)	
	Formule ionique	Faciès chimique
F1	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^-$ $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique
F2	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--}$ $\text{Ca}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{++}$	Bicarbonaté calcique
F3	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^-$ $\text{Ca}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{++}$	Chloruré calcique
F4	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--}$ $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique
F5	$\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ $\text{Ca}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{++}$	Sulfaté calcique
F6	$\text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ $\text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Sulfaté magnésien
P1	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^-$ $\text{Ca}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{++}$	Chloruré calcique
P2	$\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ $\text{Ca}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{++}$	Sulfaté calcique
P3	$\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Sulfaté calcique
P4	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{--}$ $\text{Ca}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{++}$	Chloruré calcique
P5	$\text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Sulfaté calcique
P6	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^-$ $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Chloruré calcique
P7	$\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ $\text{Ca}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{++}$	Sulfaté calcique
P8	$\text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ $\text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Sulfaté magnésien
P9	$\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ $\text{Ca}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{++}$	Sulfaté calcique
P10	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--}$ $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique
P11	$\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ $\text{Ca}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{++}$	Sulfaté calcique
P12	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^-$ $\text{Ca}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{++}$	Chloruré calcique
P13	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^-$ $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique
P14	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^-$ $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$	Chloruré sodique
P15	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--}$ $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonaté calcique

D'après cette classification, on a pu réaliser une carte de faciès chimiques (Fig.50) pour la période de basses eaux (Novembre 2016) qui permet de visualiser la localisation de faciès sur la plaine et l'évolution chimique des eaux souterraines.

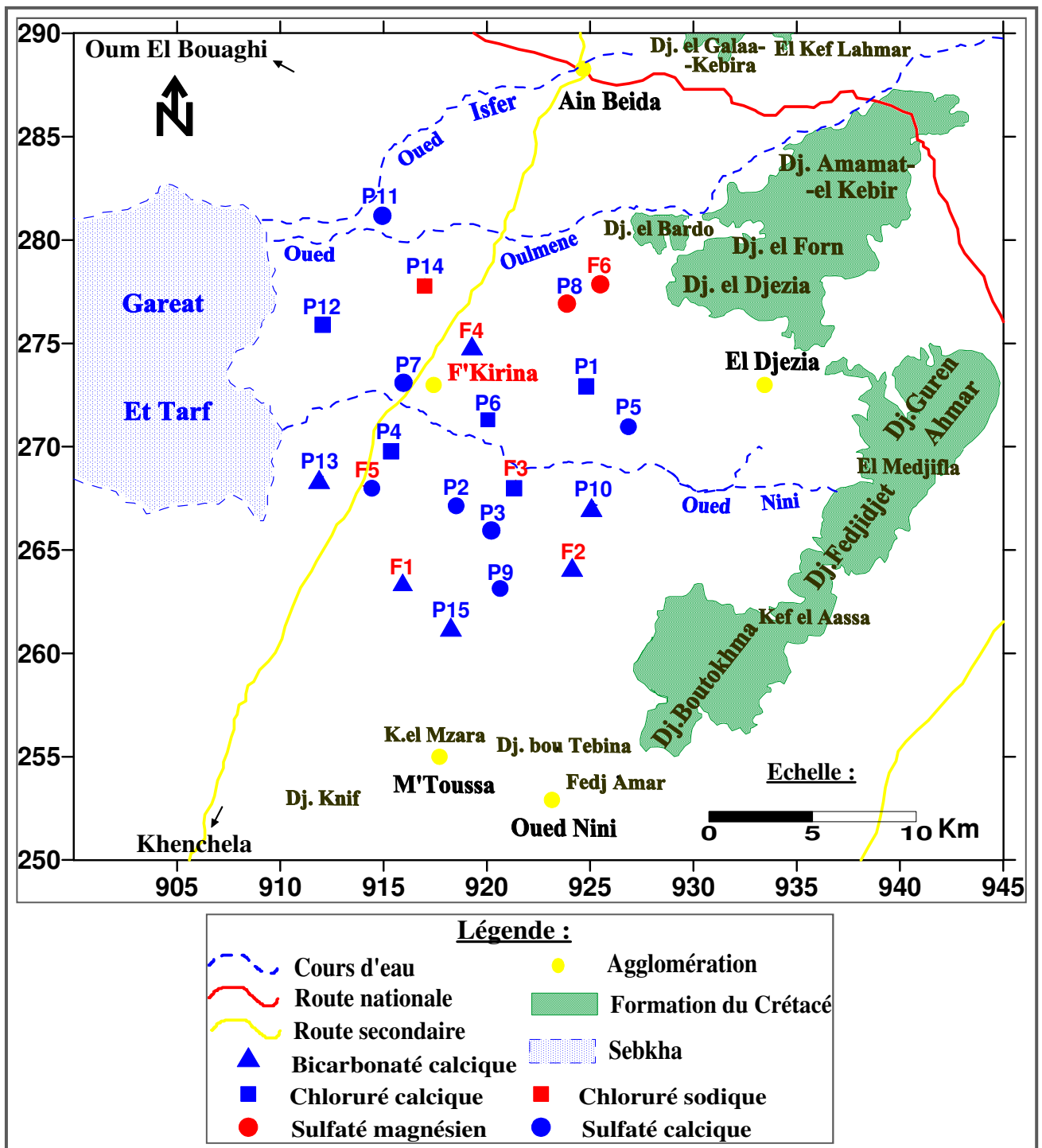


Fig. 50: Carte de faciès chimiques (Basses eaux, Novembre 2016).

D'après la carte de la distribution du faciès hydrochimique dans la plaine de F'Kirina, on remarque que la répartition des différents faciès dépend de la lithologie et de l'hydrodynamisme des nappes aquifères, tel que :

- Le faciès bicarbonaté calcique: il occupe la partie Sud de la plaine et on le trouve au niveau

du forage « F4 ». Il tire son origine des formations carbonatées bordant la nappe.

- Le faciès chloruré calcique: il est présent à l'intérieur de la plaine et caractérise les eaux des puits situés au voisinage de l'Oued Nini et du puits « P12 » très proche de la Gareat Et-Tarf, ce qui peut être expliqué par l'influence de cette dernière et de la présence des formations alluvionnaires salées du Mio-Plio-Quaternaire et gypsifères du Trias.
- Le faciès chloruré sodique : il n'apparaît qu'au niveau du puits « P14 » situé au Nord-Ouest de la plaine ce qui est dû probablement à l'influence de la Gareat Et-Tarf et à la dissolution des formations salifères riches en NaCl tel que les argiles ou les marnes formant le substratum de la nappe.
- Le faciès sulfaté calcique : Il se trouve au Sud de la plaine où les formations triasiques peuvent être à l'origine de ce faciès, et au Nord-Ouest (« P11 ») et au centre de la plaine (« P5 » et « P7 ») ce qui peut être lié au lessivage des niveaux argileux et marneux de la nappe.
- Le faciès sulfaté magnésien : il caractérise les eaux des puits « P6 » et « P8 » situés au Nord-Est de la plaine.

3-2. Classification de Piper:

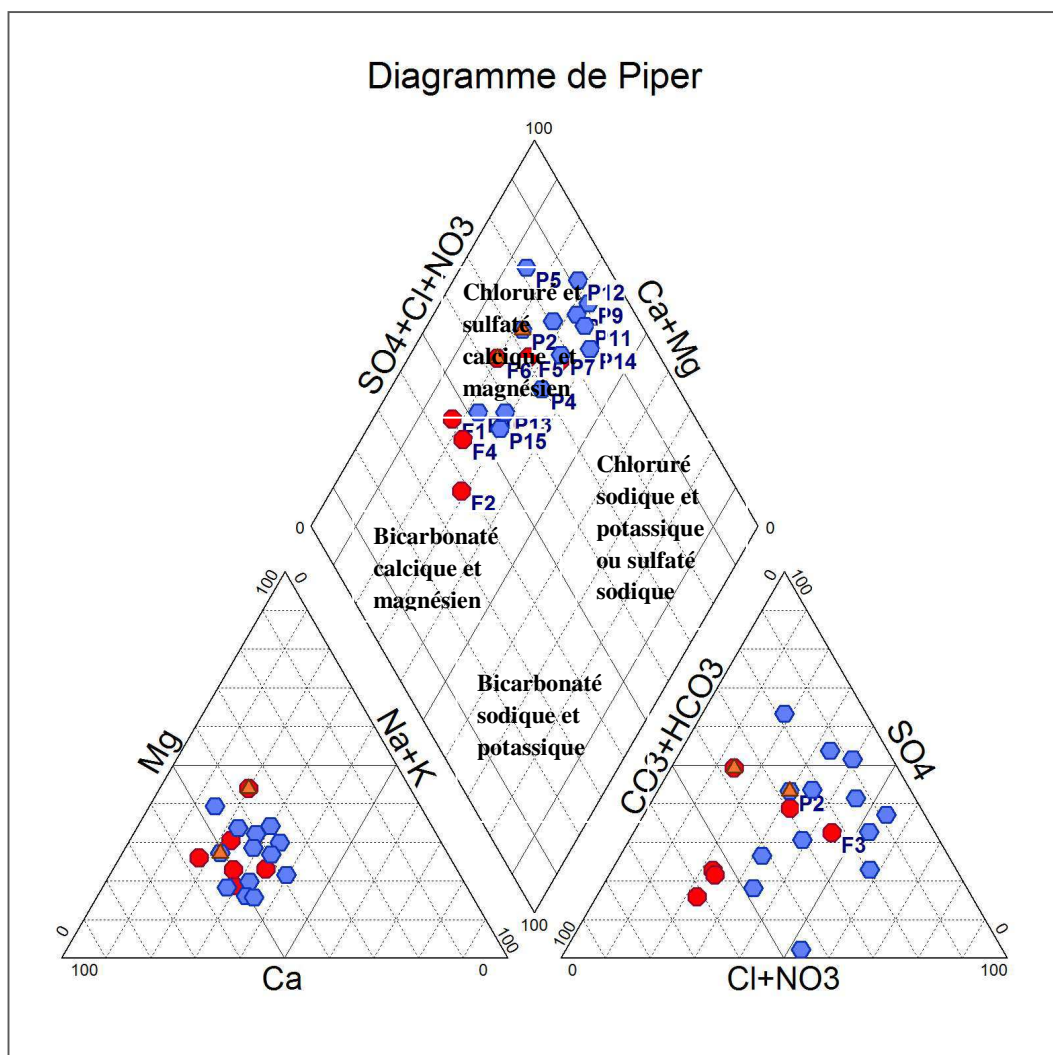


Fig. 51: Diagramme de Piper (Basses eaux, Novembre 2016).

Le diagramme de Piper (Fig. 51) fait ressortir trois principaux types de faciès chimiques, qui sont : le sulfaté calcique qui représente 33.33 % des échantillons et apparaît selon la carte de répartition des faciès (Fig. 50) aux points « P2 », « P3 », « P5 », « P7 », « P9 », « P11 » et « F5 », le faciès bicarbonaté calcique (28.57 % des échantillons) qui caractérise les eaux des forages « F1 », « F2 », « F4 » et des puits « P10 », « P13 » et « P15 ». Les formations carbonatées et triasiques peuvent être à l'origine de ces faciès. Le faciès chloruré calcique représentant 23.80 % des échantillons, il est présent à l'intérieur de la plaine et caractérise les eaux des puits « P1 », « P4 », « P6 » et du forage « F 3 » situés au voisinage de l'Oued Nini et du puits « P12 » très proche de la Gareat Et-Tarf, ce qui peut être expliqué par l'influence de cette dernière et de la présence des formations salées du Mio-Plio-Quaternaire.

4. Analyse statistique multivariable:

4-1. Analyse en composantes principales (ACP):

4-1-1. Matrice de corrélation :

La matrice de corrélation (Tableau N°22) fait ressortir plusieurs corrélations très significatives notamment entre Ca^{2+} et Cl^- ($r = 0.92$), Ca^{2+} et Na^+ ($r = 0.92$), Ca^{2+} et SO_4^{2-} ($r = 0.86$), Na^+ et Cl^- ($r = 0.90$), Na^+ et SO_4^{2-} ($r = 0.80$), ce qui peut être dû à l'origine commun de ces éléments qui est le lessivage des formations carbonatées ou triasiques ou salées du Mio-Plio-Quaternaire. Pour le Mg^{2+} , K^+ et HCO_3^- , il n'y a pas un lien significatif entre eux et les autres éléments chimiques.

Tableau N°22: Matrice de corrélation entre les paramètres chimiques.

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
Ca^{2+}	1,00						
Mg^{2+}	0,66	1,00					
Na^+	0,92	0,61	1,00				
K^+	0,46	0,44	0,55	1,00			
HCO_3^-	0,01	0,20	-0,02	0,05	1,00		
SO_4^{2-}	0,86	0,55	0,80	0,38	-0,16	1,00	
Cl^-	0,92	0,61	0,90	0,26	-0,08	0,72	1,00

4-1-2. Analyse du Cercle des corrélations et projection des variables :

La projection des variables sur le plan (F1-F2) (Fig. 52) montre deux pôles, le facteur 1 représente 61.66 % de la variance, il est déterminé par les éléments Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} liés à la forte minéralisation et le facteur 2 qui représente 16.24 % de la variance, il est déterminé

par l'élément HCO_3^- venant surtout du lessivage des formations carbonatées.

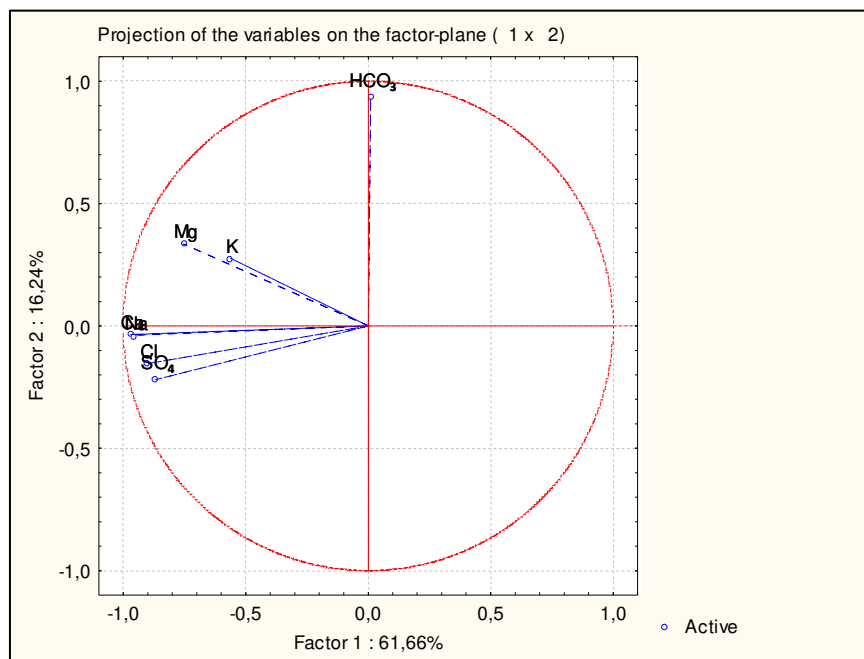


Fig. 52: Projection des variables sur le plan des facteurs (1x2).

4-2. Classification hiérarchique ascendante (AHC):

Le dendrogramme de la classification hiérarchique des eaux souterraines de l'aquifère de F'Kirina (Fig. 53 A, B) met en évidence l'existence de trois groupes, le premier groupe représente la classe de très forte minéralisation, il est formé du point « P12 » très proche de Gareat Et-Tarf, le deuxième représente la classe de forte minéralisation due surtout au lessivage des formations carbonatées et triasiques, il est constitué des points « P11 », « P9 », « P1 », « P5 » et « P15 », et le troisième groupe est caractérisé par une faible minéralisation qui représente le reste des points d'eau.

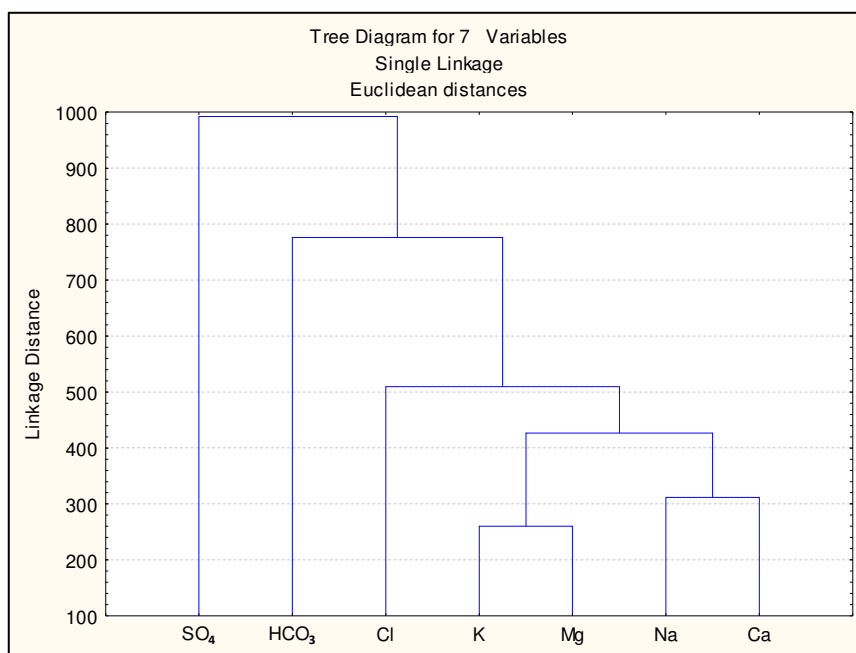


Fig. 53 A.: Dendrogramme de la classification hiérarchique des éléments chimiques.

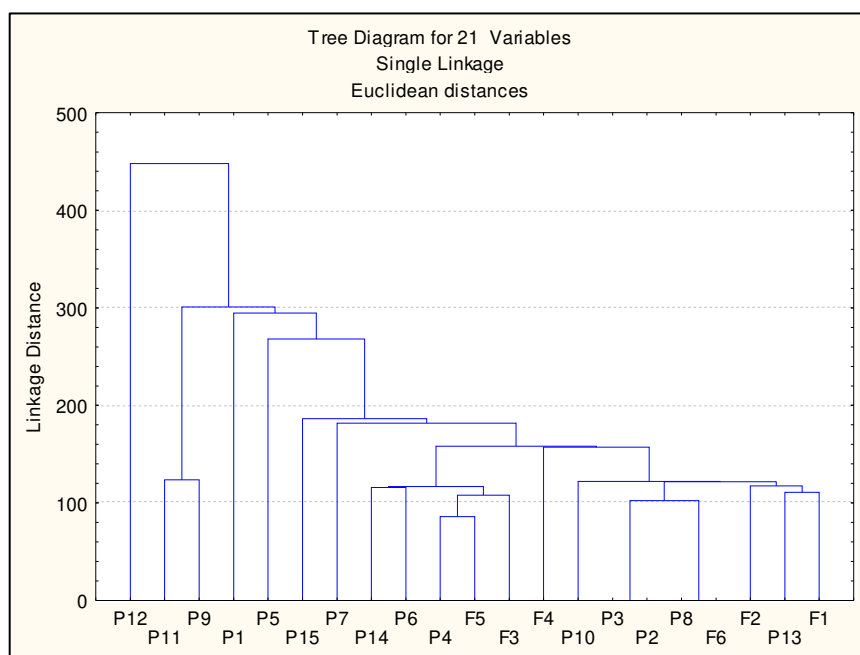


Fig. 53 B.: Dendrogramme de la classification hiérarchique des points d'eau de l'aquifère de F'Kirina.

4. Conclusion :

L'application des outils graphiques (cartographie et diagramme de Piper) et statistiques multivariés (ACP et AHC) sur les eaux souterraines de l'aquifère de F'Kirina nous a permis de déterminer le mécanisme du chimisme de ces eaux et d'acquisition de la minéralisation et nous a permis de les classer en plusieurs types de faciès, dont la répartition dépend surtout de la lithologie des terrains traversés et les phénomènes de lessivage et d'évaporation.

Les calcaires maestrichtiens de bordure ont donné naissance au faciès bicarbonaté calcique, les matériaux salés du remplissage Mio-Plio-Quaternaire et les niveaux argileux et marneux ont donné les faciès chloruré calcique et chloruré sodique, et les dépôts triasiques sont à l'origine des faciès sulfaté calcique et sulfaté magnésien.

CHAPITRE 7

Evaluation des ressources en eaux mobilisables

La plaine de F'Kirina est une région à vocation agricole, ce qui nécessite la mobilisation d'une grande quantité d'eau aussi bien pour l'alimentation en eau potable que pour l'irrigation.

1. Introduction :

L'eau est un élément de base et une ressource naturelle très précieuse, dont les usages domestiques, agricoles, industriels, urbains et de loisirs sont devenus considérables.

Le problème des ressources en eau mobilisables ne se pose pas uniquement en termes de quantité disponible, la qualité de ces eaux commence à poser de sérieux problèmes.

Après avoir présenté dans les parties précédentes les caractéristiques générales de la plaine de F'Kirina et donné un diagnostic qualitatif de ses ressources en eaux souterraines, nous allons évaluer dans ce chapitre celles mobilisables et leur attribution pour les différents secteurs d'usagers.

2. Diagnostic quantitatif des ressources en eaux dans la plaine de F'Kirina :

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, ajoutée à l'irrégularité habituelle des pluies et des cours d'eau, explique le recours à l'exploitation de la nappe phréatique. Les eaux souterraines de cette dernière constituent les principales ressources en eau de la plaine qui assurent l'alimentation en eau potable et d'irrigation pour plus de 14914 habitants (on note l'absence des barrages au niveau de la plaine). Les ouvrages de captage des eaux souterraines sont essentiellement des forages et des puits en plus de quelques sources d'eau minérale implantées dans la plaine.

2-1. Les puits :

A travers la superficie de 650 km² de la plaine, il existe un nombre considérable de puits qui captent les eaux de la nappe superficielle, dont le rôle est surtout l'irrigation des surfaces agricoles. Les débits d'exploitation sont peu significatifs.

2-2. Les forages :

Comme il a été signalé, la majorité du potentiel hydrique souterrain de la plaine de F'Kirina est exploité par pompage à partir des forages qui captent les eaux soit de la nappe superficielle du Mio-Plio-Quaternaire soit la nappe profonde des calcaires du Maestrichtien.

D'après le bilan actuel de la DHW d'Oum El-Bouaghi, le nombre total des forages recensés en Novembre 2017 dans la plaine de F'Kirina (Daïra) est de 24 forages, 5 dans la commune d'Oued Nini et 19 dans la commune de F'Kirina, dont la plupart captent les eaux de la nappe superficielle, Parmi lesquels :

- 12 sont déclarés (dont 10 sont en service, 7 exploités par l'ADE, 3 par l'APC et 2 sont à l'arrêt à cause de leurs équipements électriques endommagés).
- 2 sont nouveaux et n'ont pas encore été mis en service car ils n'ont pas été équipés en énergie électrique et en adduction.

Et 5 sont abandonnés définitivement (abimés).

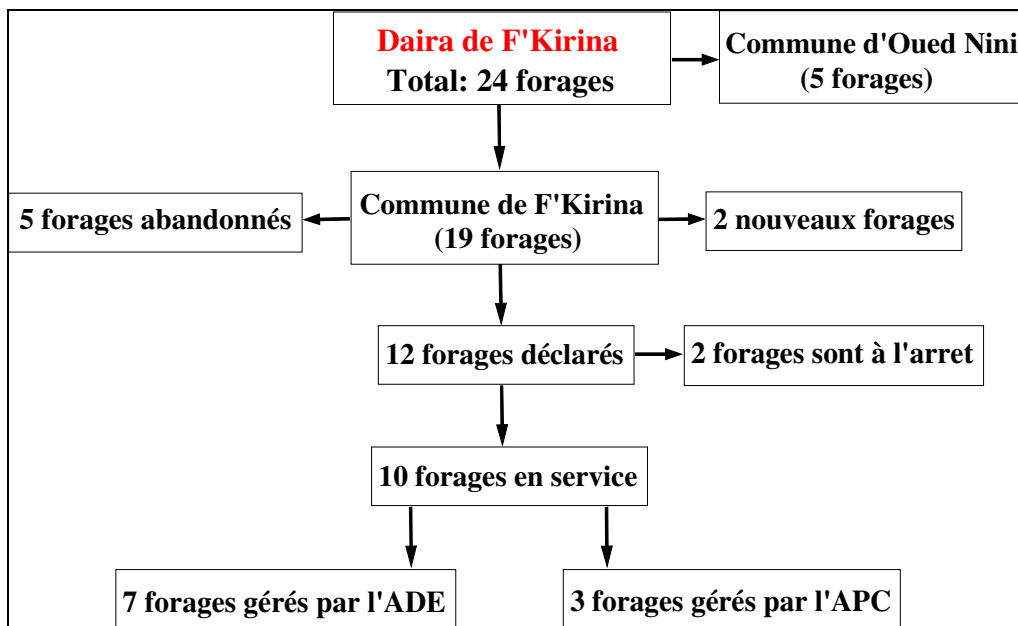


Fig. 54: Schémas récapitulatif des forages dans la région d'étude.

Tableau N° 23 : Forages abandonnés définitivement d'après la DHW d'Oum El-Bouaghi (2017):

Nom des forages abandonnés	Date de mise en service	Exploitant gestionnaire	Nappe	Profondeur (m)	Débit max (l/s)
L55	/	APC	Quaternaire	100	2
G50	1987	ADE	Quaternaire	60	8
E32	2005	APC	Quaternaire	150	1
F45	1987	ADE	Quaternaire	200	7
F53	/	ADE	Quaternaire	100	10

Tableau N° 24 : Forages à l'arrêt d'après la DHW d'Oum El-Bouaghi (2017) :

Nom des forages à l'arrêt	Date de mise en service	Exploitant gestionnaire	Nappe	Profondeur (m)	Débit max (l/s)
OL2	/	APC	Aptien	120	4
H41	1987	APC	Quaternaire	100	4

Tableau N° 25 : Nouveaux forages d'après la DHW d'Oum El-Bouaghi (2017) :

Nom des nouveaux forages	Date de mise en service	Capacité installée (m ³ /j)
F5	2017	0
H48	2017	216

2-2-1. Forages captant les eaux de la nappe superficielle :

Tableau N° 26 : Forages captant la nappe superficielle d'après la DHW d'Oum El-Bouaghi (2017):

Nom du forage en service	Date de mise en service	Exploitant gestionnaire	Nappe	Profondeur (m)	Débit max (l/s)
I33	1981	ADE	Miocène	135	5
G42bis	1993	ADE	Quaternaire	60	3.5
IS1	/	APC	Quaternaire	129.5	2
F45bis	2007	ADE	Quaternaire	200	5
C29	2013	ADE	Quaternaire	100	3.5
J49	/	ADE	Quaternaire	150	2.5
I38	1998	APC	Quaternaire	172	12
IJ34	2005	APC	Quaternaire	100	3
H47bis	1981	ADE	Plio-Quaternaire	120	12

2-2-2. Forages captant les eaux de la nappe profonde:

Tableau N° 27 : Forages captant la nappe profonde d'après la DHW d'Oum El-Bouaghi (2017):

Nom du forage en service	Date de mise en service	Exploitant gestionnaire	Nappe	Profondeur (m)	Débit max (l/s)
J40	1978	ADE	Crétacé sup.	81	9

3. Mobilisation des ressources en eaux dans la plaine de F'Kirina :

En matière de ressources en eaux mobilisables pour les différents secteurs (AEP, AEA et AEI), la plaine de F'Kirina s'appuie sur ses propres richesses, dont les eaux souterraines restent la principale ressource.

Le volume des eaux souterraines mobilisable est estimé à 4255.2 m³/j, mais seulement 42 l/s (2620.8 m³/j) sont exploitées, soit un taux de 62 % des eaux souterraines mobilisables. Près de 38 % des ressources souterraines restent encore à mobiliser, par l'implantation des forages et la réhabilitation de ceux qui sont en mauvais état.

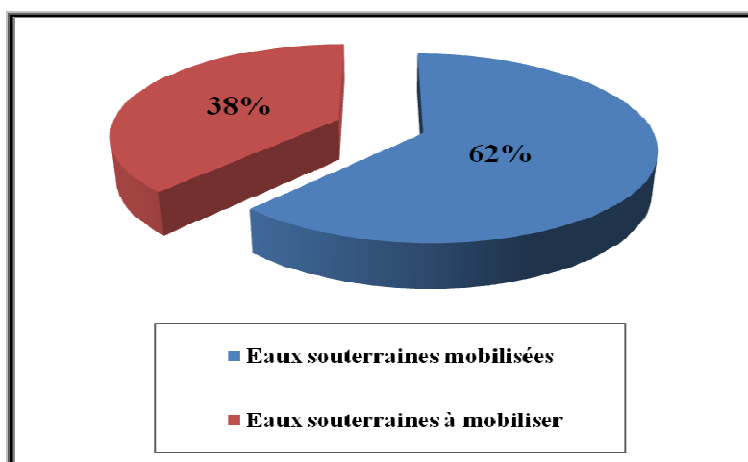


Fig. 55: Taux de mobilisation des ressources en eaux souterraines dans la plaine de F'Kirina.

Parmi le total des ressources exploitées, qui est de 2620.8 m³/j, 2102.4 m³/j sont exploitées par l'ADE, soit 80%, et le reste qui est de 518.4 m³/j, soit 20% sont exploitées par l'APC.

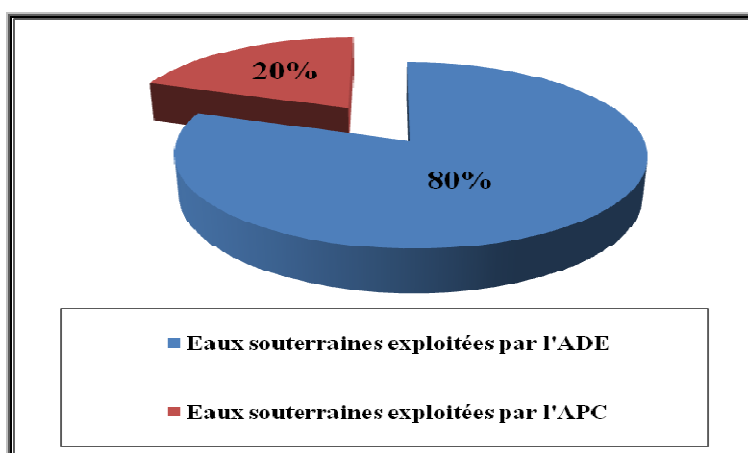


Fig. 56: Taux de ressources en eaux souterraines mobilisées dans la plaine de F'Kirina.

4. Affectation des ressources en eaux de la plaine de F'Kirina :

L'utilisation des ressources en eaux pour les besoins de consommation se classe en un certain nombre de catégories, à savoir : la consommation domestique, production agricole et utilisation industrielle (Bouznad Imad Eddine, 2016).

Concernant l'affectation des ressources en eau dans la plaine de F'Kirina, la partie la plus importante des eaux mobilisées est destinée à la satisfaction des besoins domestiques (AEP) avec un taux d'environ 50 %, et qui ne cesse de croître. Puis, vient l'irrigation dont 40 % des ressources mobilisées sont destinées aux usages agricoles, en enfin les 10% qui restent sont destinées à couvrir les besoins en eaux industrielles.

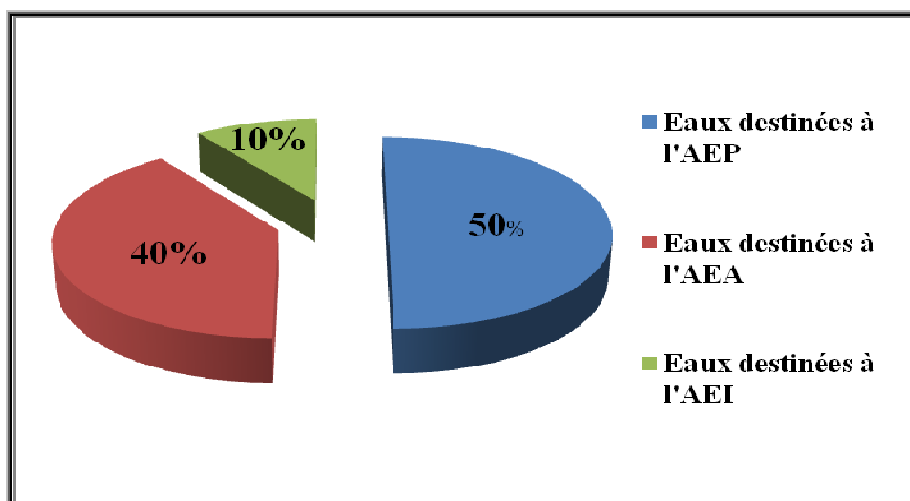


Fig. 57: Affectation des ressources en eaux souterraines dans la plaine de F'Kirina.

4-1. L'alimentation en eau potable (AEP):

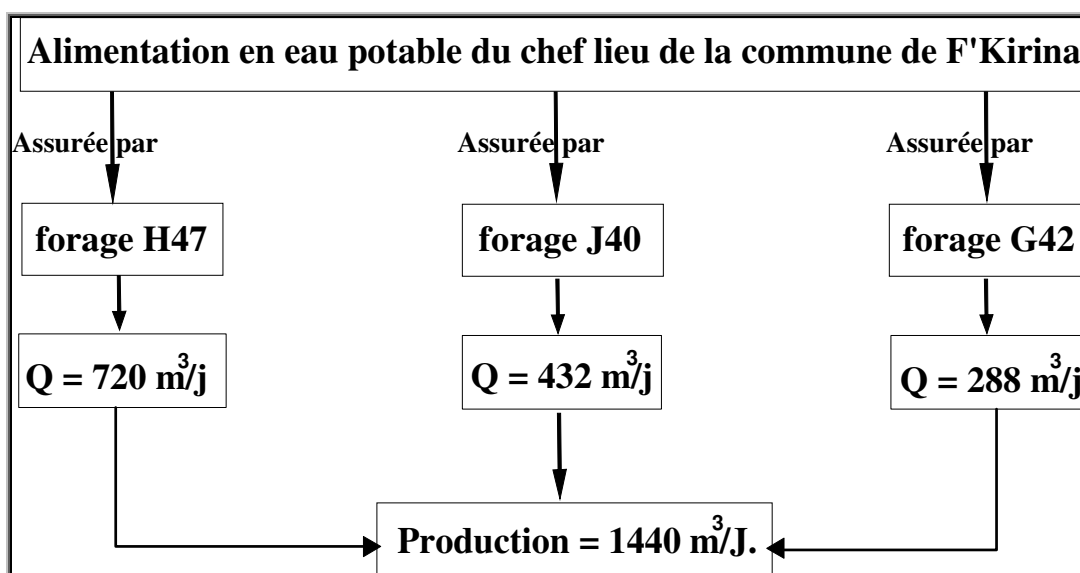


Fig. 58: Production de l'eau potable dans la plaine de F'Kirina.

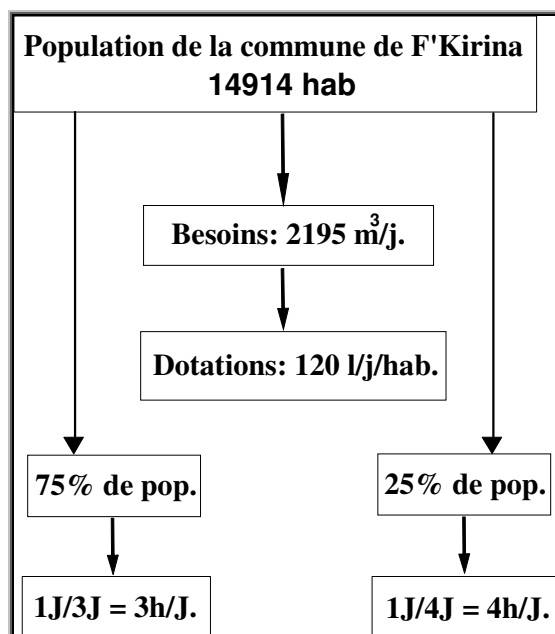


Fig. 59: Besoins et dotations en eau potable dans la plaine de F’Kirina.

Tableau N° 28 : Etat des lieux du service public de l’eau potable dans la commune de F’Kirina d’après la DHW d’Oum El-Bouaghi (Novembre, 2017) :

	Population (hab)	Besoins (m³/j)	Productions (m³/j)	Déficits et Surplus	Dotations (l/hab/j)
Chef lieu de commune gérée par l'ADE					
Agglomération secondaires					
Ain Oum El -Djemel (Basse)	890		Réseau de la ville Ain Beida		
Ain Oum El -Djemel (Haute)	550		Réseau de la ville Ain Beida		
Djebialia et Djebabra	550		Station de reprise Ain Oum El- Djemel		
Zone éparses					
Laugsai	520	63			120
M’dareg-Narou	312	38	58	Surplus	120
Rmadiet-Noum	416	50	45	Surplus	120
Argoob-Aissa	260	32	72	Surplus	120
Hanchir –El Djazia+ Hanchir-Lahmam	210	26	432	Surplus	120
Oulmen	460	70	144	Surplus	150

Djazia gard	156	19	44	Surplus	120
Ain –Messouss, Bir Temamane et Laataba	520	63	85	Surplus	120
Issefer	416	50	44	Surplus	120
Hanchir Lahssi	210	26		/	120
Mecheta Jenane	105	11			100
Safel El-Beida	156				
Koudiet Lambarek	260	32			120
Koudiet Arajel + Henchir Elkarma + Mrah Atarfa	470				

4-2. L'alimentation en eau pour l'agriculture (AEA):

L'irrigation dans la plaine de F' Kirina est actuellement assurée en grande partie par les eaux souterraines, mobilisées par un grand nombre de puits (80 puits) et par quelques forages (8 forages).

Plusieurs paysans irriguent leurs terres avec des prises illégales faites sur le réseau d'AEP (Dali Naouel, 2018).

4-3. L'alimentation en eau pour l'industrie (AEI):

Généralement dans la plaine de F' Kirina, l'AEI se fait par le réseau d'AEP.

5. Conclusion :

L'étude des ressources en eau de la plaine a permis de dégager les constatations suivantes :

- Les eaux souterraines constituent les principales ressources en eau de la plaine qui assurent l'alimentation en eau potable et d'irrigation pour plus de 14914 habitants.
- la majorité du potentiel hydrique souterrain de la plaine de F' Kirina est exploité par pompage à partir des forages qui captent les eaux soit de la nappe superficielle du Mio-Plio-Quaternaire soit la nappe profonde des calcaires du Maestrichtien.
- D'après le bilan actuel de la DHW d'Oum El-Bouaghi, le nombre total des forages recensés en Novembre 2017 dans la région d'étude est de 19 forages dont la plupart captent les eaux de la nappe superficielle.

- En matière de mobilisation, le volume des eaux souterraines mobilisable est estimé à 4255.2 m³/j, mais seulement 2620.8 m³/j sont exploitées, soit un taux de 62 % des eaux souterraines mobilisables.
- 80 % de ces eaux sont exploitées par l'ADE et le reste qui est 20 % sont exploitées par l'APC.
- Concernant l'affectation de ces ressources, la partie la plus importante des eaux mobilisées est destinée à la satisfaction des besoins domestiques (AEP) avec un taux d'environ 50 %, puis vient l'irrigation (AEA) avec un taux d'environ 40 % en enfin les besoins en eaux industrielles (AEI) avec un taux d'environ 10 %.

Conclusion générale:

- La plaine de F'Kirina d'une superficie de 650 Km² fait partie du sous bassin versant de Gareat Et-Tarf situé au Nord-Est de l'Algérie et qui appartient lui-même aux bassins versants des Hauts Plateaux Constantinois. Le centre de ce bassin est jalonné par une dépression endoréique « la Gareat Et-Tarf » dans laquelle se déversent la plupart des cours d'eau de la plaine dont les plus importants sont l'Oued Nini, l'Oued Oulmène et l'Oued Isfer.
- L'étude géologique de la région laisse apparaître l'existence de trois ensembles, un substratum marneux du Maestrichtien Inférieur. Un ensemble appartenant au Crétacé Supérieur caractérisé par des calcaires maestrichtiens et un troisième ensemble formé par un matériel alluvionnaire d'âge Mio-Plio-Quaternaire recouvrant toute la plaine.
- Le bassin versant des Hauts Plateaux Constantinois se trouve dans une zone à climat semi-aride, avec un Été chaud et un Hiver humide, où la moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 392.68 mm /an selon la station d'Ain Beida. La variation de la température durant l'année se fait d'une manière progressive avec une moyenne de 16.45°C. Ce type de climat - chaud en Été et froid en Hiver - favorise l'évaporation des eaux et augmente l'ETP et le déficit agricole au profit de l'infiltration et du ruissellement.
- La prospection électrique réalisée dans la région de F'Kirina par la C.G.G. en 1976 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.
 - ✓ Des zones très conductrices qui semblent sans intérêt aquifère, sont représentées par les marnes, les argiles et les eaux salées.
 - ✓ Des 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, ce qui permet l'échange d'eau entre les zones profondes et peu profondes.
- Du point de vue hydrogéologique, on note l'existence de deux nappes aquifères superposées, la première est superficielle formée de graviers et galets et la deuxième est profonde constituées de calcaires fissurés.
- Les cartes piézométriques montrent que le sens d'écoulement s'oriente vers la Gareat Et-Tarf qui constitue un exutoire naturel. Dans les parties Est et Ouest, les courbes isohypses sont éloignées indiquant un gradient hydraulique faible. Par contre, au centre de la plaine elles sont

plus serrées déterminant un gradient hydraulique fort.

- Du point de vue hydrochimique, L'application des outils graphiques (cartographie et diagramme de Piper) et statistiques multivariés (ACP et AHC) sur les eaux souterraines de l'aquifère de F'Kirina nous a permis de déterminer le mécanisme du chimisme de ces eaux et d'acquisition de la minéralisation et nous a permis de les classer en plusieurs types de faciès, dont la répartition dépend surtout de la lithologie des terrains traversés et les phénomènes de lessivage et d'évaporation, les calcaires maestrichtiens de bordure ont donné naissance au faciès bicarbonaté calcique, les matériaux salés du remplissage Mio-Plio-Quaternaire et les niveaux argileux et marneux ont donné les faciès chloruré calcique et chloruré sodique, et les dépôts triasiques sont à l'origine des faciès sulfaté calcique et sulfaté magnésien.
- La plaine de F'Kirina est à vocation agricole, ce qui nécessite la mobilisation d'une grande quantité d'eau aussi bien pour l'AEP, que pour l'irrigation.
- L'étude des ressources en eau de la plaine a permis de dégager les constatations suivantes :
 - Les eaux souterraines constituent les principales ressources en eau de la plaine qui assurent l'alimentation en eau potable et d'irrigation pour plus de 14914 habitants.
 - la majorité du potentiel hydrique souterrain de la plaine de F'Kirina est exploité par pompage à partir des forages qui captent les eaux soit de la nappe superficielle du Mio-Plio-Quaternaire soit de la nappe profonde des calcaires du Maestrichtien.
 - D'après le bilan actuel de la DHW d'Oum El-Bouaghi, le nombre total des forages recensés en Novembre 2017 dans la région d'étude est de 19 forages dont la plupart captent les eaux de la nappe superficielle.
 - En matière de mobilisation, le volume des eaux souterraines mobilisable est estimé à 4255.2 m³/j, mais seulement 2620.8 m³/j sont exploitées, soit un taux de 62 % des eaux souterraines mobilisables.
 - 80 % de ces eaux sont exploitées par l'ADE et le reste qui est 20 % sont exploitées par l'APC.
 - Concernant l'affectation de ces ressources, la partie la plus importante des eaux mobilisées est destinée à la satisfaction des besoins domestiques (AEP) avec un taux d'environ 50 %, puis vient l'irrigation (AEA) avec un taux d'environ 40 % et enfin les besoins en eaux industrielles (AEI) avec un taux d'environ 10 %.

REFFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Aidaoui Salah (1994):** Ressources en eau et Aménagement hydro-agricole. Dans la région de Biskra « Ziban » (Algérie). Thèse de Doctorat d'état. Université de Nancy II. (353 pge).
- **Askri H. ; Belmecheri A. ; Benrabah B. ; Boudjema A. ; Boumendjel K. ; Daoudi M. ; Drid M. ; Ghalem T. ; Docca A. M. ; Ghandriche H. ; Ghomari A. ; Guellati N. ; Khenous M. ; Lounisi R. ; Naili H. ; Takherist D. ; Terkmani M. (1993):** Géologie de l'Algérie. Contribution de SONATRACH Division Exploration, Centre de recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Developpement. (93 pge).
- **Baali Fethi (2007):** Contribution à l'étude hydrogéologique, hydrochimique et Vulnérabilité d'un système aquifère karstique en zone semi-aride. Cas du plateau de Chéria. N.E.Algérien. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba. (152 pge).
- **Baali F, Rouabhia A, Kherici N, Djabri L, Bouchaou L, Hani A. (2007):** Qualité des eaux souterraines et risque de pollution en milieu semi-aride. Cas de la cuvette de Chéria (NE Algérien). Estudios Geologicos, 63 (2) julio-diciembre 2007, 127-133.ISSN : 0367-0449.
- **Bachir M. A. ; Bachtta M. S. et Willinger M. (2006):** Pour une utilisation durable des nappes d'eau souterraines : une approche par les incitations. Economies d'eau en Systèmes Irrigués au Maghreb. Deuxième atelier régional du projet Sirma, Marrakech, Maroc, 29-31 mai 2006. (11 pge).
- **Bahir M, Menani M, Oliveira da Silva M, Blavoux B. (2003):** Impact de la sécheresse sur la ressource en eau en zone semi-aride : Cas de l'aquifère Barrémien-Aptien de la zone côtière d'Essaouira (Maroc). Ecnologia de la intrusion de agua de mar en acuíferos costeros : países mediterraneos. IGME. ISBN. 84-7840-740 (2003).

- **Belghiti M.L., Chahlaoui A., Bengoumi D., El Moustaine R (2013):** Etude de la qualite physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc) [Study of physico chemical quality bacteriological growth of the underground plio quadernaire in the Meknès area (Morocco)]. Larhyss Journal. No. 14 p. 21-36.
- **Benhammadi Hocine, Chaffai Hicham (2015):** The impact of karsts structures on the urban environment in semi-arid area. Cheria plateau (Northeast of Algeria). Article de EJGE, 2015. (8pge).
- **Benhamza Moussa (2007):** Contribution de la géophysique à l'étude hydrogéologique de la zone mercurielle Nord Numidique (Azzaba)- détermination du degré de pollution. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba. (162 pge).
- **Benmarce Kaddour (2017):** Contribution à l'étude des possibilités aquifères des formations carbonatées dans la région de Guelma (NE algérien). Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba. (115 pge).
- **Bensaoula Fouzia (2006):** Karstification, hydrogéologie et vulnérabilité des eaux karstiques. Mise au point d'outils pour leur protection (Application aux Monts de Tlemcen-Ouest Oranais). Thèse de Doctorat d'état. Université de Tlemcen. (203 pge).
- **Bensaoula F. ; Dorni I. et Adjim M. (2012) :** Trente années de prospection et de mobilisation des ressources en eau souterraine, par forages, dans la Wilaya de Tlemcen. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°10, Mars 2012, pp 91-99.
- **Bodin Jaques (2008):** Licence Professionnelle Protection de l'Environnement Usage et Qualité des Eaux - Module Géologie Lithologie et Chimie des Eaux Souterraines (<http://hydrasa.labo.univ-poitiers.fr/jbodine/enseignement.htm>).
- **Boubelli Salim (2018):** Impact des rejets urbains et domestiques sur la qualité des eaux de l'Oued Saf-Saf : inventaire et mise en évidence d'une contamination par des polluants organiques et leurs conséquences sur l'environnement. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba. (103 pge).

- **Boubelli Salim, Chaffai Hicham, Sakaa Bachir, Djidel Mohamed, Khérici Nacer (2018):** Hydrogeochemical characterization and assesment of the quality of surface waters of Oued Saf-Saf (North-East Algeria). Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES). Vol.12, N°2, p. 168-178, 2018.
- **Boudoukha Abderrahmane et Belkacem Messaid (2014):** Caractérisation Electrique des formations aquifères de l'Est Algérien. Courrier du Savoir – N°18, Mars 2014, pp.77-82
- **Boumezbeur Ammar et Khalfallah Yacine (2005):** Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar (FDR) Catégories approuvées dans la Recommandation 4.7 modifiée par la Résolution VIII.13 de la Conférence des Parties contractantes. (08 pge).
- **Bouznad Imad Eddine (2016):** Ressources en eau et gestion intégrée dans la vallée d'Oued Righ (Sahara septentrional algérienne). Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba. (155 pge).
- **Castany G. (1982):** Hydrogéologie, principes et méthodes. Bordas, Paris, 1982. Ed. Dunod. (236 pge).
- **Castany G. et J. Margat (1977):** Dictionnaire français d'hydrogéologie. Ed. BRGM, Orléans.
- **C.G.G. (Compagnie Générale de Géophysique) (1976):** Etude géophysique dans la région d'Oum El-Bouaghi.
- **Chaffai H, Baali F, Djabri L, Rouabhia A. (2003):** Facteurs influençant le chimisme des eaux dans une zone semi-aride : Cas des aquifères d'El Ma Labiod, Tébessa, Hammamet et Chéria. ICOWaP-Sep 2003, colloque Oasis, Eau et pollution, Biskra, Algérie, 339-344.
- **Chaffai Hicham; Toubal Abderrahmane; Michel Lacroix; Boubelli Salim ; Larbi Djabri (2013):** Hydrogéologie d'un système aquifère en zone semi-aride. Cas de la région de Khenchela (Algérie). Courrier du Savoir-N°15, Mars 2013, pp 41-45.
- **Charmoille Arnaud (2005):** Traçage hydrochimique des interactions hydrauliques et mécaniques entre les volumes perméables et peu perméables au sein des aquifères fracturés carbonatés : Aquifère karstique de Fourbanne

(Avant-pays jurassien, 25), Laboratoire naturel de Coaraze (Alpes Méridionales, 06). Thèse de Doctorat d'état. Université de Franche Comté. (320 pge).

- **Chekir N, Trabelsi R, Bahir M, Hadj Ammar F, Zouari K, Chamchat H, Monteiro JP (2008):** Vulnérabilité des ressources en eaux des aquifères cotiers en zone semi-arides-Etude comparative entre les bassins d'Essaouira (Maroc) et de la Jeffara (Tunisie). *Comunicações Geologicas*, 2008, t. 95, pp. 107-121.
- **Dali Naouel (2013):** La gestion durable des ressources en eaux du bassin versant de Gareat el Tarf (hauts plateaux constantinois, Algérie). *Journal of hydrocarbons Mines and Environmental Research* 3(2), 61-65.
- **Dali Naouel (2018):** Contribution à l'actualisation et gestion durable des ressources en eau des bassins des hauts plateaux Constantinoples. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba. (155 pge).
- **Debieche Taha Hocine (2002):** Evolution de la qualité des eaux (Salinité, Azote et Métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse-Nord-Est Algérien. Thèse de Doctorat d'état. Université de Franche Comté. (238 pge).
- **De Marsily G. (1981):** Hydrogéologie quantitative, Ed, Masson, 215p.
- **Djidel Mohamed (2008):** Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielles de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba (208 pge).
- **Djorfi Samir, Laroussi Beloulou, Djorfi Saadane, Mohamed Djidel, Guechi Salima (2018):** Hydrothermal characterization of groundwater in the Tamlouka Plain and its surroundings (Northeast Algeria). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*. Vol.12, N°2, p. 77-85, 2018.
- **D. K. Todd (1980):** Groundwater hydrology. Ed. John Wiley & Sons, New York. (535 pge).
- **Elie Serge Gaëtan Sauret (2013):** Etude des potentialités hydrogéologiques d'une plaine alluviale en relation avec les eaux souterraines et de surface dans un contexte d'agriculture irriguée (Burkina Faso). Thèse de Doctorat en sciences de l'Ingénieur. Université de Liège (215 pge).

- **Fehdi Chemseddine, Boudoukha Abderrahmane, Rouabhia Abdelkader et Salameh Elias (2009):** Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifer Morsott-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud-Est algérien). *Afrique science* 05(2) (2009) p217-231.
- **Ghrieb Lassaad (2011):** Impact de la minéralisation des formations triasiques sur la qualité de l'eau et du sol en zone semi-aride : Cas de la plaine Bekkaria-Tébessa (Extrême Nord-est Algérien. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba (175 pge).
- **Gouaidia Layachi (2008):** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana. Nord-Est Algérien. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba (199 pge).
- **Gouaidia L, Guefaifia O, Boudoukha A, Hemila ML, Martin C. (2012):** Évaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : exemple de la plaine de Meskiana (Nord-Est Algérien). *Physio-Géo* [En ligne], Volume 6 | 2012, mis en ligne le 26 février 2012, Consulté le 09 juin 2015. URL : <http://physio-geo.revues.org/www.snd11.arn.dz/2632> ; DOI : 10.4000/physio-geo.2632. p 141-160.
- **Guefaifia Omar (2007):** Identification et caractérisation d'un milieu karstique et sa contribution à l'alimentation du champ captant : Hammamet-Ain Chabro. Cas de la zone de Bouakkous-Hammamet. Région de Tébessa. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba (162 pge).
- **Habes Sameh (2013):** Caractéristiques chimiques d'un lac appartenant aux écosystèmes humides du Nord de l'Algérie ; Cas : Lac Fetzara. Nord-Est Algérien. Thèse de Doctorat en sciences. Université d'Annaba (218 pge).
- **Harrat Nabil, Hamzaoui Wahiba, Benmoussa Issam, Medjhoua Wahiba, Chaffai Hicham (2018):** Treatment of domestic and agricultural water by natural lagoon system in arid areas, case of Oued Souf, Algeria. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*. Vol.12, N°2, p. 179-187, 2018.

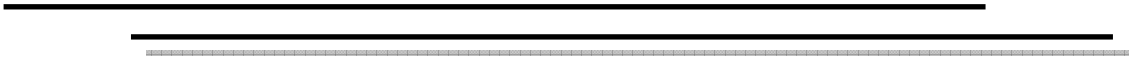
- **Hemila Mohammed Laid et Kowalski Waclaw Marian (2002):** Synthèse géoélectrique appliquée à la caractérisation des contacts entre nappes de charriage et son apport hydrogéologique dans la plaine de Tamlouka « Région de Guelma, Est Algérien. CNRC Canada, Geotech. J. 39 : pp 725-737 (2002). DOI : 10.1139/T02-010.
- **Houha Belkacem (2007):** Etude du fonctionnement hydrogéologique et salin d'un bassin semi-aride. Rémila-Khenchela. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba, (174 pge).
- **Houhamdi Moussa ; Mebarki Chahnez et Abbaci Sameh (2004):** Qualité microbiologique et physico-chimique des eaux des puits et des sources de la région d'Oum-El-Bouaghi. Colloque International « TERRE et EAU » Annaba, 21, 22 & 23 Novembre 2004. (5 pge).
- **Hsissou Y, Bouchaou L, Krimissa M, Mudry J. (2001):** Caractérisation de l'origine de la salinité des eaux de la nappe côtière d'Aguadir (Maroc). First Institut, 2001. pp 1-11.
- **Khelfaoui Fayçal (2014):** Qualité et gestion intégrée des ressources en eau du bassin versant du Saf-Saf (Nord-Est Algérien). Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba (129 pge).
- **Khemmoudj Kaddour (2009):** Dynamique des systèmes et stratégie d'aménagement et gestion de la ressource en eau en zone semi-aride : Cas de la région d'El Eulma. Wilaya de Sétif. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba (273 pge).
- **Mebarki Azzedine (2003):** Cartographie automatique des précipitations : Application à l'Est Algérien. Sciences & Technologie B – N°20, Décembre (2003), pp. 100-107.
- **Mebarki Azzedine (2005):** Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : Ressources en eau, Aménagement et Environnement. Thèse de Doctorat d'état. Université de Constantine. (360 pge).
- **Mecibah Ilyes (2018):** Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant de l'Oued Guebli (Nord-Est Algérien). Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba (210 pge).

- **Melloul A. (1992):** The principal components, statistical method as a complementary approach to geochemical methods in water quality factor identification. *J. of Hydrol* 140, 49-73.
- **Patrick Le Goulven; Guillaume Lacombe; Julien Brute; Alain Gioda; Roger Calvez (2009):** Techniques de mobilisation des ressources en eau et pratiques d'utilisation en zones arides : Bilans, Evolutions et Perspectives. Article de recherche *Sécheresse* 2009 ; 20 (1) : pp. 17-30.
- **Ramdani H, Laifa AzizHanene (2017):** Physicochemical quality of Wadi Bounamoussa surface waters (Northeast of Algeria). *Journal of Water and Land Development*, 2017, No. 35 (X-XII): 185-191, PL ISSN 1429-7426. DOI: 10.1515/jwld-2017-0083.
- **Ramdani Yacine (1987):** Etude hydrogéologique de la plaine de F'kirina en vue de l'alimentation en eau potable de la ville d'Ain-Beida. Mémoire d'Ingénieur d'état. Université d'Annaba (115 pge).
- **Rodier Jean (2009):** L'analyse de l'eau. 9 édition. Paris : CHIRAT, 1959, pp1404-1405. (Coll. Dunod, n°5789).
- **Rouabhia A, Baali F, Hani A, Djabri L. (2009):** Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines d'un aquifère en zone semi-aride. Cas de la plaine de Merdja, Nord Est de l'Algérie. Article de recherche *Sécheresse* 2009, 20 (3), 279-85.
- **Saaidia Bachir (2006):** Etude des possibilités de réalimentation artificielle des nappes d'Annaba et de Bouteldja comme moyen de lutte contre la pollution et l'épuisement. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba. (165 pge).
- **Schoeller H. (France):** Salinité des eaux souterraines, évapotranspiration et alimentation des nappes. pp 488-494.
- **Sekiou F. ; Kellil A. (2014):** Caractérisation et classification empirique, graphique et statistique multivariable d'eaux de source embouteillées de l'Algérie. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°20, Décembre 2014, pp 225-246.
- **Stéphane Binet (2006):** L'hydrochimie, marqueur de l'évolution à long terme des versants montagneux fracturés vers de grands mouvements de terrain :

Application à plusieurs échelles sur la haute vallée de la Tinée (Mercantour, France) et sur le versant de Rosone (Gran Paradiso, Italie). Thèse de Doctorat. Université de Franche Comté. (214 pge).

- **Tahar Nouar (2007):** Impact de la pollution sur les ressources en eau superficielles et souterraines de la région de Guelma. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba. (179 pge).
- **Thierrin J.; Steffen P.; Cornaz S.; Vuataz F.D.; Balderer W.; Looser M.; Zobrist J.; Zumstein J. (2001):** OFEFP / SSH: Guide pratique de l'échantillonnage des eaux souterraines. #Document échantillonnage version 20001113 version PDF#. (56 pge).
- **Vila J. M. et Guellal Salah (1973) :** Cartes géologiques aux 1/50000 et notices explicatives de Ain Beida (notice N° 149), Gareat Et- Tarf (N° 175), F'Kirina (N° 176) et Delâa (N° 204).
- **Wikipédia (internet).**
- **Younssi Houssam Eddine (2009):** Epuisement de la nappe aquifère de la région de F'kirina (W. d'Oum El Bouaghi), et ses répercussions sur la gestion des ressources en eau. Thèse de Magister. Université d'Annaba (124 pge).
- **Zaier Nadjjet (2017):** Caractéristiques hydrogéologiques des nappes aquifères dans la région d'Oum El-Bouaghi. Epuisement et la salinité de leurs eaux. Thèse de Doctorat d'état. Université d'Annaba (152 pge).

ANNEXES



Précipitations mensuelles en millimètres (mm) à la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014)

Années\Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
1994/1995	11.3	40.6	12.3	63.8	42.9	33.1	15.4	20.1	9.9	0.6	0.5	00
1995/1996	138.3	79.8	23.2	21.3	72	121.7	64.9	36.2	48	28.8	21.4	20.8
1996/1997	27.4	3.3	5.4	23.7	30	6.3	23.8	19.9	8	40	5.1	25.3
1997/1998	100.3	54.8	71.8	55	5.1	25.9	32.4	67.4	27.6	27.2	1.1	24.2
1998/1999	53.5	42.4	53.3	21.1	74.3	14.6	45.4	10.9	34.1	19.2	28.8	18.4
1999/2000	65.9	15.3	47.1	53.7	6.4	5	10.8	8	68.2	46.2	00	15.2
2000/2001	89.1	40.5	12.4	24.2	52.4	17.9	12.5	18.9	64.7	00	1.6	15.3
2001/2002	65.7	41	49.8	12.5	6.3	19.3	5.6	25.5	41.9	11.6	46.2	83.4
2002/2003	26.6	25.6	64.4	46.4	184.6	59.3	30.1	90.1	34.8	26	00	6.2
2003/2004	45.6	90.1	26.8	72.4	30.6	5	44.4	25.8	145.2	56	10.9	37.7
2004/2005	10.4	8.4	127	138.7	19.1	48.5	15.4	46.8	22.6	28.8	5.8	10
2005/2006	35.4	16.2	21.6	44.4	81.3	26.7	12.5	33	78.2	8.1	17.9	24.7
2006/2007	10.9	24.9	15.9	47.8	9	14.8	104.7	30.6	32.8	8.5	00	2.5
2007/2008	46.7	34.6	15.4	41.2	10.6	11.4	43.2	17.2	73.3	30	15.6	14.5
2008/2009	67.7	42.2	15.3	35.4	7.1	23	42.8	18.4	75.7	16	27.4	39.9
2009/2010	73.9	24	4.2	20	78.8	19.1	66.4	97.2	51.1	1.1	5.2	34
2010/2011	26.5	31.4	67.6	17.8	58.2	15	35.4	50.6	49.2	37.8	5.3	10.9
2011/2012	60.2	69.2	3.8	33.5	16.8	99.9	38.1	63.9	110.1	18.4	1	4.7
2012/2013	29.3	20.5	12.5	4.4	32.8	51	37.2	32.6	44.9	4.4	12.2	14.3
2013/2014	49.3	22.1	53.1	18.1	31.6	38.3	23.7	29.3	20.4	3.1	42.8	55

Températures mensuelles en (°C) à la station d'Ain Beida (1994/1995-2013/2014)

Années\Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
1994/1995	22.3	18.5	12.3	8.8	6.7	5.7	7.7	15.4	18.8	25	27.8	27.5
1995/1996	30.6	17.7	12.5	9	8.1	6.9	9	14.8	19.5	26.8	29.6	29.1
1996/1997	21.35	16.09	12.51	9.66	9.2	9.64	10.19	13.46	22.98	28.48	28.43	27.23
1997/1998	21.58	16.78	11.32	8.3	7.8	8.33	9.85	15.13	17.69	26.07	28.19	27.12
1998/1999	23.81	15.23	10.45	5.99	6.99	5.95	10.77	14.72	32.2	26.72	28.38	30.48
1999/2000	23.62	19.9	10.52	7.28	5.19	8.84	12.25	16.16	22.47	23.25	29.06	26.6
2000/2001	21.02	15.3	12.23	7.4	6.2	5.9	15.2	12.97	20.3	23.9	27.7	26.9
2001/2002	22.12	21.7	11.82	6.8	7.6	9.9	14.5	15.3	19.7	23.13	25.4	25.6
2002/2003	21.95	18.9	12	8.8	6.4	6.2	10.4	15.5	19.3	25.4	30.8	29.1
2003/2004	22.7	20	10.1	9	7	10.3	12.3	13.4	16.5	23.1	26.8	28.4
2004/2005	22	21.3	9.6	4.8	6.4	9	11.3	14.3	21.3	25	30.1	28.1
2005/2006	22.64	19.25	12.74	6.67	4.64	6.13	12.33	17.94	22.33	26.5	28.4	26.73
2006/2007	22.74	21.56	13.24	9	9.3	9.3	11.2	14.1	18.8	25.7	29.9	27.9
2007/2008	20.9	16.1	9.7	5.7	8.1	8.8	8.7	12.8	17.9	24.7	26.4	26.5
2008/2009	23.5	17.7	10.6	6.5	8.2	9.5	11.1	16.2	20.7	24.4	30.1	28.5
2009/2010	21.8	16.6	13.3	10.5	7.2	6.8	10.8	11.8	19.6	25.9	30.8	28.1
2010/2011	22.7	17.9	12.2	9.1	8.2	10.2	12.6	15.8	17.8	24.9	28.9	28.2
2011/2012	24.5	16.6	12.7	8.1	8.1	6.8	10.5	15.8	18.4	23.6	29	28.9
2012/2013	23.7	20.1	14.5	8.6	6.5	4.3	11.6	14.8	20.5	28.8	30.2	30.4
2013/2014	23.1	22	11.1	7.5	7.4	6.7	13.1	16.6	19.3	23.8	28.5	26.6

FORAGE (H47) safel nini

COMMUNE : OUED NINI

Carte : F'KIRINA N° 176

X : 921.650

Y : 268.275

Z : 880m

Profondeur forée : 100m.

Débit mobilisé: 40 l/s.

Niveau dynamique : 36.76 m.

Date des travaux : 23/12/1980 au 28/03/1981.

Profondeur équipée : 100m.

Débit exploité : 40 l/s.

Niveau statique: artésien.

Etat du forage : fructueux.

COUPE GEOLOGIQUE

0-5m : argile brune plastique.

5-9m : argile beige.

9-19m : calcaire lacustre rose vert beige.

19-23m : graviers de calcaire rose avec très peu d'argile.

23-31m : argile brune avec très peu de graviers

31-34m : graviers de calcaire mixte avec argile brune.

34-42m : graviers de calcaire avec très peu d'argile.

42-52m : graviers de calcaire.

52-60m : graviers de calcaire mixte avec des argiles brunes
sableuse

60-74m : graviers de calcaire mixte avec des argiles jaune 50 %

74-90m : graviers de calcaire avec très peu d'argile jaune – brunâtre

90-95m : graviers de calcaire beige –gris.

95-100m : graviers de calcaire avec très peu d'argile brune.

EQUIPEMENT

0-6m : tube guide Ø24"

0-15m : tube plein Ø13^{3/8} TNRS

15-25m: tube crépiné Ø13^{3/8} TNRS

25-30m : tube plein Ø13^{3/8} TNRS

30-35 m: tube crépiné Ø13^{3/8} TNRS

35-40m : tube plein Ø13^{3/8} TNRS

40-50m : tube crépiné Ø13^{3/8} TNRS

50-60m : tube plein Ø13^{3/8} TNRS

60-70m : tube crépiné Ø13^{3/8} TNRS

70-80m : tube plein Ø13^{3/8} TNRS

80-90m : tube crépiné Ø13^{3/8} TNRS

90-95m: tube plein Ø13^{3/8} TNRS

95-100m: tube crépiné Ø13^{3/8} TNRS

Source : A.N.R.H.

Tableau : Equivalents des paramètres chimiques:

Paramètres chimiques	Ca⁺⁺	Mg⁺⁺	Na⁺	K⁺	Cl⁻	HCO₃⁻	SO₄⁻⁻	NO₃⁻
Equivalents chimiques	20	12	23	39	35.5	61	48	62