UNIVERSITE CADI AYYAD
جامعة القاضي عياض
Faculté des Sciences & Techniques
Marrakech
كلية العلوم والتقنيات مراكش

Département des Sciences de la Terre

Master « Eau et Environnement »

Mémoire de Fin d'Etudes

Actualisation des connaissances hydrogéologiques de l'aquifère Eocène de la Bahira centrale (Maroc)

Réalisé par:

Fatima Ezzahra OMDI

Encadrée par:

- Pr M. AGOUSSINE : Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech
- Mr A. GOUZROU: Ingénieur en Chef –Directeur Technique de l'Entreprise EGB-CAGIS Marrakech

Soutenu, le 29 Juin 2013, devant le jury composé de :

- Pr M. AGOUSSINE : Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech- Encadrant
- Mr A. GOUZROU: Directeur Technique de l'Entreprise EGB-CAGIS Marrakech – Coencadrant
- Mr M.E. SAIDI: Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech - Examinateur
- Mr D.CHAFIKI : Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech - Examinateur

2012 – 2013

Table des matières

Remerciements 4
Liste des figures 5
Liste des tableaux 7
Liste des abréviations 8
Résumé 9
Introduction et objectif de l'étude 10
Chapitre I : Cadre Géographique de la Bahira 11
I. Situation géographique 12
II. Cadre hydrologique 12
III. Climatologie 12
III.1-Les précipitations 12
III.2- Les températures 18
III.3-L'étude de l'évapotranspiration 18
III.4-L'indice d'aridité 19
III.5-L'indice Xérothermique de Gaussen 20
IV. Conclusion 20
Chapitre II : Cadre géologique de la Bahira centrale 21
I. Lithologie 22
II. Litho-stratigraphie 22
II.1- Le Primaire 22
II.2- Le Secondaire 22
II.3- Le Tertiaire 24
II.4. Le Quaternaire 24
III. Structure du réservoir Eocène 27
III.1- Historique des études géophysiques 27
III.2. Les principaux accidents affectant le bassin 34
III.3. La structure du socle paléozoïque 35
III.4. La structure des terrains de couverture 35
III.5. Unités structurales de la plaine de la Bahira 35
IV. Conclusion 37

Chapitre III : Cadre hydrogéologique de la Bahira Centrale 38
I. Définition des horizons aquifères 39
I.1. Le réservoir plio-quaternaire 39
I.2. Le réservoir éocène 39
I.3. Le réservoir crétacé 39
I.4. Le réservoir des schistes primaires 39
II. Géométrie de l'aquifère éocène 41
II.1. Les profils de corrélations 41
II.2. Limite supérieure du réservoir Eocène 46
II .3.Limite inferieure du réservoir Eocène 46
II.4.Puissance du réservoir Eocène 46
III. Piézométrie et fonctionnement hydraulique de la nappe éocène 46
IV. Les fluctuations piézométriques 55
V. Paramètres hydrodynamiques de la nappe Eocène 66
VI. Qualité de l'eau 69
VI.1. La conductivité électrique et le Résidu sec à 105°C 69
IV.2. Faciès des eaux de la nappe Eocène de la Bahira 69
VII. Exploitation des eaux 75
VIII. Conclusion 76
Conclusion générale 77
Bibliographie 78
ANNEXES 79
Annexe I : 80
Annexe II : 86
Annexe III 90
Annexe IV 92

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude et mes remerciements pour toutes les personnes ayant contribué à sa réalisation.

En premier lieu, je tiens à remercier mes encadrants Mr AGOUSSINE et Mr GOUZROU qui m'ont aidé et m'ont dirigé au cours de mon stage avec leurs recommandations aiguisées en donnant beaucoup de leur temps, et de leur professionnalisme.

Je remercie également le personnel de l'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er-rabiaa ainsi que le personnel des travaux publics et de l'ONEE El Kalâa d'avoir mis à ma disposition les données dont j'avais besoin.

Je tiens aussi à exprimer une gratitude toute particulière à Mr BOUGADRA le directeur du Bureau d'études Waman Consulting qui m'a accepté d'être parmi eux lors des compagnes piézométriques réalisées au niveau de la Bahira centrale.

Mes chaleureux remerciements vont également à mes chers parents pour leur soutien et encouragement.

Liste des figures

FIGURE 1: LOCALISATION DE LA BAHIRA CENTRALE..... 13
FIGURE 2: RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE LA PLAINE DE LA BAHIRA CENTRALE..... 14
FIGURE 3 : PRECIPITATIONS MENSUELLES MOYENNES INTERANNUELLES, A BOUCHANE (1993 A 2012) EN MM..... 15
FIGURE 4 : LES PRECIPITATIONS MENSUELLES MOYENNES INTERANNUELLES EN MM, A OULED SIDI DRISS (PERIODE 1973 A 2012) 15
FIGURE 5 : LES PRECIPITATIONS MENSUELLES MOYENNES INTERANNUELLES, A BISSI BISSA (1980 A 2012) EN MM. 15
FIGURE 6 : LES PRECIPITATIONS INTERANNUELLES AU NIVEAU DE 4 STATIONS CLIMATIQUES DANS LA BAHIRA ENTRE 1973 ET 2012. 17
FIGURE 7 : TEMPERATURES MENSUELLES MOYENNES INTERANNUELLES EN °C, A BOUCHANE (1993 A 2012)..... 18
FIGURE 8 : TEMPERATURES MENSUELLES MOYENNES INTERANNUELLES EN °C, A OULED SIDI DRISS (1995 A 2012). 18
FIGURE 9 : L'EVAPOTRANSPIRATION ET LES PLUIES MENSUELLES MOYENNES INTERANNUELLES EN MM, A BOUCHANE (1993 A 2012). 19
FIGURE 10: EVAPOTRANSPIRATION ET LES PLUIES MENSUELLES MOYENNES INTERANNUELLES EN MM, A OULED SIDI DRISS (1995 A 2012)..... 19
FIGURE 11 : DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE POUR LA STATION BOUCHANE 20
FIGURE 12: DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE POUR LA STATION OULED SIDI DRISS 20
FIGURE 13: CARTE GEOLOGIQUE DE LA BAHIRA CENTRALE (EXTRAIT DES CARTES GEOLOGIQUES 1/500000.D'EL JADIDA, RABAT, MARRAKECH ET OUARZAZATE) 23
FIGURE 14: COLONNE LITHOSTRATIGRAPHIQUE SYNTHETIQUE DES TERRAINS DE LA BAHIRA. 25
FIGURE 15: COLONNE LITHOSTRATIGRAPHIQUE DU JURASSIQUE SUPERIEUR DES MOUISSATES (IN KHALIL, 1989). . 26
FIGURE 16: COUPE LITHOSTRATIGRAPHIQUE DE TRANCHEE DE NZALET ARRARCHA. (IN KHALIL, 1989) 26
FIGURE 17: SUCCESSION DES BLOCS DE TERRAINS ANCIENS DEPUIS LE HAUT ATLAS DE MARRAKECH JUSQU'AUX REHAMNAS. (IN KHALIL, 1989)..... 27
FIGURE 18: PROSPECTIONS GEOPHYSIQUES, LOCALISATION DES PROFILS (IN KHALIL, 1989) 28
FIGURE 19: COUPES GEOELECTRIQUES D'APRES C.G.C 1952 (IN KHALIL, 1989) 31
FIGURE 20: COUPES GEO ELECTRIQUES D'APRES C.G.C 1952(IN KHALIL, 1989) 32
FIGURE 21: COUPES GEO ELECTRIQUES D'APRES C.G.C 1952 (IN KHALIL, 1989) 33
FIGURE 22: ANOMALIES RESIDUELLES ISOSTATIQUES (IN KHALIL, 1989) 34
FIGURE 23: CARTE STRUCTURALE DE LA BAHIRA CENTRALE (IN KHALIL, 1989)..... 36
FIGURE 24: SITUATION DES POINTS DE MESURE DANS L'AQUIFERE DE LA BAHIRA CENTRALE 40
FIGURE 25: LES PROFILS DE CORRELATIONS 42
FIGURE 26: PROFIL DE CORRELATION AA'..... 42
FIGURE 27: PROFIL DE CORRELATION BB'..... 43
FIGURE 28: PROFIL DE CORRELATION CC' 43
FIGURE 29: PROFIL DE CORRELATION DD' 44
FIGURE 30: PROFIL DE CORRELATION EE'..... 44
FIGURE 31: PROFIL DE CORRELATION FF' 45
FIGURE 32: PROFIL DE CORRELATION GG'..... 45
FIGURE 33: CARTE DES ISOHYPSES DE LA LIMITE SUPERIEURE DU RESERVOIR EOCENE..... 47
FIGURE 34: CARTE DES ISOHYPSES DE LA LIMITE SUPERIEURE DU RESERVOIR EOCENE 48
FIGURE 35: CARTE DES ISOHYPSES DE LA LIMITE INFERIEURE DU RESERVOIR EOCENE..... 49

FIGURE 36: CARTE DES ISOHYPSES DE LA LIMITE INFERIEURE DU RESERVOIR EOCENE. 50
FIGURE 37 : PUISSANCE DU RESERVOIR EOCENE EN METRE 51
FIGURE 38: PUISSANCE DU RESERVOIR EOCENE EN METRE. 52
FIGURE 39: PIEZOMETRIE DU MOIS D'AVRIL 2013. 53
FIGURE 40: PIEZOMETRIE DU MOIS D'AVRIL 2013 54
FIGURE 41: SITUATION DES OUVRAGES TEMOINS DES FLUCTUATIONS PIEZOMETRIQUE SUR LA CARTE GEOLOGIQUE DE LA BAHIRA CENTRALE. 55
FIGURE 42: EVOLUTION PIEZOMETRIQUE AU NIVEAU DES OUVRAGES IRE 1592/44, 1596/44 ET 2191/44. 56
FIGURE 43: PIEZOMETRIE DU MOIS D'AVRIL 2010 57
FIGURE 44: PIEZOMETRIE DU MOIS D'AVRIL 2011 58
FIGURE 45: PIEZOMETRIE DU MOIS D'AVRIL 2012 59
FIGURE 46: PIEZOMETRIE DU MOIS D'AVRIL 2013 60
FIGURE 47:LES CARTES PIEZOMETRIQUES 61
FIGURE 48: LES RABATTEMENTS ENTRE 2010 ET 2011EN M. 62
FIGURE 49: LES RABATTEMENTS ENTRE 2011 ET 2012 EN M. 63
FIGURE 50:LES RABATTEMENTS ENTRE 2012 ET 2013EN M. 64
FIGURE 51: LES CARTES DES RABATTEMENTS 65
FIGURE 52: TRANSMISSIVITE DU RESERVOIR EOCENE EN M2/S 67
FIGURE 53: COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT DU RESERVOIR EOCENE 68
FIGURE 54: SITUATION DES POINTS DE PRELEVEMENT. 70
FIGURE 55: LA CONDUCTIVITE DES EAUX DE LA NAPPE EOCENE EN µS/CM. 71
FIGURE 56: LE RESIDU SEC A 105°C EN MG/L DES EAUX DE LA NAPPE EOCENE. 72
FIGURE 57 : COUPES LITHOLOGIQUES DE TROIS OUVRAGES PRESENTANT DES EAUX A MINERALISATION VARIABLE. .. 73
FIGURE 58: DIAGRAMME DE PIPER DES EAUX DE LA NAPPE EOCENE DE LA BAHIRA CENTRALE. 74
FIGURE 59: DIAGRAMME DE SCHOELLER BERKALOFF DES EAUX DE LA NAPPE EOCENE DE LA BAHIRA CENTRALE 74
FIGURE 60: LES PRELEVEMENTS DE L'ONEP EN M3 DURANT L'ANNEE 2012. 75

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES DE LA BAHIRA. 12
TABLEAU 2 : PLUIES MOYENNES MENSUELLES AU NIVEAU DES STATIONS CLIMATIQUES DE LA BAHIRA 16
TABLEAU 3: CARACTERISTIQUES DES STATIONS CLIMATIQUES DE LA BAHIRA. 18
TABLEAU 4: L'INDICE D'ARIDITE A BOUCHANE ET OULED SIDI DRISS (199-2012). 20
TABLEAU 5: RESISTIVITE DES FORMATIONS DE LA BAHIRA (IN KHALIL, 1989). 29
TABLEAU 6 : CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES TEMOINS DES FLUCTUATIONS PIEZOMETRIQUES DANS LA BAHIRA CENTRALE. 55
TABLEAU 7 : LES DOTATIONS ANNUELLES EN FONCTION DU TYPE DE CULTURE. (LES ABC DE L'HYDRAULIQUE) 76
TABLEAU 8 : LA DEMANDE EN EAU ESTIMEE POUR L'IRRIGATION. 76
TABLEAU 9: LES PRECIPITATIONS EN MM AU NIVEAU DE LA STATION SIDI BOU-OTHMANE (1989-2011). (D'APRES L'ABHT) 80
TABLEAU 10: LES PRECIPITATIONS EN MM AU NIVEAU DE LA STATION BISSI BISSA (1980-2012). (D'APRES L'ABHOER) 81
TABLEAU 11: LES PRECIPITATIONS EN MM AU NIVEAU DE LA STATION BOUCHANE (1993-2012). (D'APRES L'ABHOER) 82
TABLEAU 12: LES PRECIPITATIONS EN MM AU NIVEAU DE LA STATION OULED SIDI DRISS (1973-2012). (D'APRES L'ABHOER) 83
TABLEAU 13: L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE EN MM AU NIVEAU DE LA STATION BOUCHANE (1993-2012) 84
TABLEAU 14: L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE EN MM AU NIVEAU DE LA STATION OULED SIDI DRISS (1995-2012) 85
TABLEAU 15: LA BASE D DONNEE ETABLIE A PARTIR DES FICHES IRE (1) 86
TABLEAU 16: LA BASE DE DONNEES ETABLIE A PARTIR DES FICHES IRE. (2) 88
TABLEAU 17: PIEZOMETRIE DU MOIS D'AVRIL 2013 : 90
TABLEAU 18: PIEZOMETRIE DU MOIS D'AVRIL 2012 : 90
TABLEAU 19: PIEZOMETRIE DU MOIS D'AVRIL 2011 : 91
TABLEAU 20: PIEZOMETRIE DU MOIS D'AVRIL 2010 : 91
TABLEAU 21: LES ECARTS DE PIEZOMETRIE 91
TABLEAU 22: LES NORMES MAROCAINES DE POTABILITE 92

Liste des abréviations

ONEE : Office Nationale de l'Electricité et de l'Eau potable.
Moy : Moyenne.
% An : pourcentage annuel.
Max : Maximum
Min : Minimum
E.type : Ecart type.
C.V% : Coefficient de variation.
LPEE : Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes.
ABHT : L'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift.
ABHOER : Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er-Rabia,
ONEP : Office National de l'eau Potable.
CE : Conductivité Electrique.
RS : Résidu Sec.

Résumé

La plaine de Bahira centrale caractérisée par un climat aride à semi-aride et un réseau hydrographique très limité présente une large dépression limitée par les Jbilets au Sud, les Rhamnas au Nord, l'oued Tassaout à l'Est et par la route principale reliant Marrakech à El Jadida à l'Ouest.

Ce fossé synclinal présente un siège des dépôts allant du paléozoïque jusqu'au quaternaire. Ces derniers forment plusieurs niveaux aquifères superposés dont le plus important est le réservoir Eocène qui présente l'objet de l'étude.

Les profils de corrélations et les cartes isohypses des deux limites supérieure et inferieure du réservoir Eocène ainsi que la carte de ses isopaques ont permis de déterminer la géométrie de ce réservoir qui affleure au Nord avec une augmentation de sa puissance.

Les cartes piézométriques établies ont montré un écoulement qui converge vers la dépression de Sedd el mejnoun au centre de la zone. La piézométrie connait une diminution annuelle illustrée par les cartes des rabattements.

Les cartes de transmissivité et du coefficient d'emmagasinements ont facilité la distinction des zones les plus productives présentées par le secteur de Nzalet al Adam.

La qualité des eaux de la nappe est vérifiée par les analyses réalisées par LPEE qui montrent que ces eaux rentrent dans les normes de potabilité. La carte de conductivité et la carte du résidu sec ont décrit la répartition de la minéralisation au niveau de la zone.

La dernière partie a concerné l'exploitation des eaux qui sont utilisées pour l'alimentation en eau potable ainsi que l'irrigation.

Mots clés :

Bahira Centrale - Climat – Hydrologie – Géologie – Aquifère – Eocène - Géométrie - Piézométrie – Qualité – Exploitation.

Introduction et objectif de l'étude

La Bahira centrale comme toutes les régions du Maroc connait une augmentation progressive de la demande en eau, suite à l'accroissement démographique et au développement Hydro-agricole.

Les ressources en eau superficielles sont rares suite aux conditions climatiques et géographiques, raison pour laquelle les eaux souterraines sont très sollicitées dans cette région.

Cette demande croissante en eau doit être accompagnée d'une gestion efficace des prélèvements des eaux souterraines pour éviter la surexploitation.

Le présent travail a pour objectif principal, l'actualisation des connaissances hydrogéologique de la nappe Eocène exploitée dans la Bahira centrale. Nappe ayant fait l'objet de plusieurs travaux depuis les années cinquante et qui présente un réservoir important pour la région, mais aussi une exploitation intensive.

La création et l'actualisation d'une base de données hydrogéologiques de cette nappe, l'utilisation de l'outil informatique (Arcgis, Surfer, …etc.) pour la réalisation d'un ensemble de cartes thématiques (structure de la nappe, répartition des paramètres hydrodynamiques, états piézométriques, qualité des eaux …etc.) nous ont permis de:

- Affiner la connaissance du fonctionnement hydraulique de cette nappe;
- Dresser et interpréter l'état piézométrique actuel ;
- Avoir une idée sur la répartition spatiale de la qualité des eaux ;
- Et finalement d'orienter l'exploitation future de cette nappe.

De ce fait, le présent travail est subdivisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre présente le cadre géographique de la zone d'étude ;
- Le deuxième présente la géologie de la région ;
- Et le troisième concerne l'hydrogéologie de la plaine de la Bahira.

Chapitre I : Cadre Géographique de la Bahira

I. Situation géographique

La plaine de la Bahira, dont la superficie est de l'ordre de 5000 km^{2,} est située au niveau du Maroc occidental et précisément à une trentaine de kilomètres au Nord de la ville de Marrakech (Figure 1). Elle s'étend entre 31°55' et 32°20' de latitude Nord et entre 7°15'et 8°50' de longitude Ouest (Er-rouane, 1996).

Cette vaste plaine est subdivisée en deux grands secteurs séparés par une ligne de partage des eaux située à 10km vers l'Ouest de la route principale reliant Marrakech à El Jadida. A l'ouest de cette ligne de partage des eaux se présente la Bahira occidentale qui fait partie du bassin versant de Tensift. Et à l'Est au niveau du bassin versant de l'Oum Er Rbiaa s'étend la Bahira centrale qui constitue notre zone d'étude. Sa superficie est de l'ordre de 2400 km^2 et a pour limites géographiques (Figure 1) :

- au Sud, le massif des Jbilets.
- au Nord, le massif des Rehamnas.
- à l'Est, l'Oued Tassaout.
- Et à l'Ouest, la route principale « Marrakech-El Jadida ».

II. Cadre hydrologique

Le bassin de la Bahira centrale se présente sous forme d'un bassin endoréique. Son réseau hydrographique se limite aux thalwegs qui prennent naissance au niveau des Jbilets au sud et des Rehamnas au nord. Les eaux de ruissellement rejoignent la dépression de Sed El Mejnoun où elles s'accumulent et s'évaporent (Figure 2).

III. Climatologie

Le climat de plaine de la Bahira centrale est défini comme étant un climat aride à semi-aride, caractérisé par une pluviosité faible et irrégulière, une température moyenne élevée, une forte évaporation et un faible taux d'humidité.

III.1-Les précipitations

Pour avoir une idée sur les précipitations au niveau de la plaine de la Bahira centrale, les données pluviométriques des stations : Bissi Bissa, Bouchane et Ouled Sidi Driss ont été utilisées. Dans le tableau n°1, sont récapitulées les caractéristiques de ces postes pluviométriques.

Station	X(m)	Y(m)	Z(m)	Période d'observation
Bissi Bissa	327300	197650	305	1980 à 2012
Bouchane	393700	215300	-	1993 à 2012
Ouled Sidi Driss	338950	192600	320	1973 à 2012

Tableau 1 : Caractéristiques des stations pluviométriques de la Bahira.

- **Les pluies mensuelles**

L'analyse des valeurs moyennes mensuelles interannuelles des précipitations mesurées au niveau des trois stations (Figures 3, 4 et 5) montre que le maximum des précipitations est atteint pendant la période qui s'étend entre le mois d'Octobre et le mois d'Avril. Tandis que les valeurs minimales des précipitations sont enregistrées durant la période qui s'étend entre Mai et Septembre. Ce qui donne naissance à deux saisons distinctes : une saison sèche et une saison humide.

Les valeurs élevées de la variance (tableau II) indiquent un régime pluviométrique irrégulier.

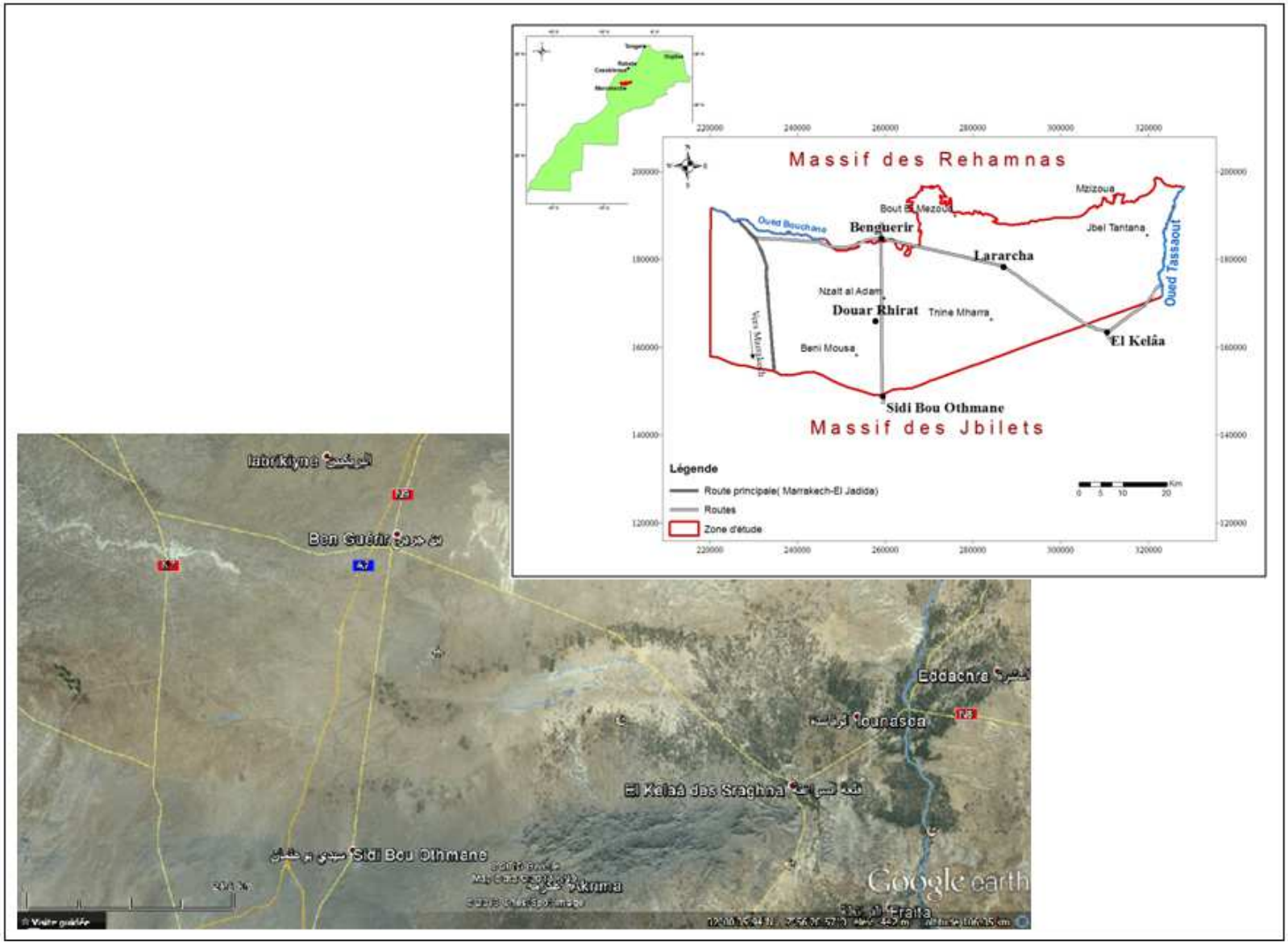


Figure 1*: Localisation de la Bahira Centrale.*

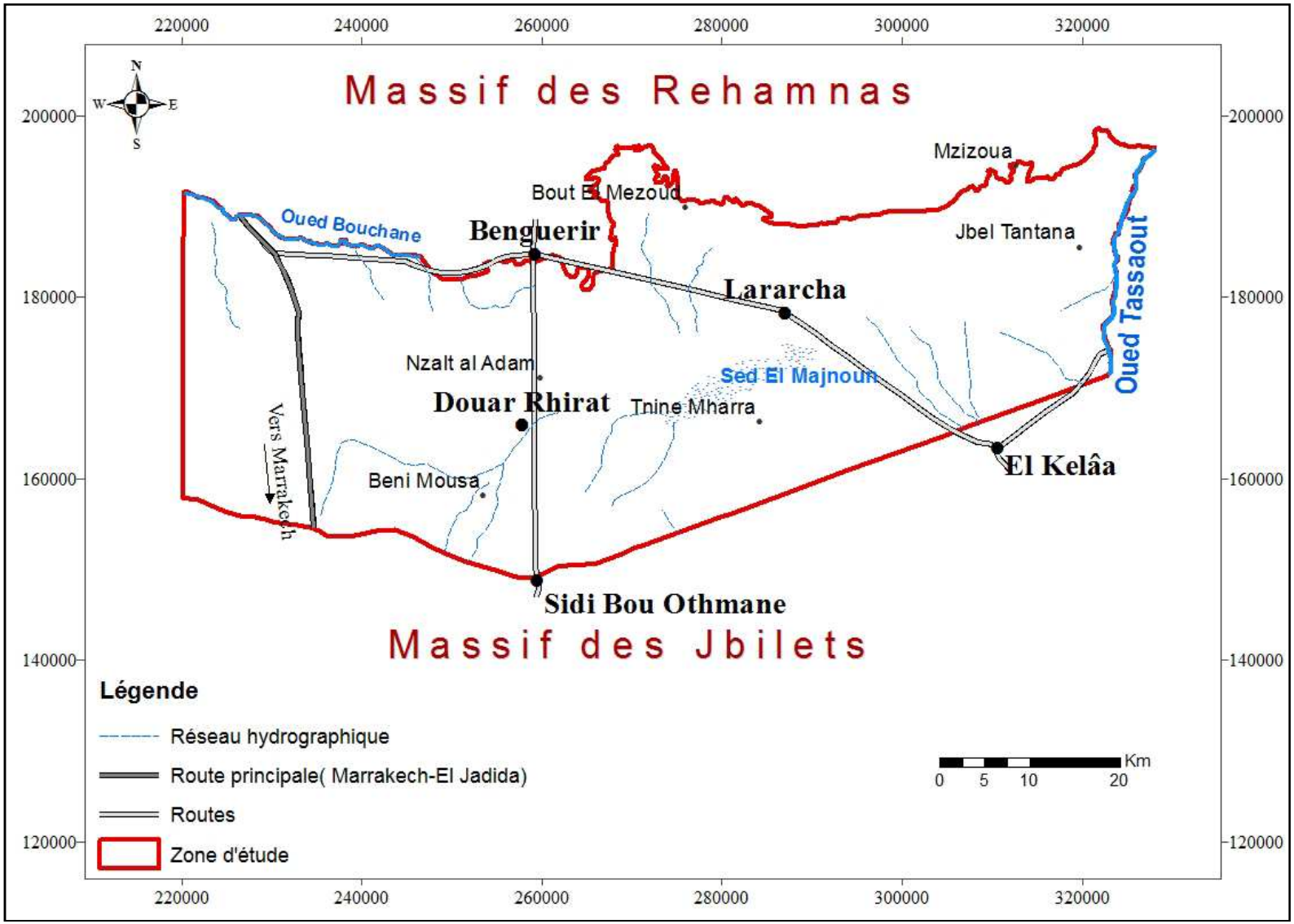


Figure 2*: Réseau hydrographique de la plaine de la Bahira centrale.*

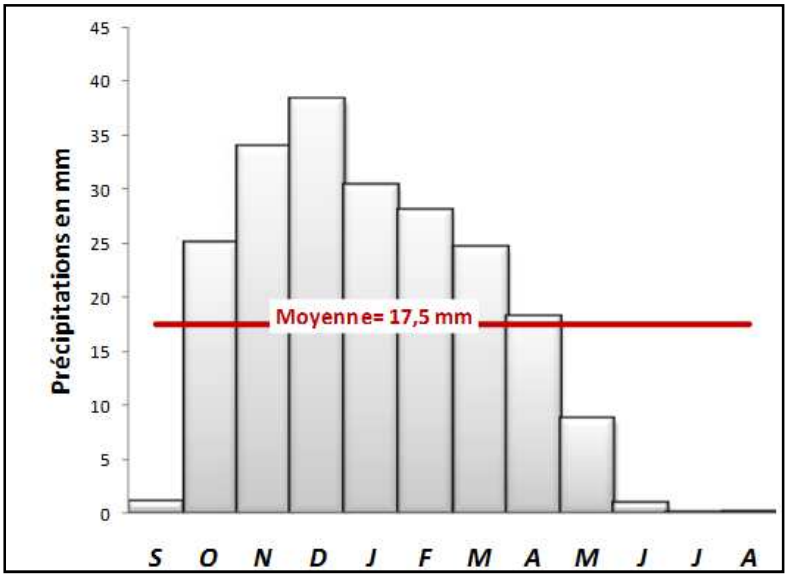


Figure 3 : précipitations mensuelles moyennes interannuelles, à Bouchane (1993 à 2012) en mm.

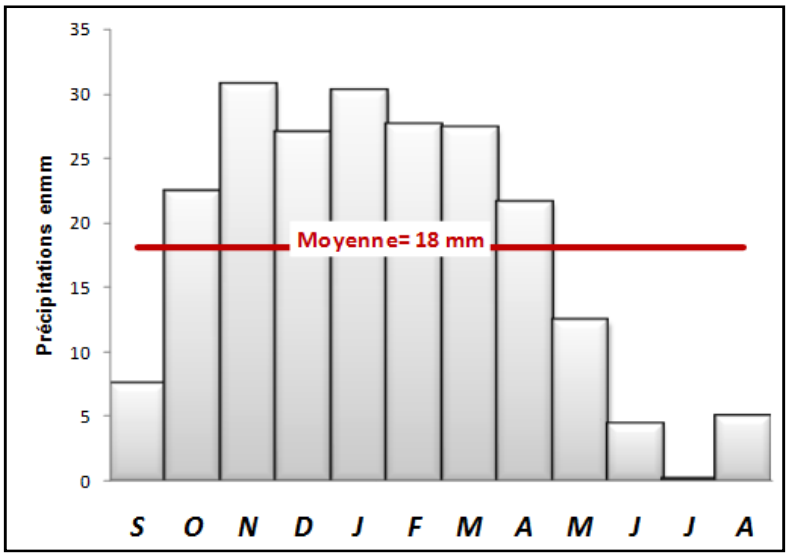


Figure 4 : *Les précipitations mensuelles moyennes interannuelles en mm, à Ouled Sidi Driss (Période 1973 à 2012)*

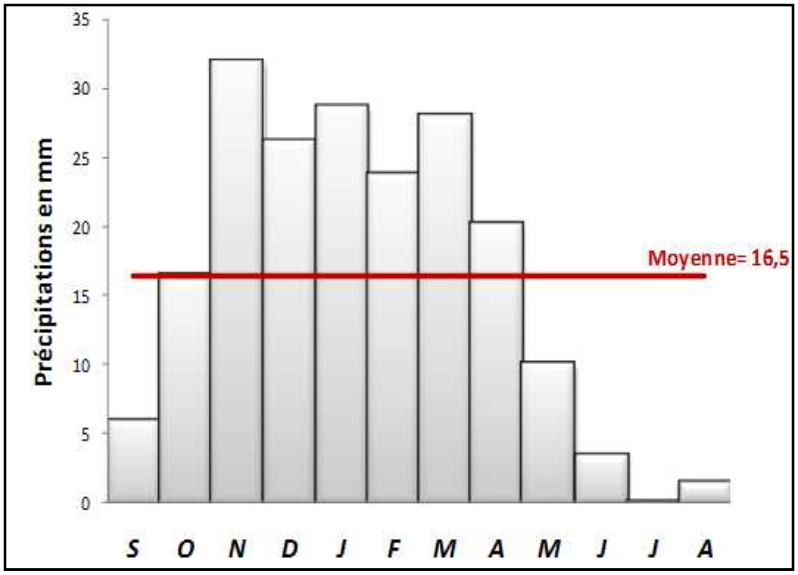


Figure 5 : *Les précipitations mensuelles moyennes interannuelles, à Bissi Bissa (1980 à 2012) en mm.*

		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Bissi Bissa	Moy	6,0	16,6	32,1	26,3	28,8	23,9	28,1	20,3	10,1	3,5	0,2	1,5	197,5
	%an	3,0	8,4	16,2	13,3	14,6	12,1	14,2	10,3	5,1	1,8	0,1	0,8	100,0
	Max	56,0	68,0	100,0	78,0	129,0	79,0	87,0	129,0	46,0	44,0	3,0	20,0	374,0
	Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,0
	E.type	12,4	16,2	30,9	23,8	29,4	19,5	21,8	31,1	12,0	8,5	0,6	4,1	72,0
	CV %	208	98	96	90	102	82	77	153	119	240	344	271	36
Bouchane	Moy	1,1	25,1	34,1	38,4	30,5	28,1	24,7	18,3	8,7	0,9	0,1	0,2	210,0
	%an	0,5	12,0	16,2	18,3	14,5	13,4	11,8	8,7	4,2	0,5	0,1	0,1	100,0
	Max	7,0	88,0	81,0	148,0	102,0	93,0	83,0	61,0	54,0	8,0	2,0	2,0	371,0
	Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
	E.type	2	24	26	36	28	27	21	21	15	2	0	1	92
	CV %	186	97	77	94	91	96	85	116	177	235	436	318	44
Ouled Sidi Driss	Moy	7,5	22,5	30,8	27,1	30,3	27,6	27,4	21,7	12,5	4,4	0,1	5,0	216,8
	%an	3,5	10,4	14,2	12,5	14,0	12,7	12,6	10,0	5,8	2,0	0,1	2,3	100,0
	Max	120,0	72,0	101,0	76,0	116,0	88,0	150,0	94,0	69,0	31,0	2,0	58,0	368,0
	Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,0
	E.type	21,3	20,6	28,8	22,9	26,1	21,2	27,7	25,8	16,4	8,9	0,4	13,5	75,7
	CV %	283	92	94	85	86	77	101	119	132	203	319	270	35

Tableau 2 : Pluies moyennes mensuelles au niveau des stations climatiques de la Bahira

- **Les précipitations annuelles**

L'analyse des séries de pluies annuelles des trois postes pluviométriques entre 1973 et 2012 (Figure 6) montre un régime de précipitations irrégulier présentant une alternance d'années sèches et humides.

Les années les plus sèches sont : 1982/1983, 1992/1993, 1999/2000, 2000/2001, 2004/2005 et 2006/2007.

Les années les plus humides sont : 1995/1996, 1996/1997, 2008/2009 et 2010/2011.

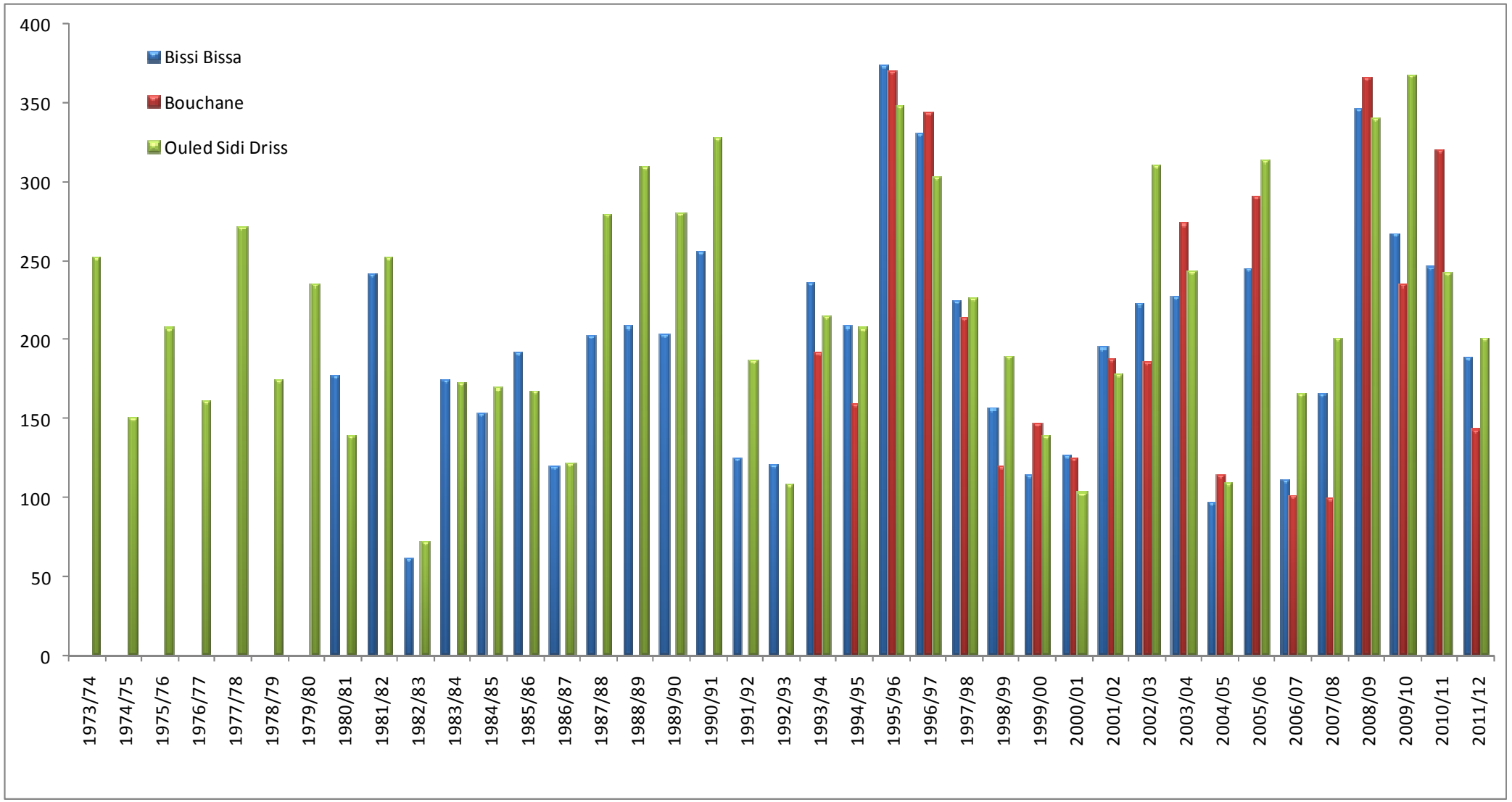


Figure 6 : Les précipitations interannuelles au niveau de 4 stations climatiques dans la Bahira entre 1973 et 2012.

III.2- Les températures

Les stations climatiques Bouchane et Ouled Sidi Driss, dont les caractéristiques figurent au niveau du tableau 3, sont les plus représentatives suite à leur proximité du secteur d'étude (Bahira centrale).

Les valeurs de températures mensuelles moyennes, minimales et maximales mesurées au niveau de ces deux stations (Figure 7 et 8) permettent de distinguer deux saisons: une saison froide et une saison chaude. Le mois le plus froid est le mois de Janvier tandis que le mois le plus chaud correspond au mois de Juillet.

Station	X(m)	Y(m)	Z(m)	Période d'observation
Bouchane	393700	215300	-	1993 à 2012
Ouled Sidi Driss	338950	192600	320	1995 à 2012

Tableau 3: Caractéristiques des stations climatiques de la Bahira.

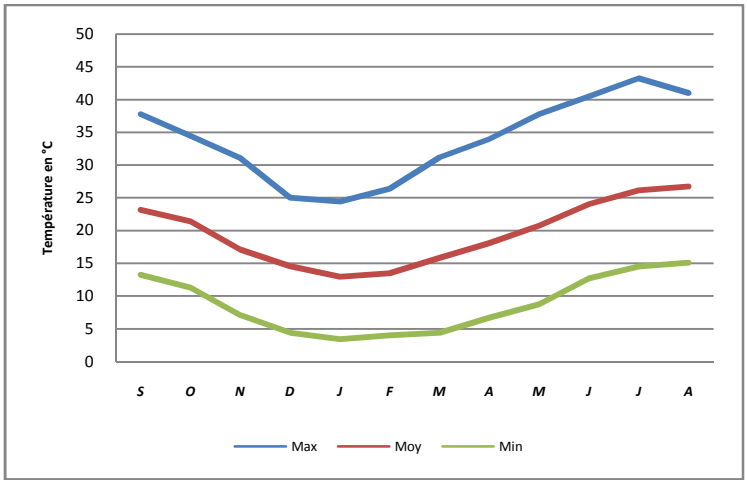


Figure 7 : Températures mensuelles moyennes interannuelles en °C, à Bouchane (1993 à 2012).

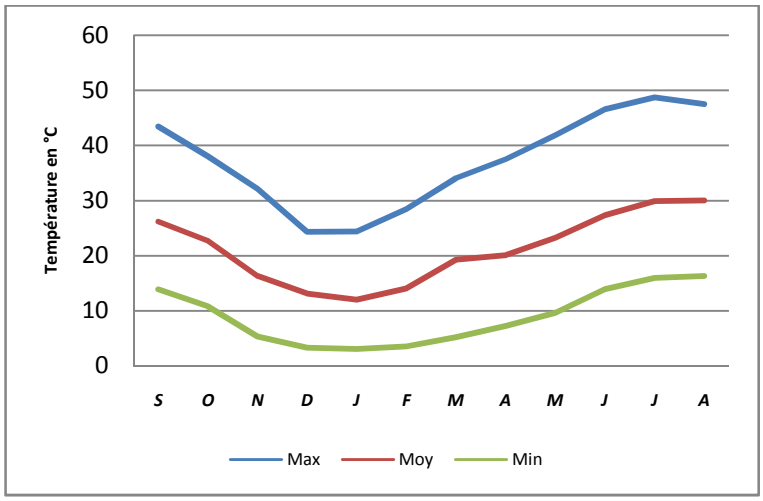


Figure 8 : Températures mensuelles moyennes interannuelles en °C, à Ouled Sidi Driss (1995 à 2012).

III.3-L'étude de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle définie la quantité maximale d'eau susceptible d'être évapotranspirée sous un climat donné et par un couvert végétal bien alimenté en eau. Elle est déterminée par la formule de Thornthwaite : (Khalil, 1989)

$$ETP = 16*(10*(T/I))^{a}$$

ETP= L'évapotranspiration potentielle en mm/mois.

T= Température moyenne mensuelle en °C. **I**=indice thermique annuel= $\sum i$

i=0,2*T1, 514 et **a**= 0,016I+0,5

D'après les tableaux 13 et 14 (annexe I) et les figures 9 et 10, on constate que les valeurs de l'ETP dépassent largement les valeurs des précipitations.

Les précipitations moyennes interannuelles sont toujours inferieures aux valeurs de l'évapotranspiration moyenne interannuelle à l'exception du mois de Janvier pour la station Bouchane et les mois Décembre et Janvier pour la station Ouled Sidi driss.

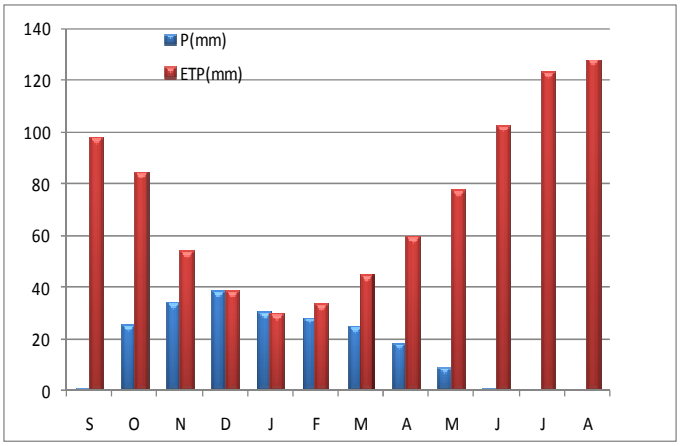


Figure 9 : L'évapotranspiration et les pluies mensuelles moyennes interannuelles en mm, à Bouchane (1993 à 2012).

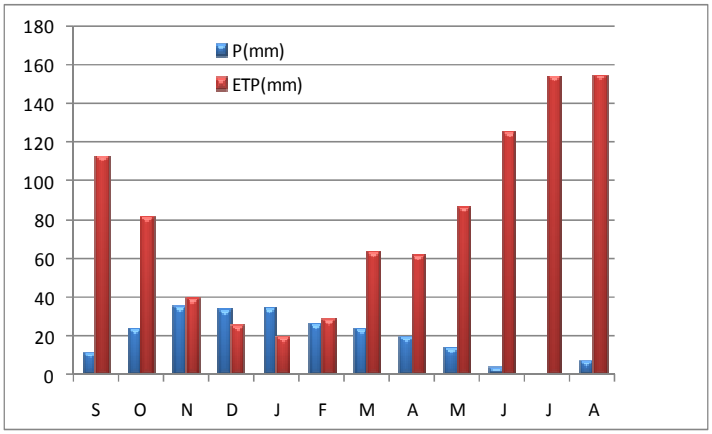


Figure 10: Evapotranspiration et les pluies mensuelles moyennes interannuelles en mm, à Ouled Sidi Driss (1995 à 2012).

III.4-L'indice d'aridité

L'indice d'aridité établit par DE MARTONNE (1923) sert à déterminer le type du climat. Il est calculé par la formule suivante :

I= P/(T+10)

I= l'indice d'aridité.

P= hauteur annuelle des précipitations en mm.

T= la température moyenne annuelle en °C.

- I<10 : Le climat est aride.
- 10< I < 20 : Le climat est semi aride.
- 20< I< 50 : climat froid tempéré ou tropical.
- I>50 : Climat équatorial ou montagnard.

Pour les deux stations Bouchane et Ouled Sidi Driss, les indices d'aridités calculés varies entre 3,3 et 13,1 ce qui indique un climat de type aride à semi aride.

	Précipitations (mm)		Température (°C)		Indice d'aridité	
	Bouchane	Ouled Sidi Driss	Bouchane	Ouled Sidi Driss	Bouchane	Ouled Sidi Driss
1993/94	193,0	215,0	18,1		6,9	
1994/95	159,0	208,0	20,1	23,3	5,3	6,2
1995/96	371,0	349,0	21,4	20,5	11,8	11,4
1996/97	344,0	303,0	21,9	21,7	10,8	9,5
1997/98	214,0	227,0	22,1	21,8	6,7	7,1
1998/99	120,0	190,0	20,5	20,7	3,9	6,2
1999/00	147,0	140,0	20,1	21,1	4,9	4,5
2000/01	125,0	104,0	18,9	21,5	4,3	3,3
2001/02	188,0	178,0	19,9	20,8	6,3	5,8
2002/03	186,0	311,0	20,2	21,0	6,2	10,0
2003/04	274,0	244,0	18,2	20,7	9,7	7,9
2004/05	115,0	109,0	19,8	20,6	3,9	3,6
2005/06	291,0	314,0	19,0	22,7	10,0	9,6
2006/07	102,0	166,0	19,4	21,0	3,5	5,4
2007/08	100,0	201,0	19,7	22,2	3,4	6,2
2008/09	366,0	340,0	17,9	19,9	13,1	11,4
2009/10	235,0	368,0	20,1	21,7	7,8	11,6
2010/11	320,0	243,0	20,1	20,7	10,6	7,9
2011/12	143,0	201,0	19,8	21,4	4,8	6,4

Tableau 4: L'indice d'aridité à Bouchane et Ouled Sidi Driss (199-2012).

III.5-L'indice Xérothermique de Gaussen

L'indice Xérothermique définit les mois où les précipitations sont inferieures à deux fois la température comme des mois secs.

D'après les diagrammes ombrothermiques des deux stations Bouchane et Ouled Sidi Driss, où les données de T° sont disponibles, les mois les plus secs sont les mois qui s'étendent entre Avril et Octobre (figures 11 et 12).

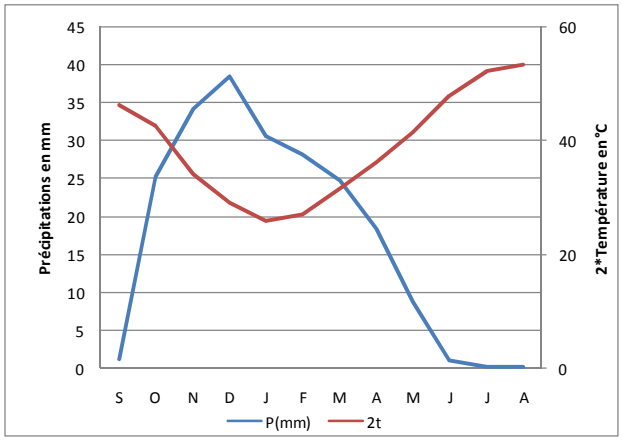


Figure 11 : Diagramme ombrothermique pour la Station Bouchane

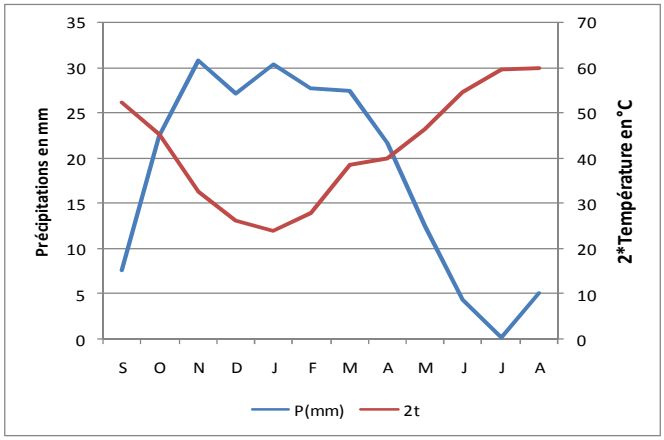


Figure 12: Diagramme ombrothermique pour la station Ouled Sidi Driss

IV. Conclusion

La Bahira centrale présente une plaine dont le réseau hydrographique est très limité et dont le climat est aride à semi-aride caractérisé par un régime irrégulier de précipitations et par l'alternance de deux saisons : une saison froide et humide entre Octobre et Avril, et une saison chaude et sèche entre Mai et Septembre.

Chapitre II : Cadre géologique de la Bahira centrale

I. Lithologie

La Bahira centrale forme un vaste fossé synclinal entre les deux massifs paléozoïques des Jbilets et des Rhamnas. Elle se présente sous forme de couverture de dépôts quaternaires, secondaires et tertiaires reposants sur un socle paléozoïque pénéplaine. Les formations qui affleurent au niveau de la plaine sont les dépôts alluvionnaires, limoneux et encroutés du quaternaire qui occupent une grande superficie. On remarque aussi l'affleurement des calcaires lacustres du Néogène ainsi que des formations de l'Eocène moyen et l'Eocène inferieur phosphaté. Vers le Nord, on relève l'émergence des dépôts secondaires présentés par le Turonien et le Maastrichtien. A noter aussi la présence des affleurements très limités de schistes. (Figure 13)

II. Litho-stratigraphie

La série lithostratigraphique de la Bahira centrale montre un passage progressif du Primaire au Quaternaire (Figure 14)

II.1- Le Primaire

Le socle paléozoïque présente un faciès principalement schisteux dont l'épaisseur est de l'ordre de plusieurs milliers de mètres (Er-rouane, 1992). Il affleure à la limite Nord au niveau des Rehamnas et au niveau des Jbilets à la limite Sud de la plaine.

II.2- Le Secondaire

II.2.1-Le Trias

Au niveau de la Bahira centrale le trias est rencontré sous forme d'une alternance de basaltes noirs et de marnes grises ou d'argiles rouges. Leur puissance dépasse les 100m (Khalil, 1989).

II.2.2- Le Jurassique

Le Jurassique supérieur affleure en bordure Ouest des Mouissates. Il est représenté par des calcaires gréseux, des calcaires dolomitiques, des Marnes ainsi que des niveaux de gypse massif avec des passées argileux. L'épaisseur de ces formations est d'environ 200m (Figure 15).

II.2.3- Le Crétacé :

a- Le Crétacé Inferieur

Dans la Bahira centrale, le Crétacé Inferieur figure sous forme des grès rouges comprenant des bancs de conglomérats avec des niveaux calcaires vers le tiers inferieur. (Gouzrou, 1991)

b- Le Crétacé Supérieur

- Le Cénomanien : affleure dans l'anticlinal de Mzizoua. Il est représenté par des conglomérats, des argiles rouges, des marnes et des calcaires marneux. (Er-rouane, 1992)
- Le Turonien : rencontré également dans l'anticlinal de Mzizoua, il débute par une suite de petits bancs calcaires de 50cm d'épaisseur suivis par deux barres calcaires de 3 et 4 mètres (Khalil, 1989).
- Le Sénonien : Il est matérialisé par une série de marnes grises peu fossilifères avec intercalations de grès et une barre calcaire au milieu.
- Le Maastrichtien : Le Maastrichtien, stérile à la base (grès, argile, marnes, dolomies synsédimentaires) et phosphaté au sommet (in KHALIL, 1989), affleure au niveau du plateau du Ganntour. Sa puissance varie de 75 à 100m. (Figure 16)

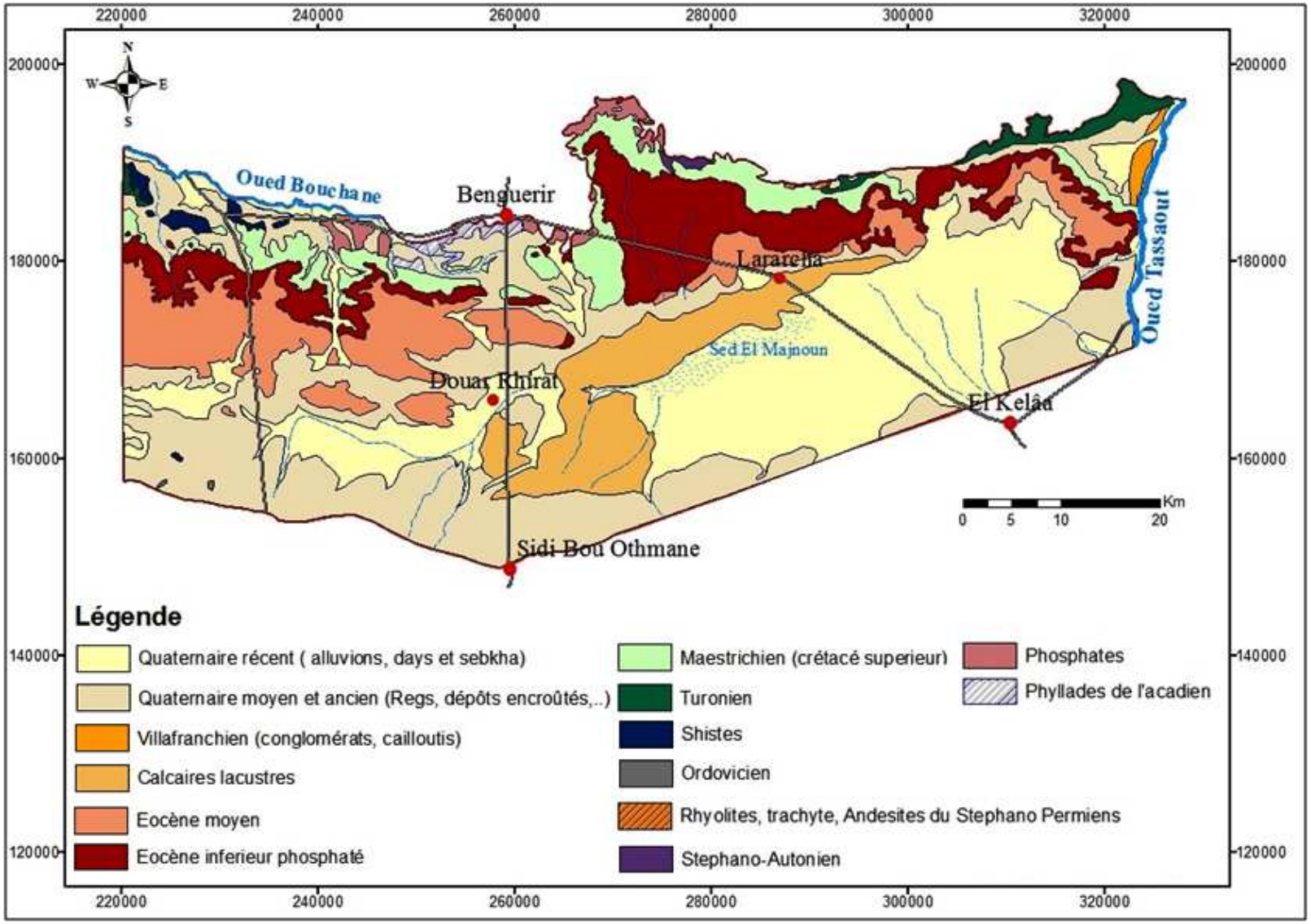


Figure 13: Carte géologique de la Bahira Centrale (Extrait des cartes géologiques 1/500000.d'El Jadida, Rabat, Marrakech et Ouarzazate)

II.3- Le Tertiaire

II.3.1-Le Paléogène

a- Le Paléocène

- **Le Montien** : il décrit l'étage le moins épais (6 à 8m) mais le plus riche en phosphates. Il présente deux couches souvent séparées par des intercalations de bancs calcaires fossilifères. La première couche est formée de phosphates oolitiques et se caractérise par une épaisseur qui varie entre 1,5 et 1,8 m. La deuxième est moins épaisse (60cm) et moins riche en phosphates.
- Le Thanétien : Il se caractérise par une épaisseur de 12,5m et un faciès formé de marnes blanches gréseuses, des marnes sableuses ainsi que des argiles rouges et grises.

b. L'Eocène

- **L'Yprésien** : d'une épaisseur d'une cinquantaine de mètres, il se caractérise par une prédominance d'un faciès siliceux (marnes siliceuses englobant parfois des rognons de silex). L'Yprésien se distingue par la présence d'un banc argileux surmonté par un niveau de sable silteux et phosphaté c'est « la couche des 11m » dont l'épaisseur peut atteindre 22m. Cette couche est suivie d'un complexe marno-cherteux déterminé par une alternance des marnes blanches ou jaunâtres très dolomitiques et des lits de silex de type chert. (Er-rouane, 1992)
- **Le Lutétien** : Le Lutétien met fin à la série phosphatée et se caractérise par une sédimentation essentiellement carbonatée. Il est caractérisé par une puissance de 80 m, ainsi que par la présence d'un niveau inferieur présentant une alternance des calcaires, marnes et silex et d'un niveau supérieur défini par l'abondance des carbonates. Ce niveau est couronné par des calcaires dolomitiques massifs et siliceux à faune abondante de lamellibranches et de gastéropodes c'est ce qu'on appelle « Dalle à Thérsitées »

c. Le Néogène :

Le Plio-Villafranchien marque le Pliocène final qui se présente sous forme de deux types de formations :

- Les calcaires Lacustres claires compacts ou concrétionnés à passées conglomératiques et terrigènes. Ces formations se localisent dans la partie nord du bassin avec une épaisseur de 10 à 40m.
- Les argiles roses à lits de graviers et de cailloutis déposés dans la partie méridionale avec une épaisseur qui peut atteindre 240m. (Er-rouane, 1992)

II.4. Le Quaternaire

Au niveau du bassin de la Bahira centrale, les dépôts quaternaires sont très développés. Ils se présentent sous forme de :

- Limons roses argileux de 1 à 2 m de puissance, occupant la majeure partie de la plaine. Et au niveau de Sed-El-Mejnoun, ces limons sont salés.
- Les alluvions hétérogènes : les galets, les graviers et les sables grossiers remplissent les zones d'épandage. Ils sont rencontrés au Nord et au Sud du bassin avec une épaisseur qui peut atteindre 20 à 25m.
- Les croûtes calcaires développées sur les dalles à Thérsitées ou sur les calcaires lacustres. (Khalil, 1989)

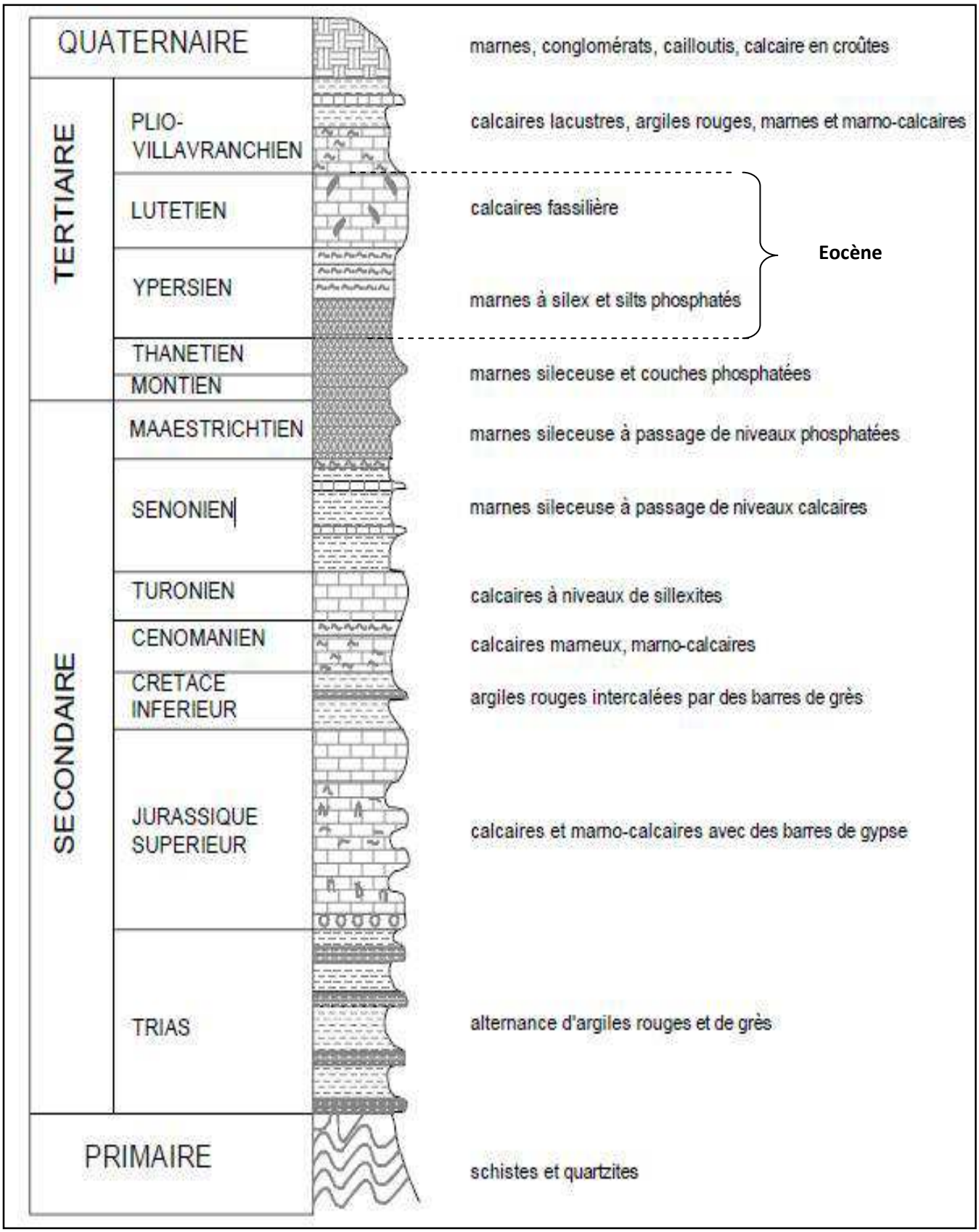


Figure 14: Colonne lithostratigraphique synthétique des terrains de la Bahira.

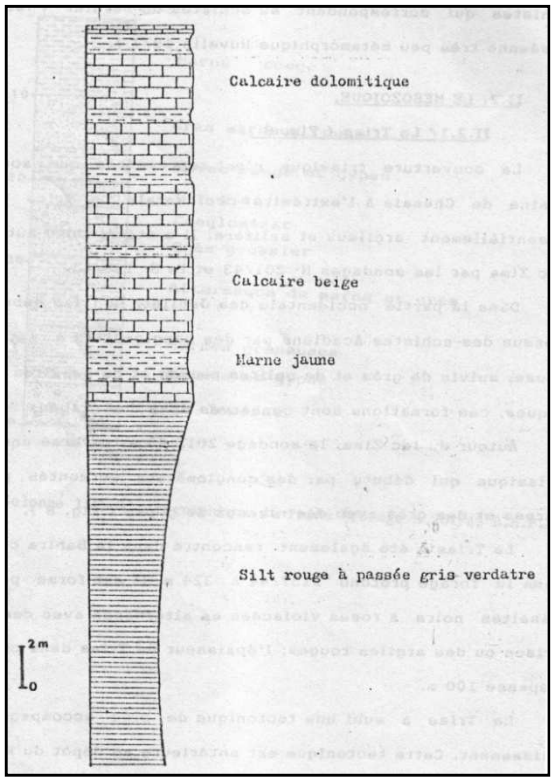


Figure 15: Colonne lithostratigraphique du Jurassique supérieur des Mouissates (in Khalil, 1989).

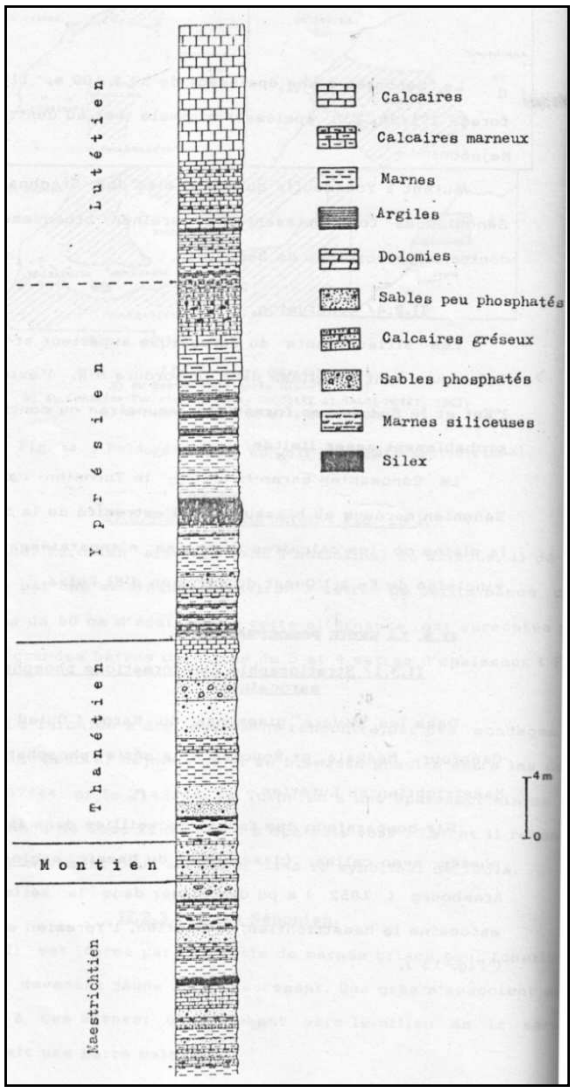


Figure 16: Coupe lithostratigraphique de tranchée de Nzalet Arrarcha. (in Khalil, 1989)

III. Structure du réservoir Eocène

D'après Michard (1976), la plaine de la Bahira fait partie de la Meseta marocaine. Cette dernière correspond au domaine de la chaîne hercynienne du Maroc qui est constituée de terrains paléozoïques recouverts en discordance par des séries secondaires et tertiaires généralement tabulaires formant un plateau surbaissé qui présente la partie la moins déformée durant le cycle alpin dont les mouvements ont provoqué le découpage du domaine en plusieurs blocs (Figure 17).

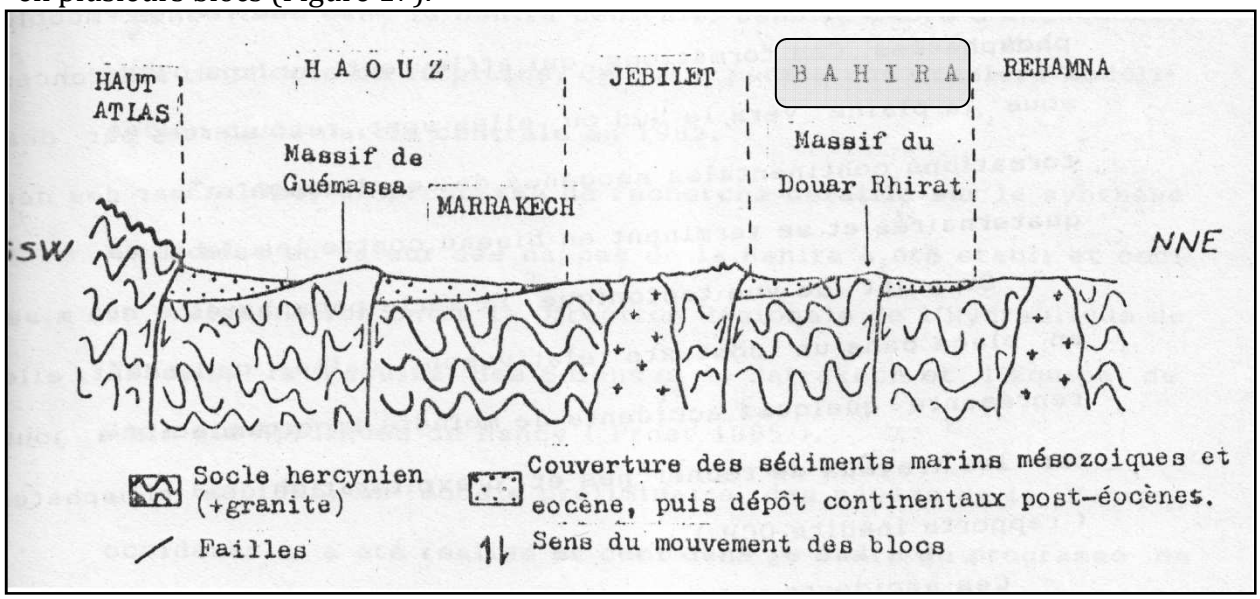


Figure 17: Succession des blocs de terrains anciens depuis le Haut Atlas de Marrakech jusqu'aux Rehamnas. (In Khalil, 1989)

III.1- Historique des études géophysiques

La plaine de la Bahira centrale est une zone qui a fait l'objet de plusieurs compagnes de prospection géophysique, outil très efficace dans le domaine d'exploration du sous sol. Parmi les principales compagnes que la région a connu, on peut citer :

- Les compagnes de prospection électrique réalisées dans la plaine de Benguerir-El Kalâa en Mars-Avril 1952 (Figure 18).
- L'étude gravimétrique en 1962 et 1964 par La Fondazione Ing. CM Lerici (Figure 18).

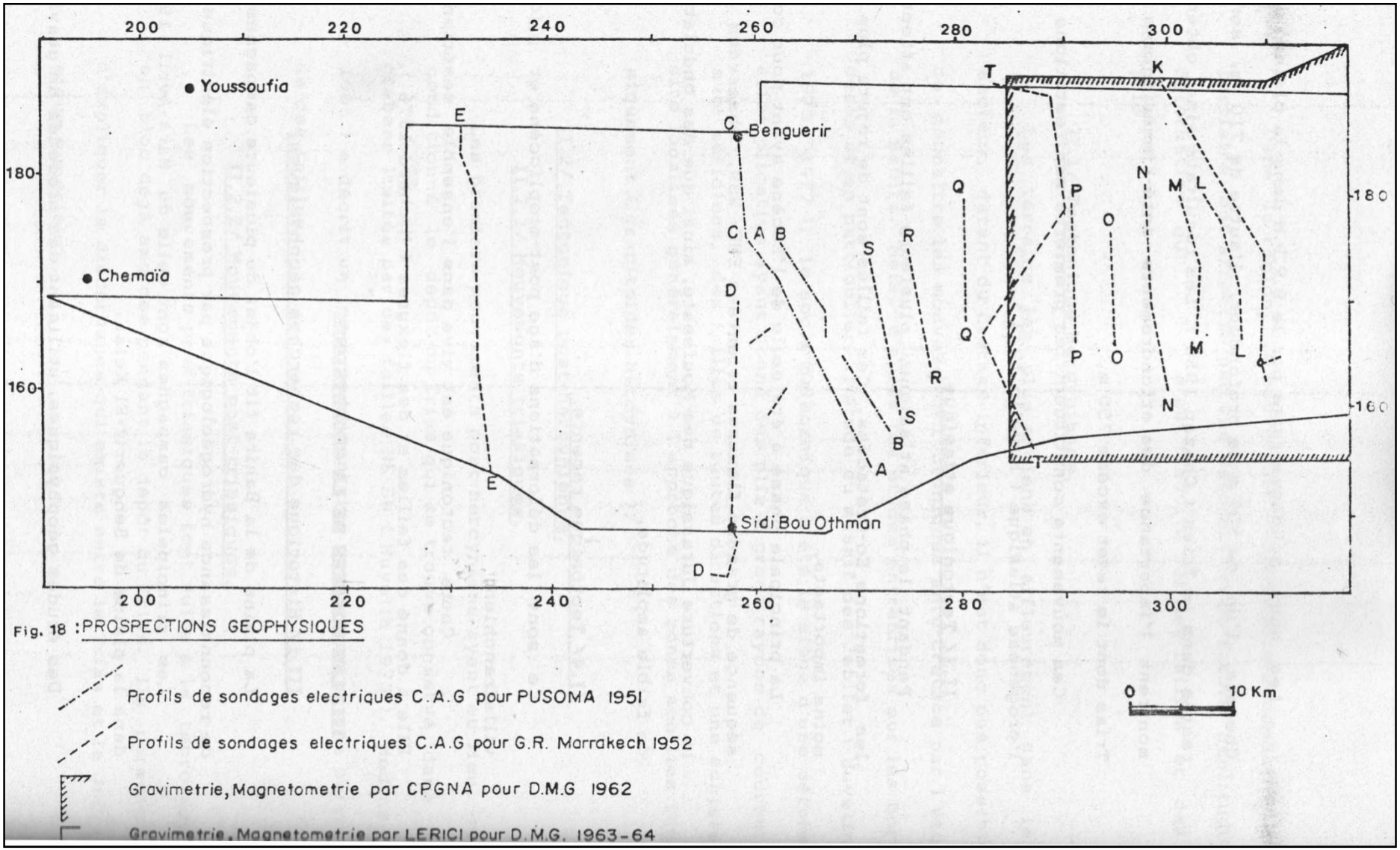


Figure 18: Prospections géophysiques, localisation des profils (in Khalil, 1989)

III.1.1. Les sondages électriques

Les méthodes de prospection électriques sont des méthodes de prospection géophysique basées sur la conductibilité des sols et des roches vis à vis des courants électriques naturels ou artificiels. Elles permettent d'étudier la structure des aquifères, identifier et cartographier les failles sous couverture, rechercher et caractériser les nappes d'eau souterraines.

Les sondages électriques réalisés au niveau de la Bahira centrale en 1951 et en 1952 avaient pour objectifs :

- La détermination de la structure du socle.
- L'étude des formations superficielle.
- Et la reconnaissance hydrogéologique.

L'échelle des résistivités des formations de la Bahira est donnée par le tableau 5 :

Stratigraphie et lithologie	Echelle des résistivités
Paléozoïque	80 à 100ohm.m au centre et à l'ouest de la Bahira. 30 à 70ohm.m dans la région Est. Schistes primaires graphiteux (40ohm.m)
Crétacé Inferieur (Argile grises et conglomérats rouges).	De l'ordre de 20 ohm.m
Cénomanien (Marnes et marno-calcaires) **Turonien** (Calcaires)	Imbibés : 50 à 100 ohm.m
Sénonien (Marnes)	De l'ordre de 20 ohm.m
Maestrichtien, Eocène inferieur (Marnes, marno-calcaires, sables et calcaires phosphatés)	20 à 40 ohm.m
Lutétien (Calcaires, dalles à Thersitées)	Secs : 100 à 500 ohm.m Imbibés : 40 à 60 ohm.m
Pliocène (Complexe d'argiles roses, conglomérats et calcaires lacustres)	Secs : 100 à 500 ohm.m Imbibés : 40 à 60 ohm.m
Quaternaire (Limons)	Limons non salés : 10 à 50 ohm.m Limons salés : 1 0 10 ohm.m Limons sursalés : < 1 ohm.m

Tableau 5: Résistivité des formations de la Bahira (in Khalil, 1989).

Les résultats de la campagne de 1951 et 1952 peuvent être récapitulés comme suit :

- **Le Profil A** (Figure 18 et Figure 19), orienté NW-SE, montre :
  - L'affleurement du paléozoïque au niveau de Benguerir (sondages C1 et C2).
  - L'affleurement des marnes salés du quaternaire entre les sondages A1 et A15. Ces marnes salés ayant une puissance entre 30 et 50 m sont déposées sur les formations éocènes qui ont été affectées par la faille F3 ce qui a conduit à leur remonté en surface (sondage A16).
- **Le Profil B** (Figure 18 et Figure 19), décrit le prolongement NW-SE des schistes du paléozoïque qui sont totalement recouverts par les calcaires et les Marnes de l'éocène.
- **Le Profil D** (Figure 18 et Figure 20), montre le recouvrement du socle paléozoïque par les formations éocènes à l'exception des sondages D3 et D4 (seuil Rhirat) ainsi

que le sondage D12 (les Jbilets). A ces deux niveaux l'affleurement du paléozoïque est favorisé grâce à la présence des deux failles F5 et F6.

- **Le Profil E** (Figure 18 et Figure 20), montre que les schistes sont prolongés sous les formations éocènes. Ils n'affleurent qu'au niveau du sondage E1, et présentent une formation presque tabulaire entre E6 et E10. Ce profil montre aussi l'importance du remplissage plio-quaternaire entre E14 er E17.
- **Le Profil T** (Figure 18 et Figure 21), décrit le même plongement NW-SE des schistes qui sont recouverts par les calcaires éocènes entre T3 et T4, le complexe phosphaté entre T5 et T7 et une couverture très épaisse des marnes et des marno-calcaires entre T16 et T19.

  Entre T8 et T13 (au niveau de sedd El Mejnoun) les calcaires lacustres du quaternaire présentent une épaisseur importante.
- **Le Profil K** (Figure 18 et Figure 21), montre que le socle paléozoïque n'affleure en aucun point. Sa profondeur est plus importante au centre du profil (entre K5 et K16). Cela est dû au deux failles F8 et F4.

Le socle paléozoïque est recouvert par :

- Des calcaires marneux entre K1 et K4, et K13 et K14.
- Des marno-calcaires entre K5 et K7, et K22 K25.
- Et entre K8 et K12, le substratum qui est à une profondeur de 500m est surmonté par des limons salés.

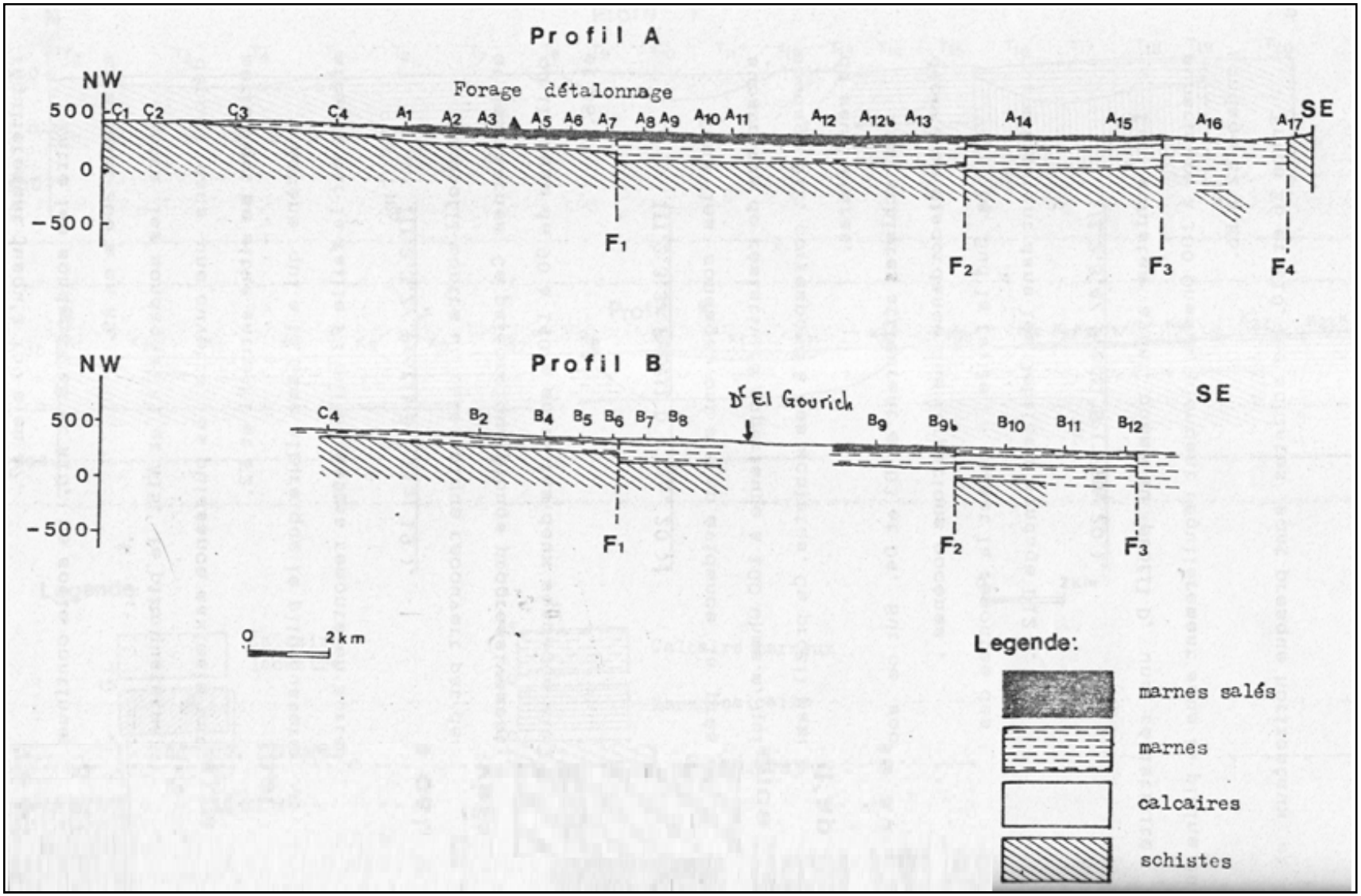


Figure 19: Coupes géoélectriques d'après C.G.C 1952 (In Khalil, 1989)

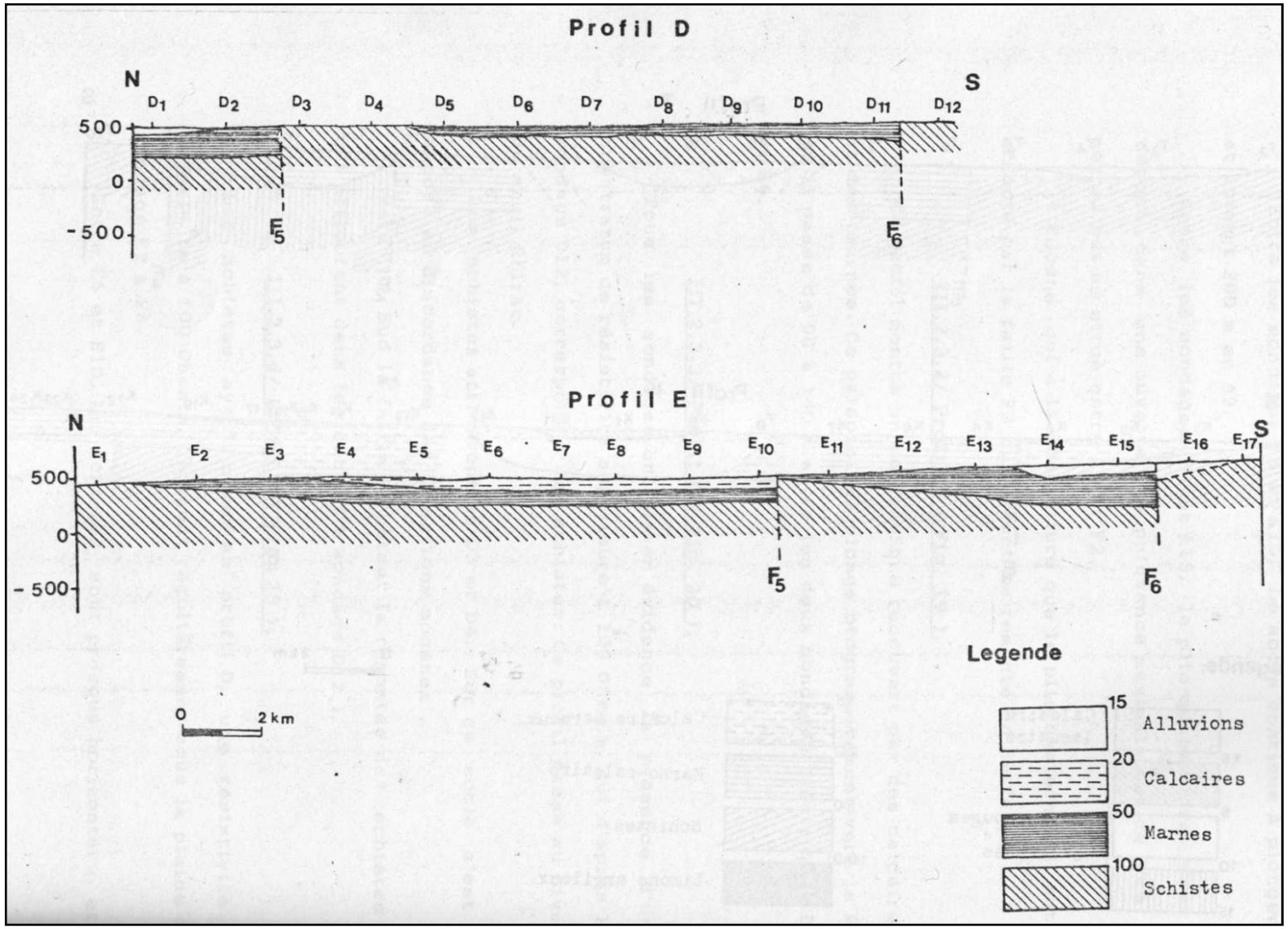


Figure 20: Coupes géo électriques d'après C.G.C 1952 (In Khalil, 1989)

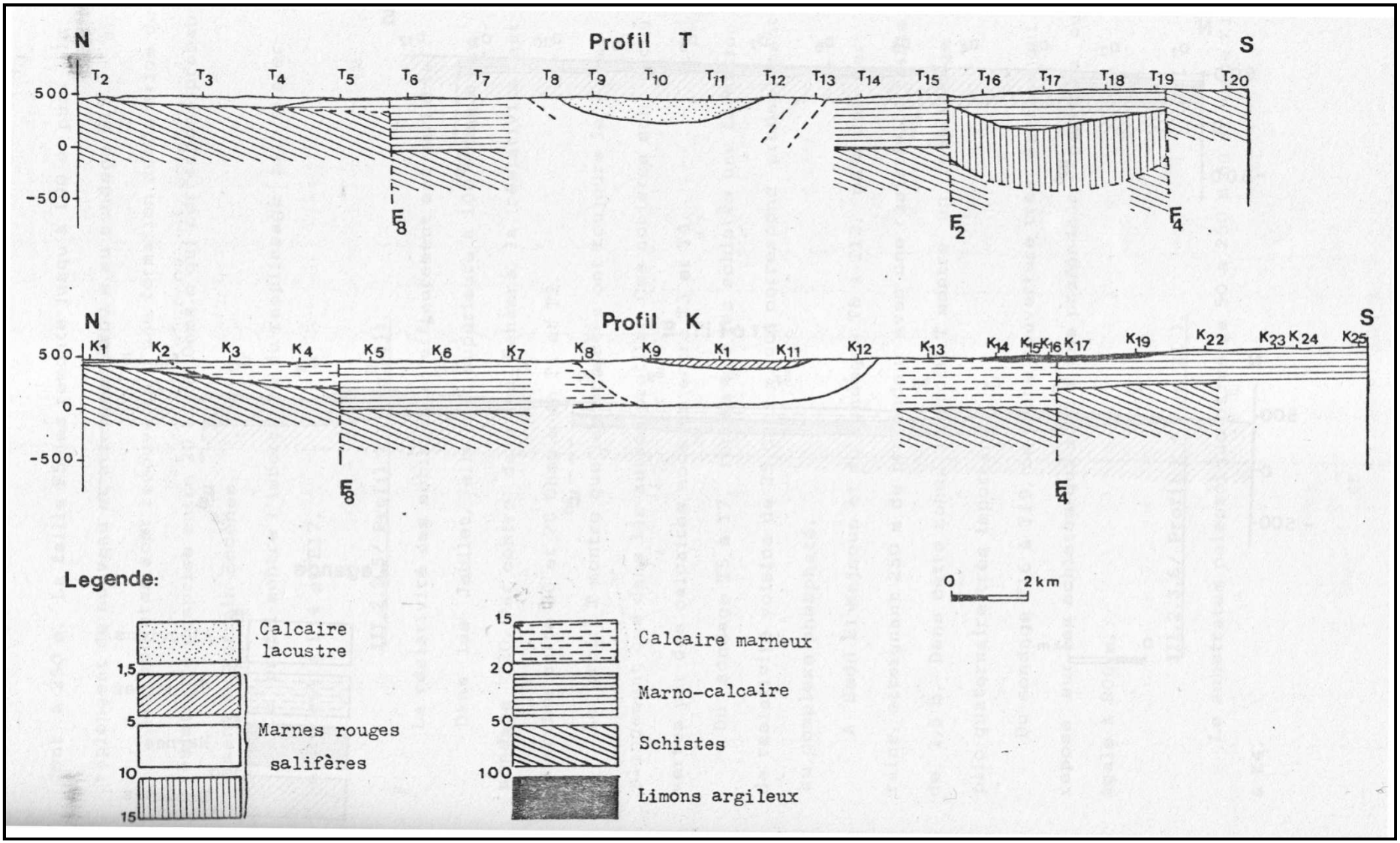


Figure 21: Coupes géo électriques d'après C.G.C 1952 (In Khalil, 1989)

III.1.2. Les études gravimétriques

La prospection gravimétrique est l'une des méthodes de prospection géophysique, pouvant révélée des informations hydrogéologiques utiles. Elle est basée sur la mesure des variations spatiales du champ de pesanteur terrestre. Son objectif est l'identification des structures géologiques cachées.

L'étude gravimétrique réalisée, en 1962-1963, au niveau de la Bahira centrale a permis la mise en évidence (figure 22):

- d'une large anomalie positive (>35mgal) occupant une vaste zone allongée sur environ 30Km dans la direction WNW-ESE et large de 10Km dans sa partie orientale. Cette anomalie correspond au seuil de douar Rhirat.
- d'une anomalie de forme régulière au sud de Benguerir (valeurs inferieurs à 10mgal) qui est expliqué par la présence d'un massif granitique.
- Des fortes anomalies négatives (<5mgal) au pied des Jbilets ayant une direction ENE-WSW. Elles montrent « le sillon marginal » qui présente une grande dépression du paléozoïque.

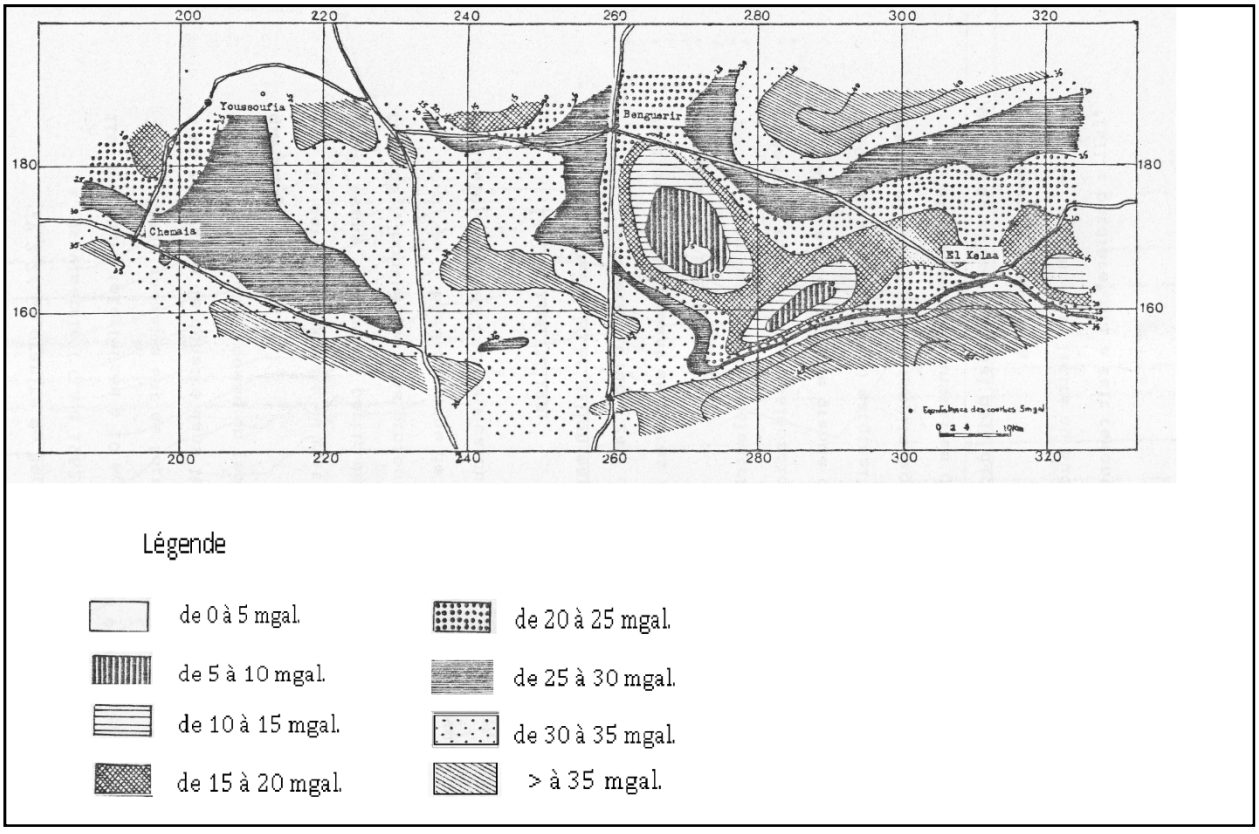


Figure 22: Anomalies résiduelles isostatiques (In Khalil, 1989)

III.2. Les principaux accidents affectant le bassin

Les différentes études géophysiques réalisées au niveau de la Bahira centrale ont permis la mise en évidence des différents accidents du bassin ainsi que la description de la structure des terrains de couverture et du socle paléozoïque (figure 23).

III.2.1. La faille bordière des Jbilets

C'est une grande faille verticale à rejet variable (de 2500m entre Sidi Bou-Othmane et El-Kalâa à 200m au niveau de sidi Bou-Othmane). Elle est approximativement orientée E-W séparant ainsi les Jbilets et la Bahira (Er-rouane, 1992).

III.2.2. Les failles de la plaine de Benguerir

Ce sont des failles ayant une direction atlasique et dont la plus marquante montre une direction E-W et un rejet de 300m (Er-rouane, 1992).

III.2.3. Le seuil de Douar Rhirat :

Le seuil de Douar Rhirat défini un bombement anticlinal du paléozoïque. Il est orienté NW-SE et limité au nord par une faille de direction pareille (figure 23). Son allongement atteint les 30 km et sa largeur est d'environ 10 km (Khalil, 1989).

III.3. La structure du socle paléozoïque

Le socle primaire présente une structure caractérisée par une zone de glacis avec un pendage de 5° vers le SSE au Nord du bassin.

Dans la partie centrale et la partie méridionale, se loge un sillon marginal profond, limité au Nord par une flexure localement importante et au Sud par la faille bordière des Jbilets (Er-rouane, 1992) (figure 23).

III.4. La structure des terrains de couverture

Les terrains de couvertures présentent une structure monoclinale.

Dans la partie orientale, on repère l'existence des diaclases qui sont visibles dans la tranchée du Jbel Tantana.

Au niveau du plateau du Ganntour, la couverture n'a été affectée que par des très faibles déformations lors de l'orogenèse atlasique. L'amplitude des flexures ne dépasse pas une dizaine de mètres. Vers l'Est, les flexures qui présentent en abondance une direction NNE-SSW déterminent des ondulations à grands rayons de courbure.

Dans la région de Benguerir s'étend une flexure remarquable qui part du Bout - El-Mezoued et loge le bord NE du gisement dans la direction de Nzalet-El-Hararcha (in Khalil, 1989 et Er-rouane, 1992).

III.5. Unités structurales de la plaine de la Bahira

D'après Gouzrou (1991), la plaine de la Bahira centrale peut être subdivisée en six unités :

- La première unité est située dans la partie septentrionale de la plaine entre la route Lararcha-Benguerir, la route principale Marrakech-El Jadida et douar Rhirat (Figure 23). Cette unité est marquée par l'affleurement au Nord et au Sud des formations Eocènes dont l'épaisseur est de l'ordre de 100m.
- La deuxième unité présente un véritable sillon caractérisé par une épaisseur importante des formations plioquaternaires qui est de l'ordre de 100m à l'Ouest (périmètre des Ouled Moussa) et qui atteint 200m à l'Est (vers Tnine Mharra).
- La troisième unité définie un secteur où les niveaux Eocènes sont également effondrés sous les formations du plioquaternaires dont l'épaisseur est de l'ordre de 90m au Sud et 230m au Nord.
- Le quatrième secteur est le secteur Bounaga- Oulad Rhahmoune, où affleurent les formations Eocènes qui présentent une épaisseur moyenne de l'ordre de 60m. A ce niveau, les formations Eocènes reposent directement sur les terrains primaires.
- Au niveau de la cinquième unité, les formations Eocènes; qui montrent une puissance variant de 100 à 150m ; sont effondrées à nouveau sous les dépôts plioquaternaires (Figure 23).
- Le sixième et le dernier secteur est le môle de Rhirat où les formations primaires sont subaffleurantes (Figure 23). Les dépôts quaternaires présentent une pellicule qui ne dépasse pas les 20 m.

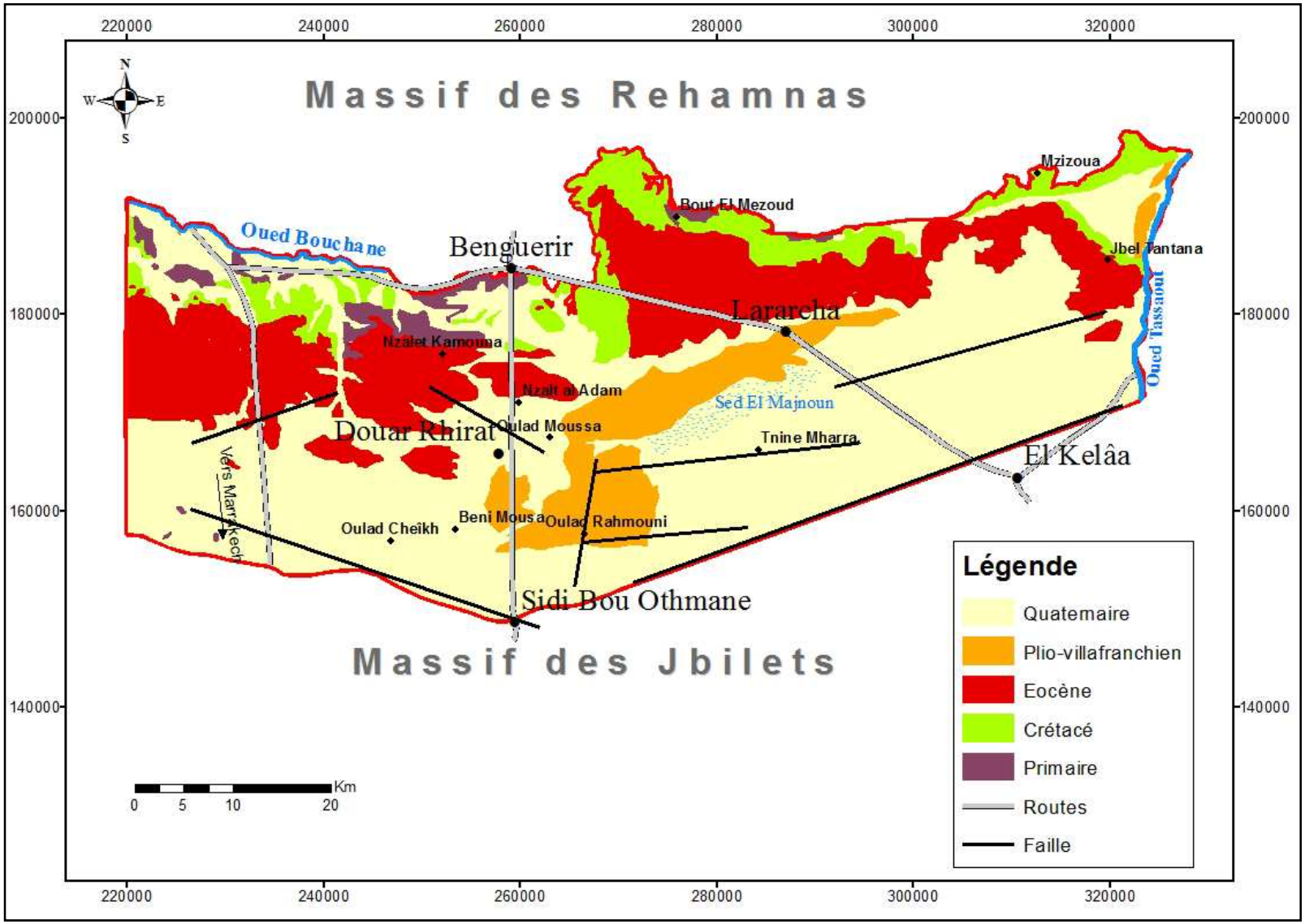


Figure 23: Carte structurale de la Bahira centrale (in Khalil, 1989)

IV. Conclusion

La Bahira centrale présente un plateau surbaissé des formations paléozoïques surmontées par des séries de dépôts secondaires et tertiaires ainsi que des dépôts quaternaires qui occupent la majeure partie de la plaine.

Les principaux accidents affectant ce bassin subdivisé en six unités sont :

- La faille bordière des Jbilets ;
- Le seuil de Douar Rhirat ;
- Et les failles de la plaine de Benguerir caractérisées par une direction atlasique.

Chapitre III : Cadre hydrogéologique de la Bahira Centrale

I. Définition des horizons aquifères

Une étude hydrogéologique nécessite en premier lieu la détermination des horizons aquifères, dont la disposition est en relation étroite avec la lithologie des formations géologiques.

Dans le bassin de la Bahira, la série lithostratigraphique précédemment présentée (figure 14) montre la répartition des horizons perméables qui peuvent présenter des lieux favorables à l'emmagasinement de l'eau. Ces formations perméables sont :

- les alluvions et les calcaires plioquaternaires,
- Les calcaires et les dépôts phosphatés de l'Eocène et du crétacé,
- Et les schistes altérés du primaire.

De ce fait les différents réservoirs de la Bahira centrale peuvent être schématisés de la façon suivante :

I.1. Le réservoir plio-quaternaire

Le réservoir plio-quaternaire est le siège d'une nappe libre très importante. Il s'étend sur la majeure partie de la plaine. Il repose sur les terrains paléozoïques au niveau des Rehamnas et au pied des Jbilets. Et au centre, il repose sur les formations Eocène (Khalil, 1989).

La nature lithologique de ce réservoir est représentée par des alluvions, des calcaires lacustres, et des formations marno-argileuses ou limons à faibles porosité.

I.2. Le réservoir éocène

Le réservoir éocène est le siège d'une nappe tantôt libre, tantôt captive. Il est formé par la superposition de plusieurs niveaux aquifères qui sont en communication entre eux (absence des niveaux imperméables séparant les couches aquifères) (Gouzrou, 1991).

✓ Le réservoir des calcaires Lutétiens : Les calcaires silicifiés du lutétien caractérisés par une fracturation développée présentent le principal réservoir de la zone. Leur puissance moyenne est de l'ordre de 40m à Benguerir, 35m à Nzalt-El-Hararcha et 28m à la Tassout (Er-rouane, 1992).

✓ Le réservoir phosphaté supérieur est formé par les sables silteux phosphatés de la base Yprésienne, les marnes siliceuses à passage de niveaux phosphatés de l'Yprésien ainsi que les marnes du Lutétien qui terminent ce membre cherteux ayant comme substratum les argiles Yprésiennes.

I.3. Le réservoir crétacé

Le réservoir crétacé peut être aussi divisé en trois niveaux aquifères :

✓ Le réservoir Infracénomanien : Au niveau de l'anticlinal de Mzizoua, les grès et les conglomérats de l'infracénomanien ayant une épaisseur de 75 à 100m peuvent être le siège d'une nappe à faible débit (Khalil, 1989).

✓ Le réservoir Turonien : Au nord oriental de la Bahira centrale, la dalle turonienne présente un niveau fissuré productif d'eau souterraine. Ce réservoir a pour substratum les marnes et les marno-calcaires imperméables du Cénomanien (Khalil, 1989).

✓ Le réservoir paléo-crétacé supérieur : Il referme une nappe captive formée surtout de sables et de phosphates sableux d'âge Maestrichtien.

I.4. Le réservoir des schistes primaires

Il correspond aux schistes altérés reconnus dans les deux limites Nord et sud de la plaine (les Rehamnas et les Jbilets) ainsi qu'au niveau du seuil de douar Rhirat.

Parmi les quatre réservoirs mentionnés, le réservoir le plus important au niveau de la Bahira centrale et qui est l'objet de notre étude est le réservoir Eocène.

L'actualisation de ses données hydrogéologiques passe par l'élaboration des cartes thématiques à partir des bases de données (Annexes II, III, IV et V) établis en rassemblant et en triant :

✓ Les données des fiches IRE d'une quarantaine de forages captant l'Eocène. (Annexe II) ;

✓ Les données de la piézométrie mesurée par le bureau d'étude WAMAN Consulting. (Annexe III) ;

✓ Et les analyses de la qualité des eaux réalisées par le bureau d'étude LPEE.

Toutes ces données dont on dispose concernent des forages qui sont mal répartis sur la plaine de la Bahira. Ils sont concentrés dans la partie centrale. De ce fait les cartes élaborées ne sont représentatives qu'au niveau de la zone centrale (Figure 24).

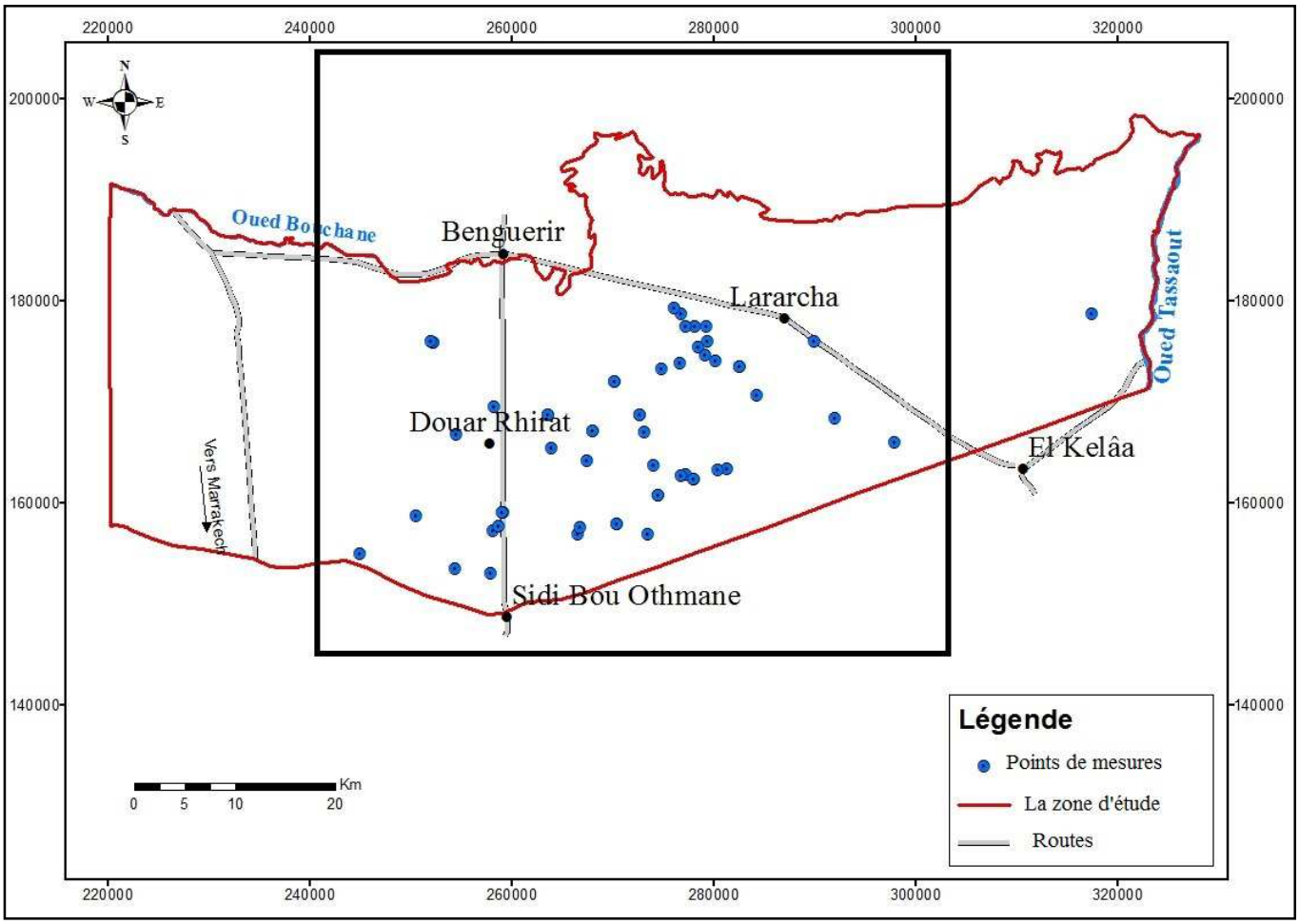


Figure 24: Situation des points de mesure dans l'aquifère de la Bahira Centrale

II. Géométrie de l'aquifère éocène

La connaissance de la géométrie d'un aquifère est une étape essentielle afin de comprendre son fonctionnement hydraulique. Pour le cas de l'aquifère éocène sa géométrie est illustrée par les profils de corrélations, les cartes isohypses de ses deux limites supérieure et inferieure ainsi que par la carte de ses isopaques.

II.1. Les profils de corrélations

Les profils de corrélations réalisés au niveau de la zone d'étude (Figure 25) sont établis en se basant sur les coupes lithostratigraphiques figurants au niveau des fiches IRE d'une trentaine de forages et sondages de reconnaissance.

- **Profil AA'** (figure 25 et figure 26) orienté de l'Ouest vers l'Est. Il se prolonge au sud de la zone d'étude et montre une épaisseur variable des formations éocènes qui se déposent soit sur les marnes du sénonien soit directement sur les schistes paléozoïques.

- **Profil BB'** (figure 25 et figure 27) orienté SW-NE. Il décrit également l'épaisseur variable des formations éocènes qui sont toujours enfoncées sous les formations plioquaternaires dont l'épaisseur augmente généralement en se dirigeant vers B'.

- **Profil CC'** (figure 25 et figure 28) d'orientation SSW-NNE, montrent une diminution progressive des formations plioquaternaires vers C'. Ce qui rend les formations éocènes très proches de la surface topographique (forages IRE 6011/44 et IRE 6010/44).

- **Profil DD'** (Figure 25 et Figure 29) se prolonge du SE vers le NW. Il marque la remonté des formations éocènes du SE vers le NW accompagnée par la diminution de la puissance des formations plioquaternaires.

- **Profil EE'** (Figure 25 et Figure 30) orienté du Sud vers le Nord. Il montre l'affleurement des formations éocènes au Nord du bassin et leur enfoncement vers le sud sous les formations plioquaternaires dont l'épaisseur augmente au centre du bassin.

- **Profil FF'** (Figure 25 et Figure 31) présente une orientation de l'Ouest vers l'Est. Il montre une augmentation de la puissance des formations éocènes en se dirigeant vers l'Est comme il décrit aussi l'allure synclinale des dépôts plioquaternaires qui présentent une épaisseur importante au centre du bassin où la limite supérieure du réservoir éocène atteint une altitude de 292m (IRE 3017/44).
- **Profil GG'** (Figure 25 et Figure 32) orienté SE-NW montre une remonté vers le Nord des formations éocènes jusqu'à leur affleurement. Il montre également l'importance des formations plioquaternaires à Bwichat (IRE 4244/44) et au niveau de la dépression de Sed El Mejnoun.

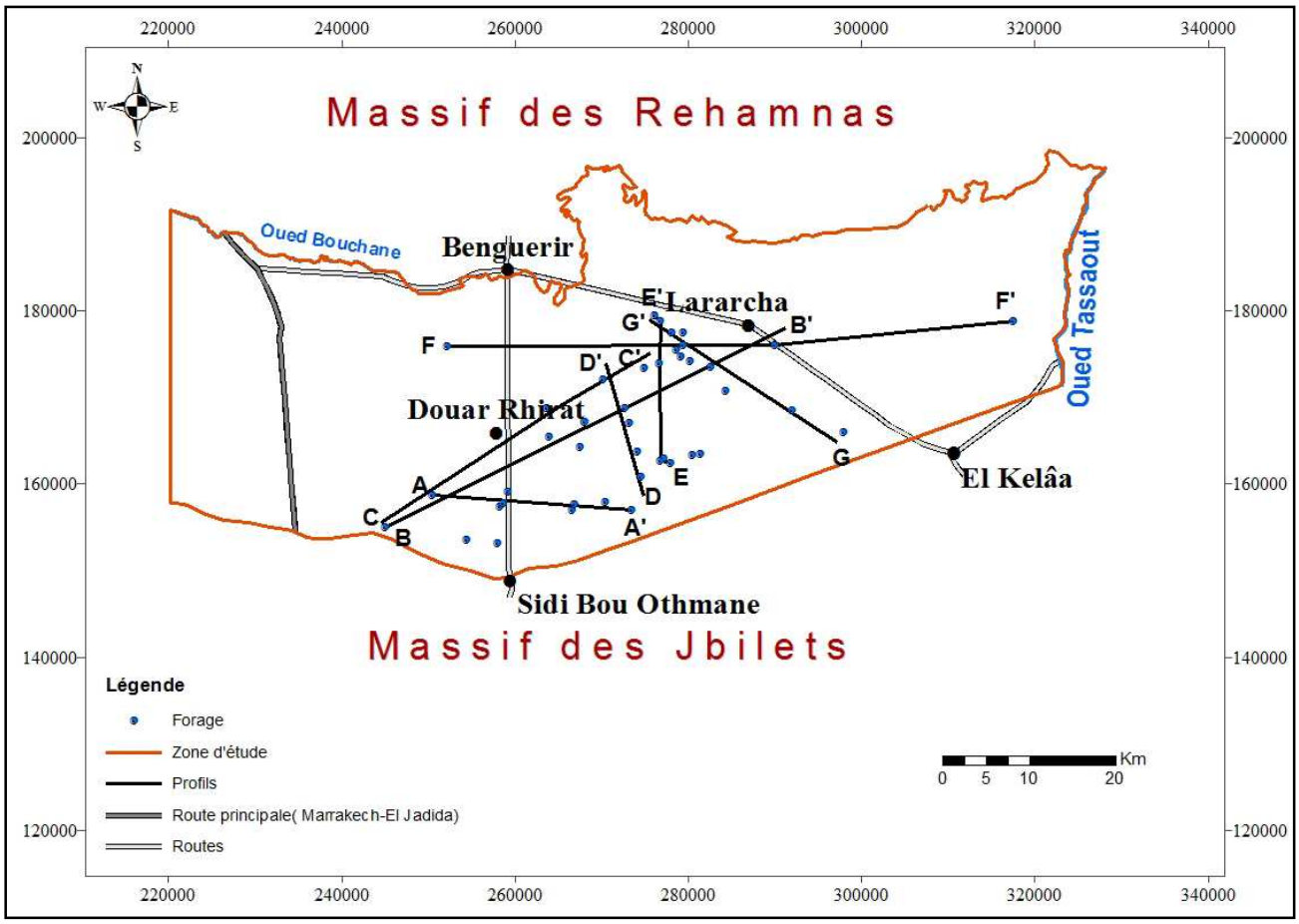


Figure 25: Les profils de corrélations

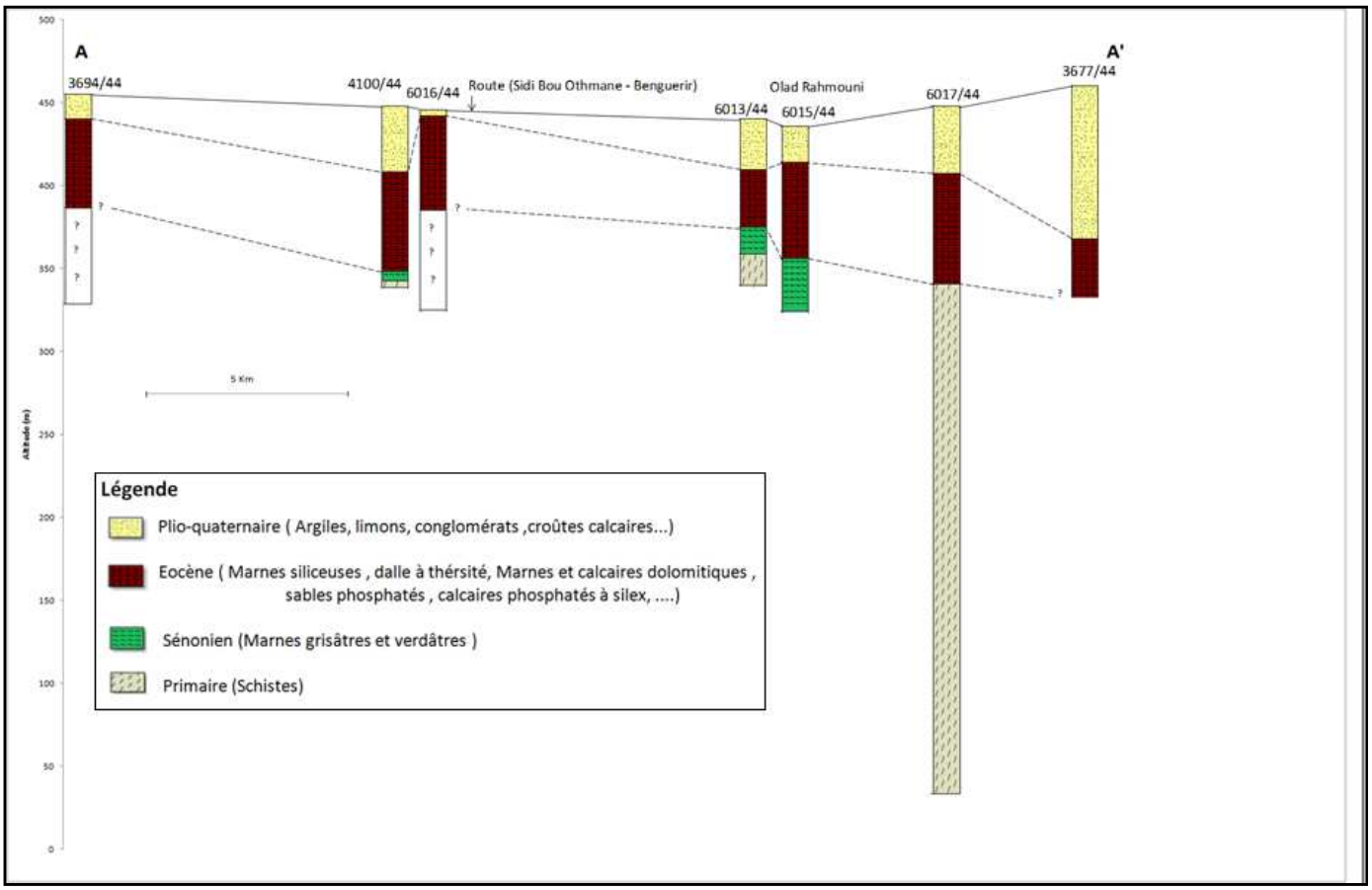


Figure 26: Profil de corrélation AA'

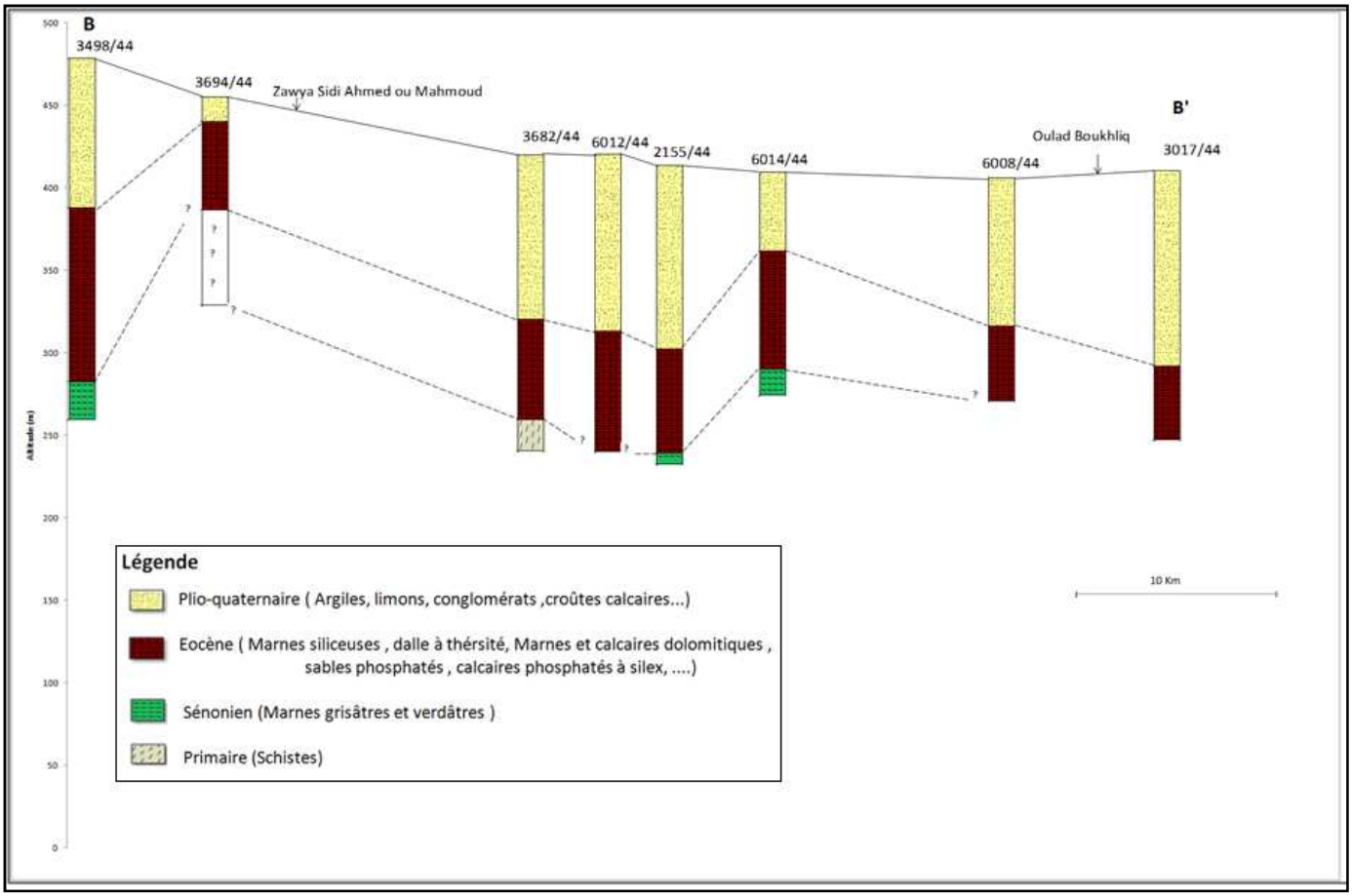


Figure 27: Profil de corrélation BB'

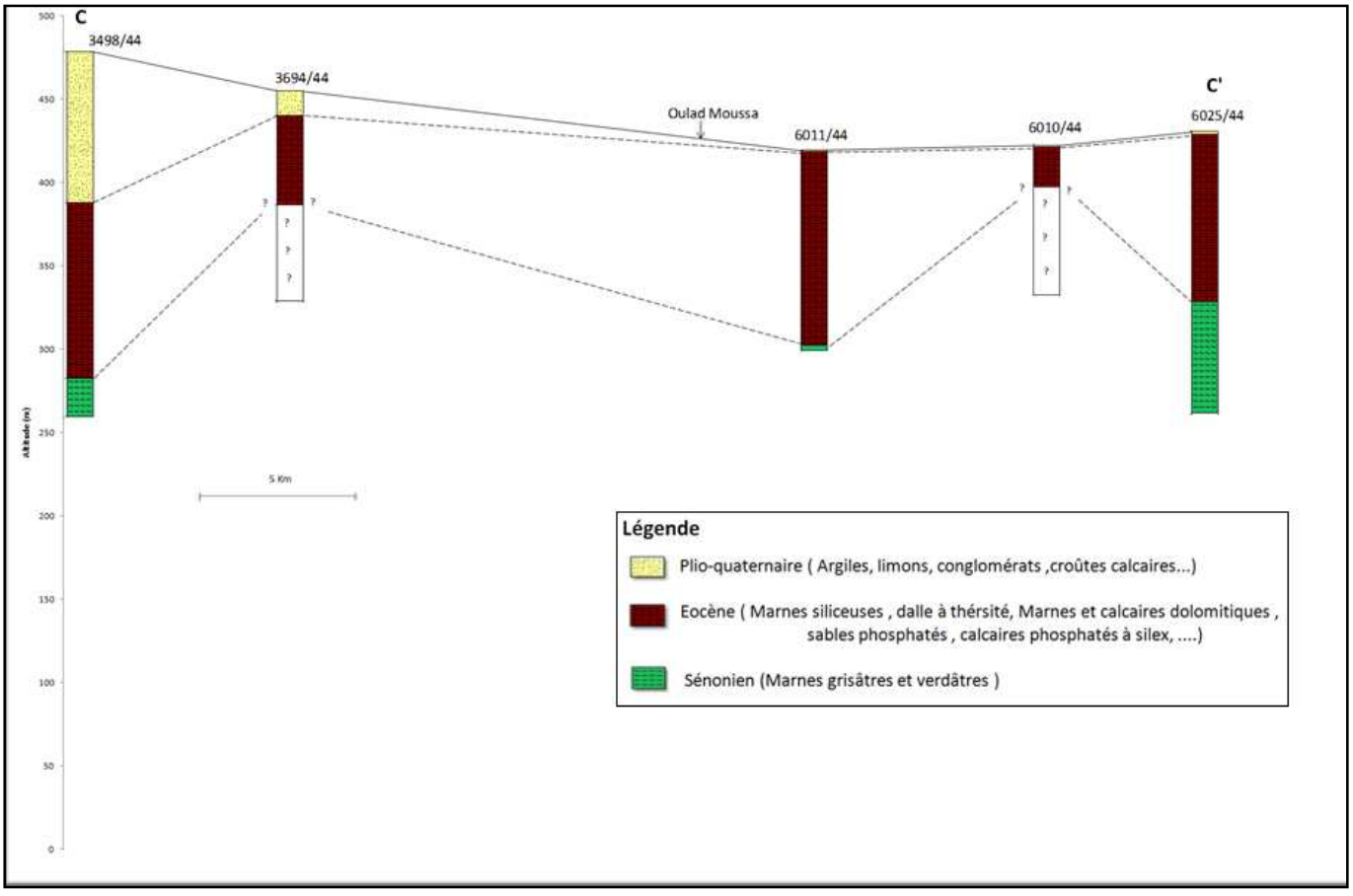


Figure 28: Profil de corrélation CC'

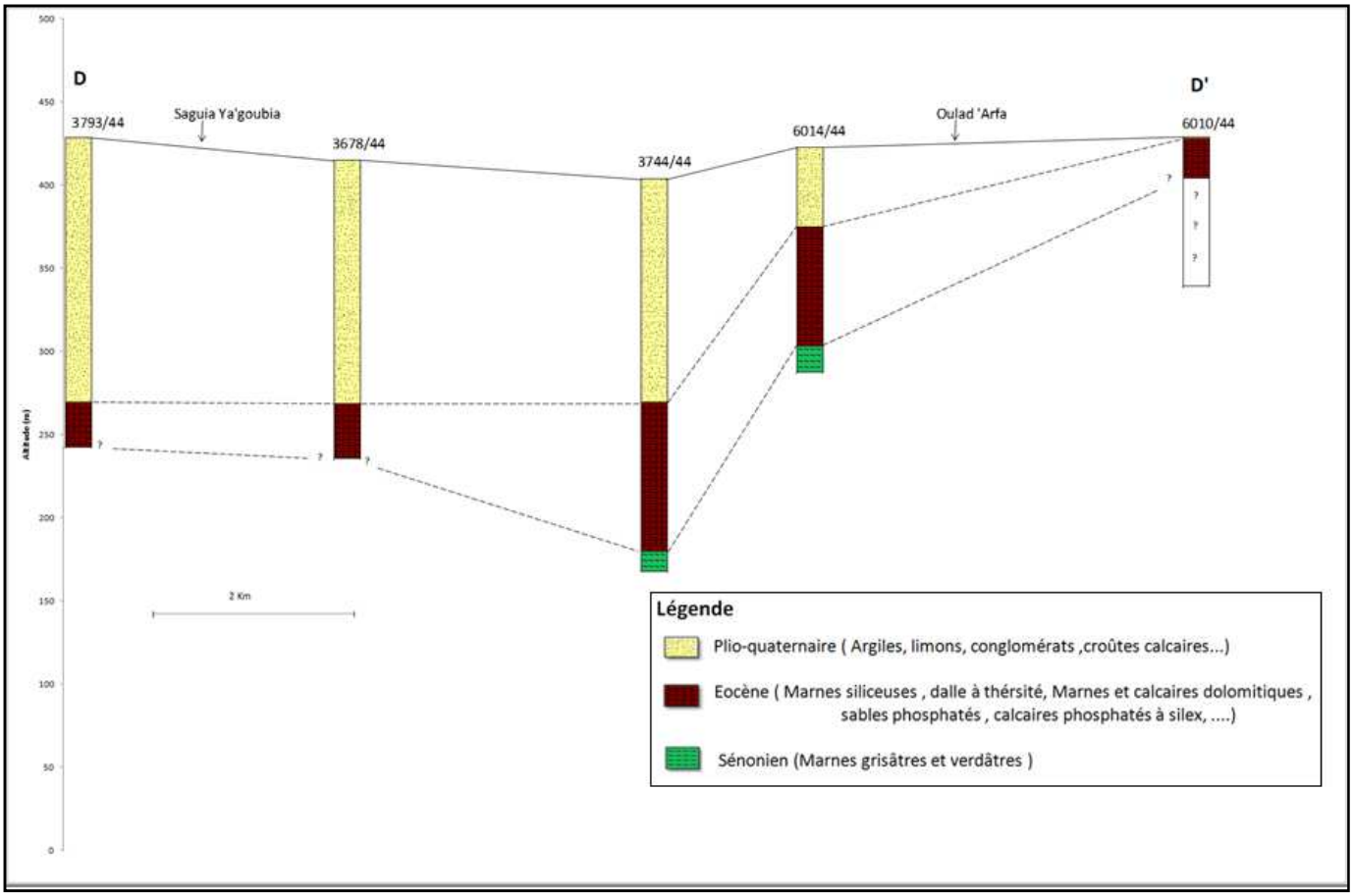


Figure 29: Profil de corrélation DD'

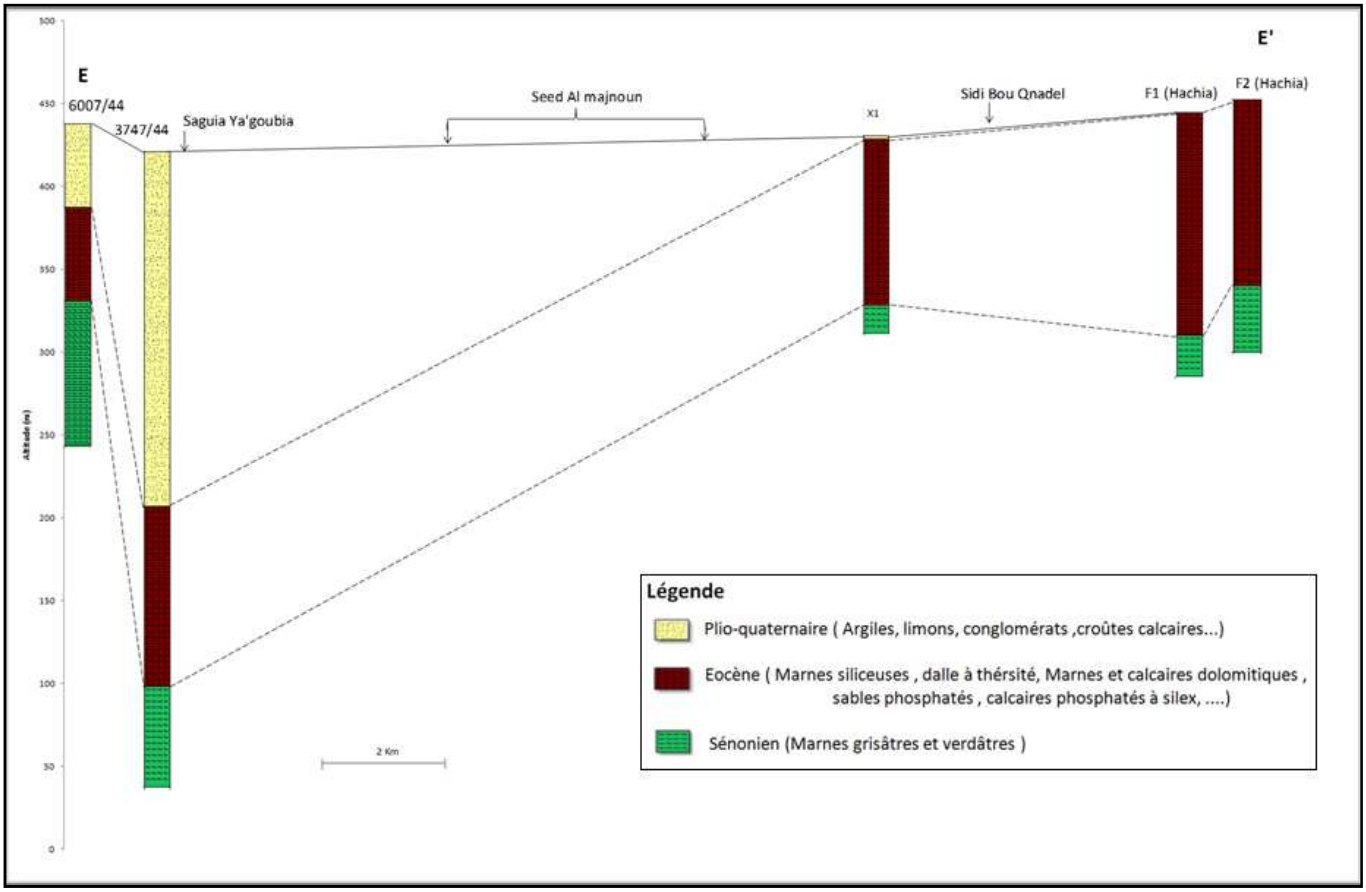


Figure 30: Profil de corrélation EE'

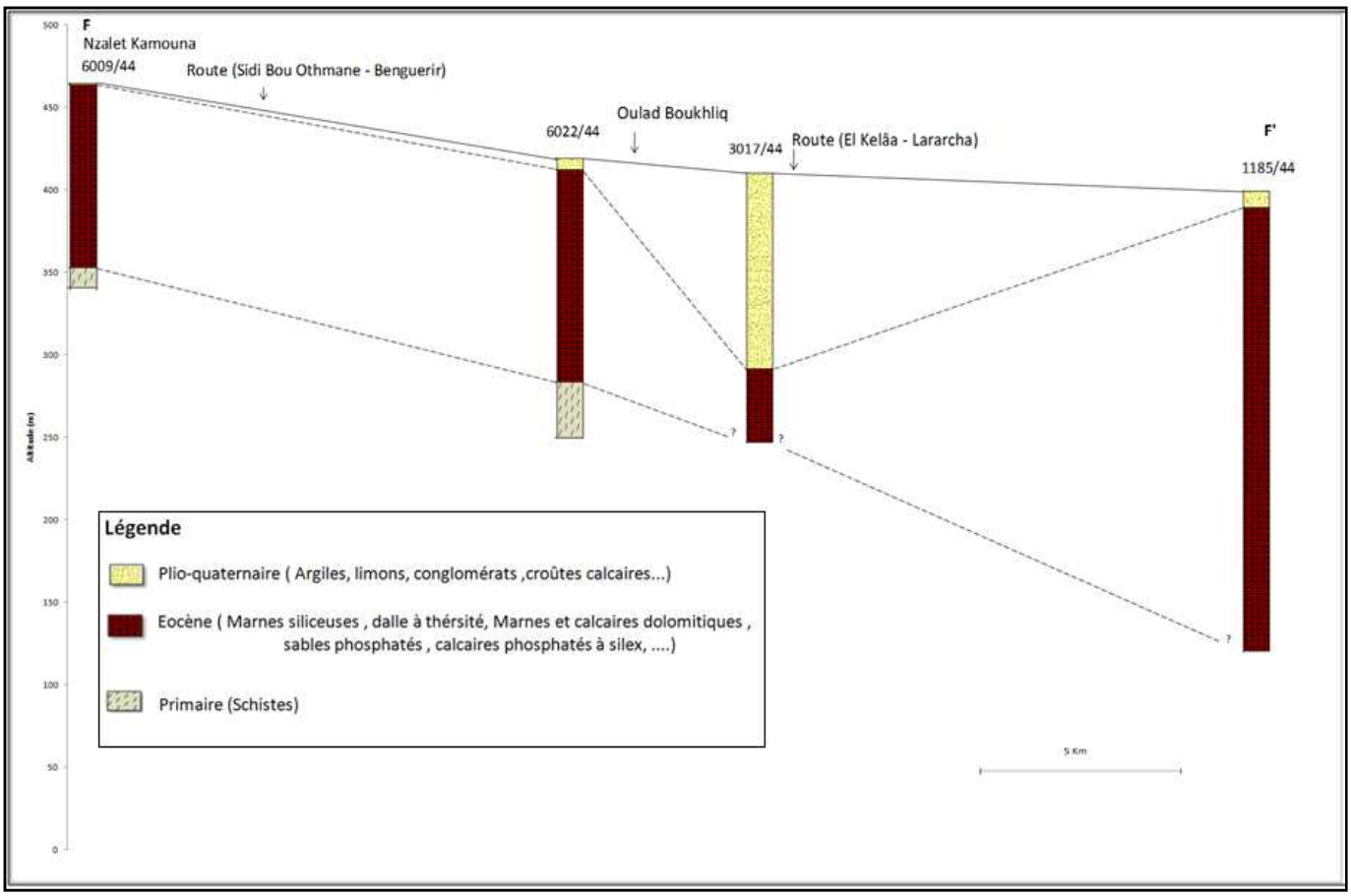


Figure 31: Profil de corrélation FF'

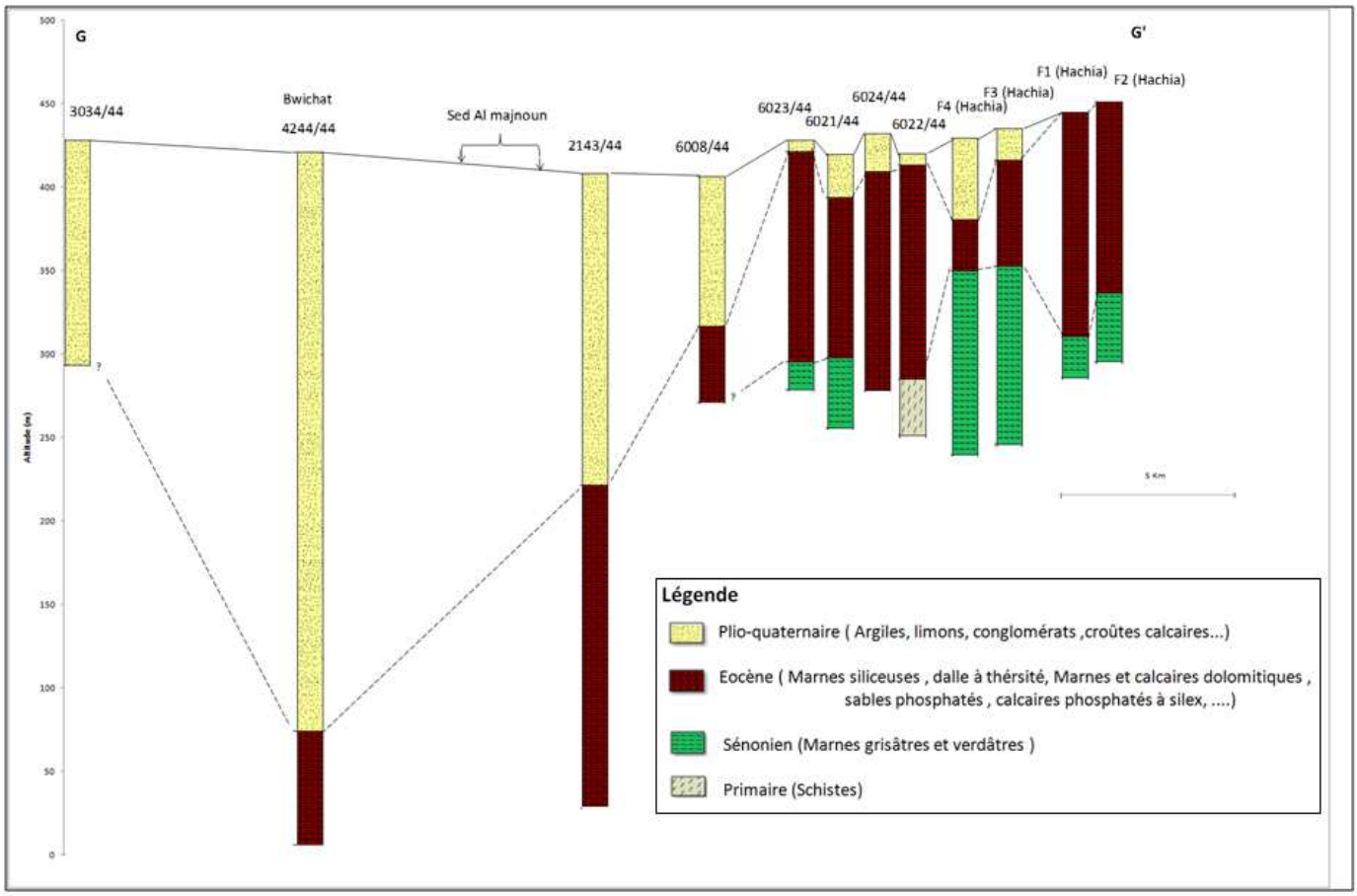


Figure 32: Profil de corrélation GG'

D'après tous les profils de corrélations établis (Figures 26, 27, 28, 29, 30, 31 et 32), on peut déduire que l'altitude de la limite supérieure du réservoir éocène diminue au centre et à l'est du bassin et augmente vers le Nord et le NW. Tandis que sa puissance croit du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est.

II.2. Limite supérieure du réservoir Eocène

La carte des isohypses de la limite supérieure de l'aquifère Eocène (Figure 34) montre généralement la remonté des formations éocènes du Sud vers le Nord et de l'Est vers l'Ouest, avec la présence de deux dépressions remarquables vers l'Est dans sa partie méridionale et dont la plus marquante se localise exactement à Bwichat, où l'altitude de la limite supérieure du réservoir Eocène atteint les 80m.

Globalement, ces mêmes résultats ont été obtenus à partir des profils de corrélations.

II .3.Limite inferieure du réservoir Eocène

La carte des isohypses de la limite inférieure (Figure 36) présente globalement la même allure que la limite supérieure. Elle indique aussi un pendage vers le Sud-Est des formations éocène, ainsi que les deux dépressions circulaires dont la plus remarquable est celle de Bwichat où la côte peut atteindre les 20m.

II.4.Puissance du réservoir Eocène

La carte des isopaques (Figure 38) définie des variations importantes de l'épaisseur du réservoir Eocène. Elle décrit en générale une diminution progressive du Nord vers le Sud allant de 120 à40m. Elle montre également que la puissance de l'aquifère est minimale au niveau de trois secteurs :

- La partie Centro-méridionale (au Sud d'Oulad Moussa) ;
- Au niveau de Bwichat ;
- Et à l'Ouest de Lararcha (Hachia).

Ces trois zones doivent donc présenter une faible productivité par rapport au reste des autres secteurs tels que Nzalet Kamouna et Nzalet al Adame, qui doivent être des zones de très bonne productivité (épaisseur de l'Eocène atteint les 120m).

III. Piézométrie et fonctionnement hydraulique de la nappe éocène

Au niveau de la Bahira centrale, un réseau de piézomètres a été implanté afin de suivre les fluctuations de la nappe.

Les piézomètres appartenant à la zone d'étude et qui captent l'éocène sont peut nombreux. Un grand nombre de ces ouvrages sont soit « coincés » soit bouchés ou fermés à clé.

Au mois d'Avril 2013 et avec les techniciens du bureau d'étude Wamane, chargé des relevés de mesures piézométriques, nous avons assisté à ces mesures dans une dizaine de piézomètres captant l'éocène. Ceci nous a permis d'établir une carte piézométrique (Figure 39).

La piézométrie varie entre 430 et 350m. Elle décrit un écoulement qui converge vers une dépression allongée au centre de la zone d'étude où la piézométrie atteint les 350m (Figure 40) avec un gradient hydraulique faible par rapport aux autres secteurs tels que Nzalet Kamouna, Oulad Rahmouni et Tnine Mharra qui représentent un fort gradient hydraulique.

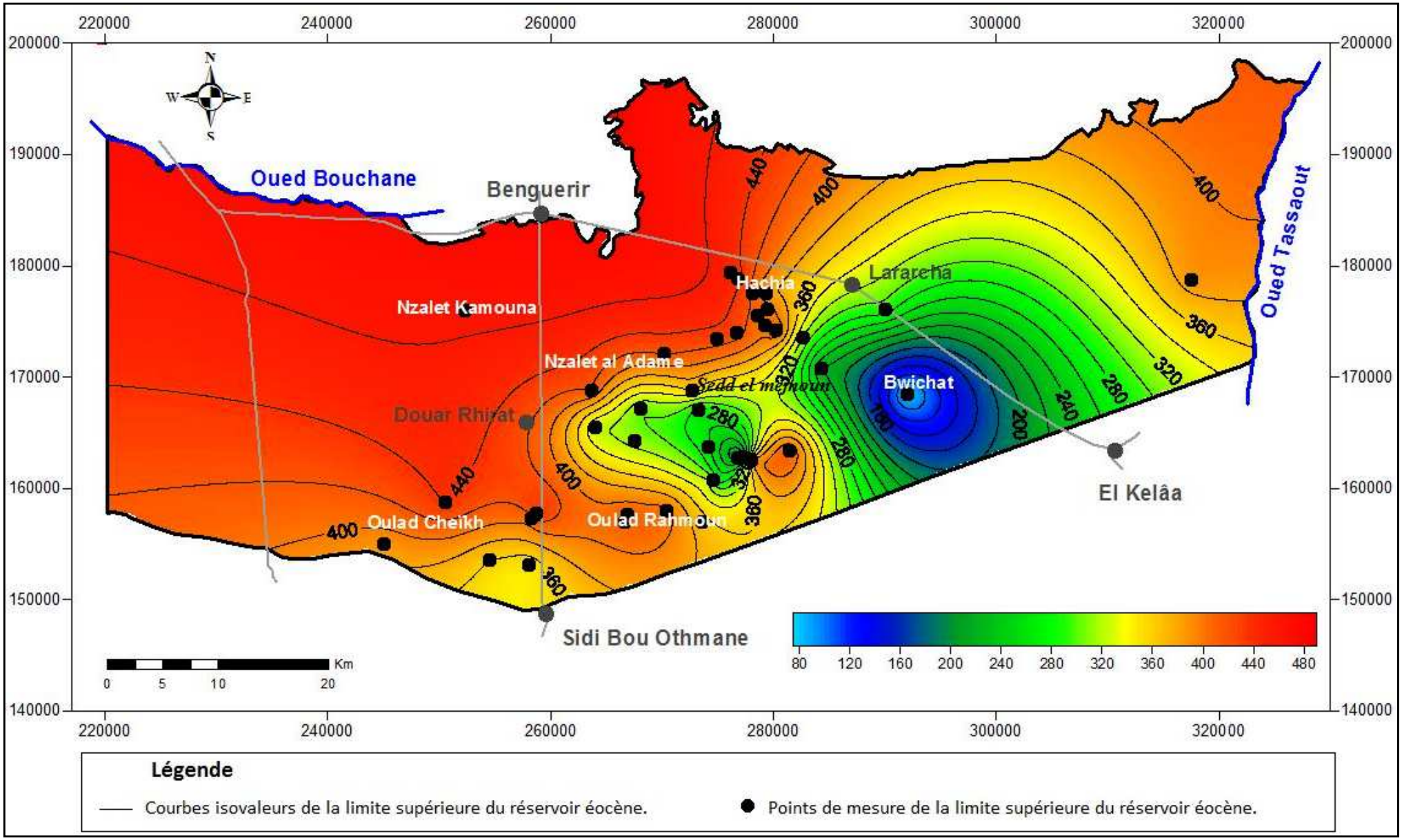


Figure 33: Carte des isohypses de la limite supérieure du réservoir Eocène.

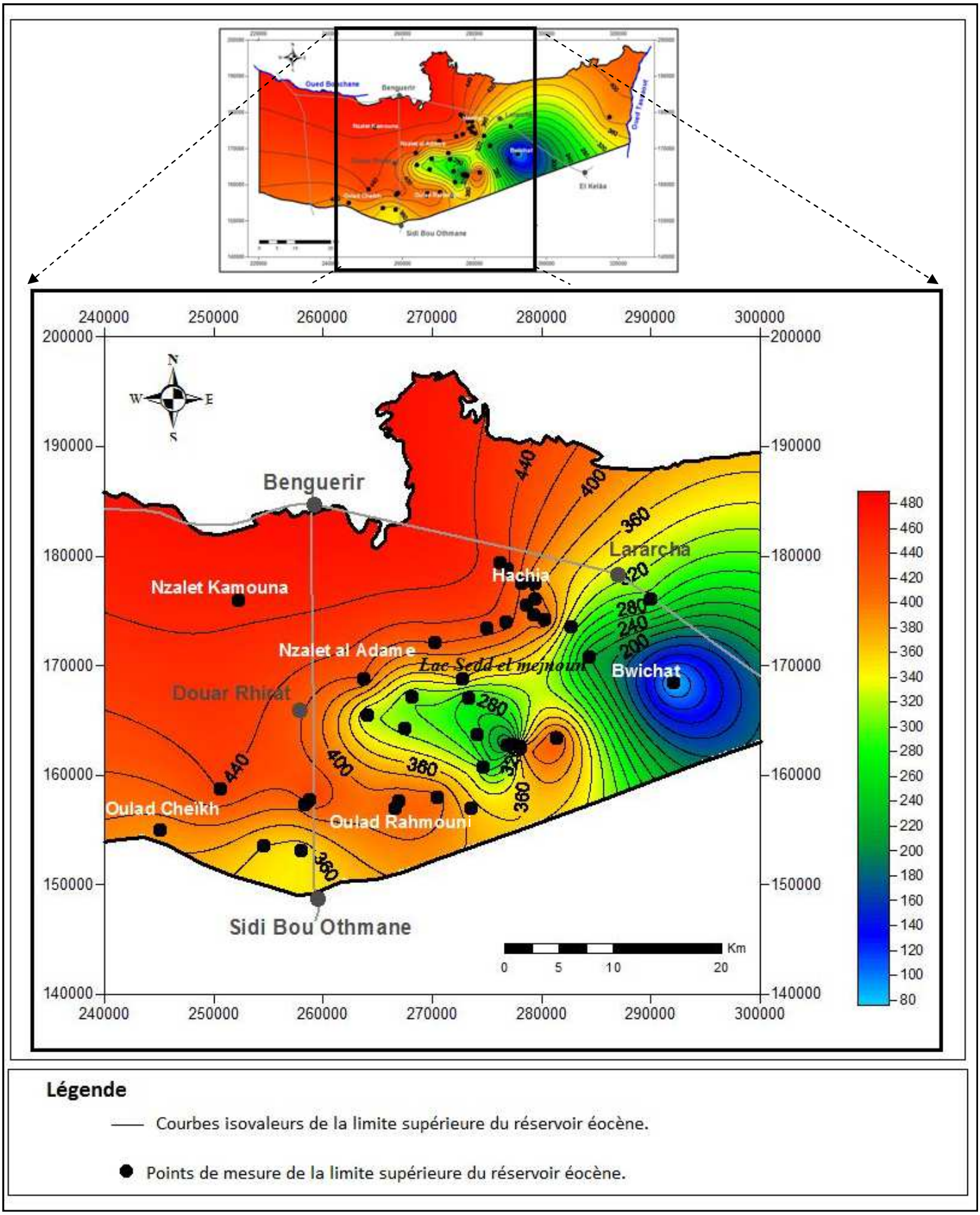


Figure 34: Carte des isohypses de la limite supérieure du réservoir Eocène

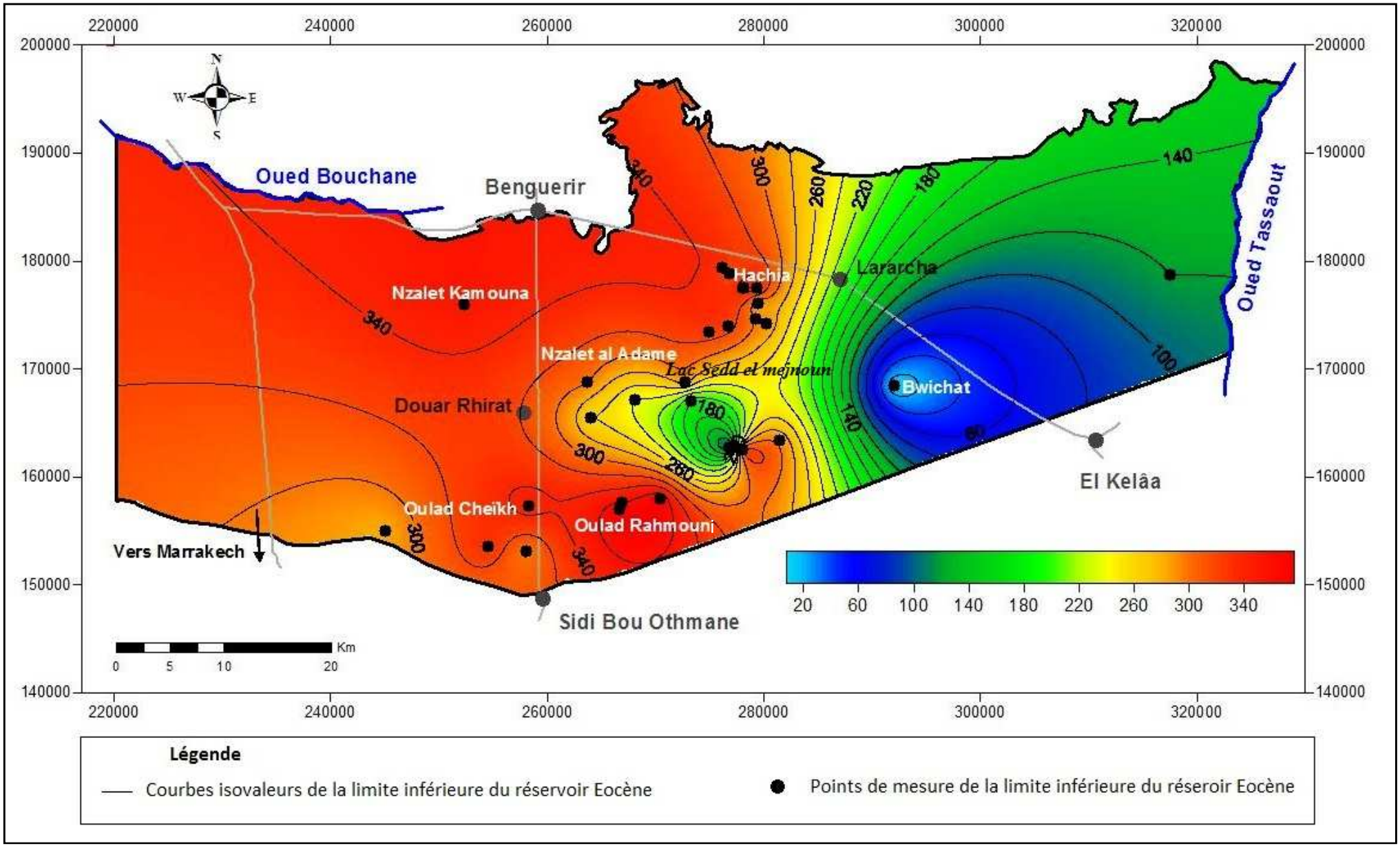


Figure 35: Carte des isohypses de la limite inferieure du réservoir Eocène

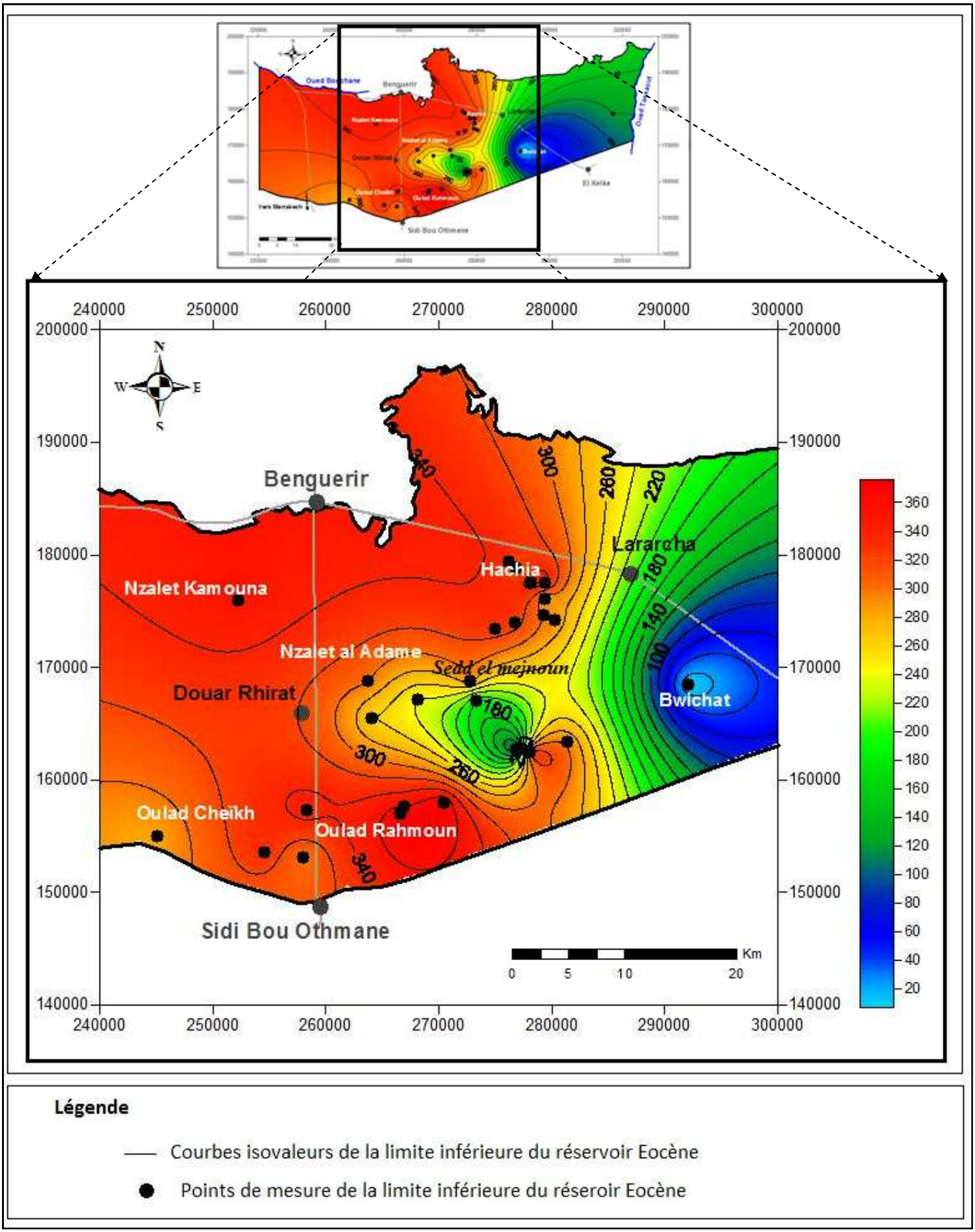


Figure 36: Carte des isohypses de la limite inferieure du réservoir Eocène.

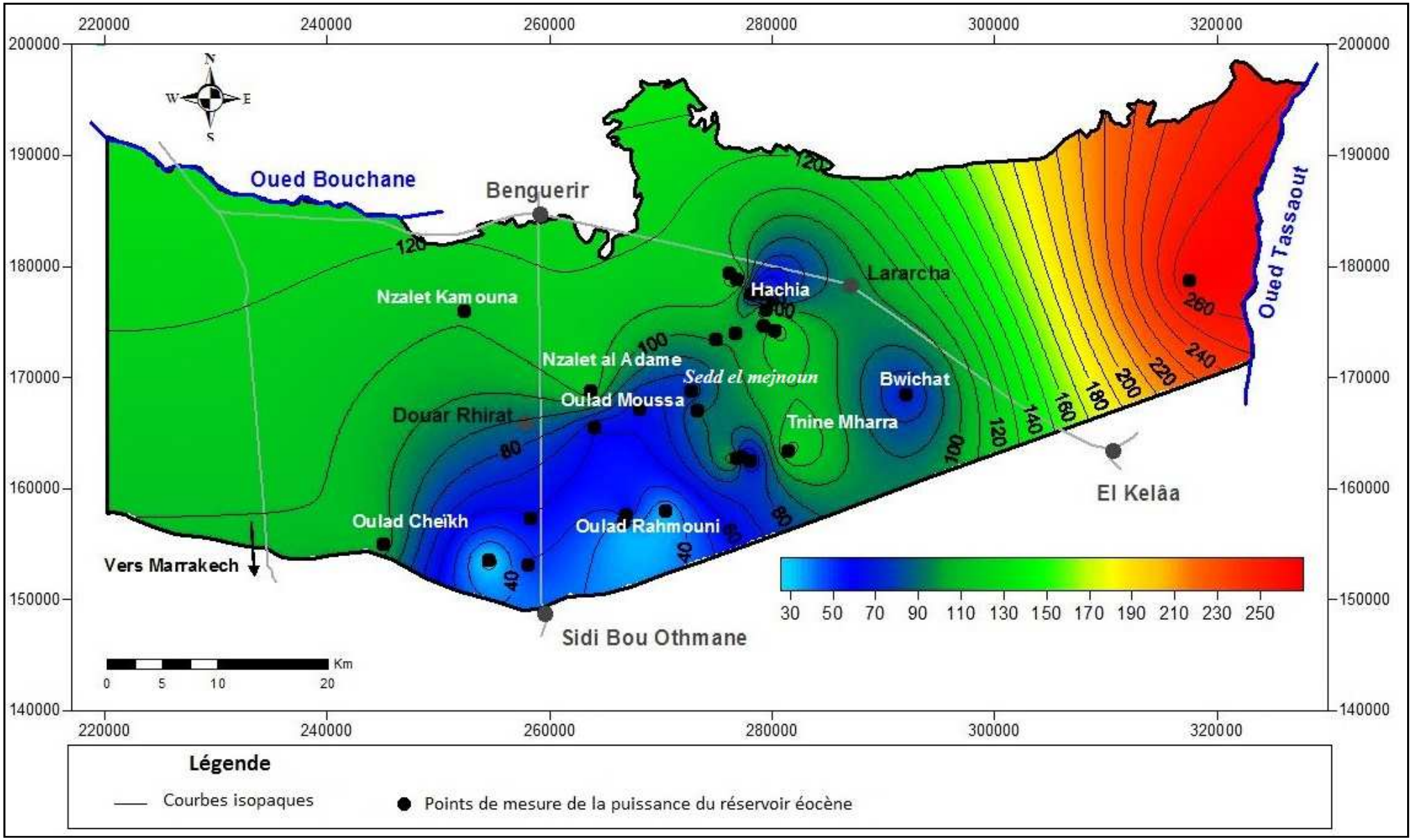


Figure 37 : Puissance du réservoir Eocène en mètre

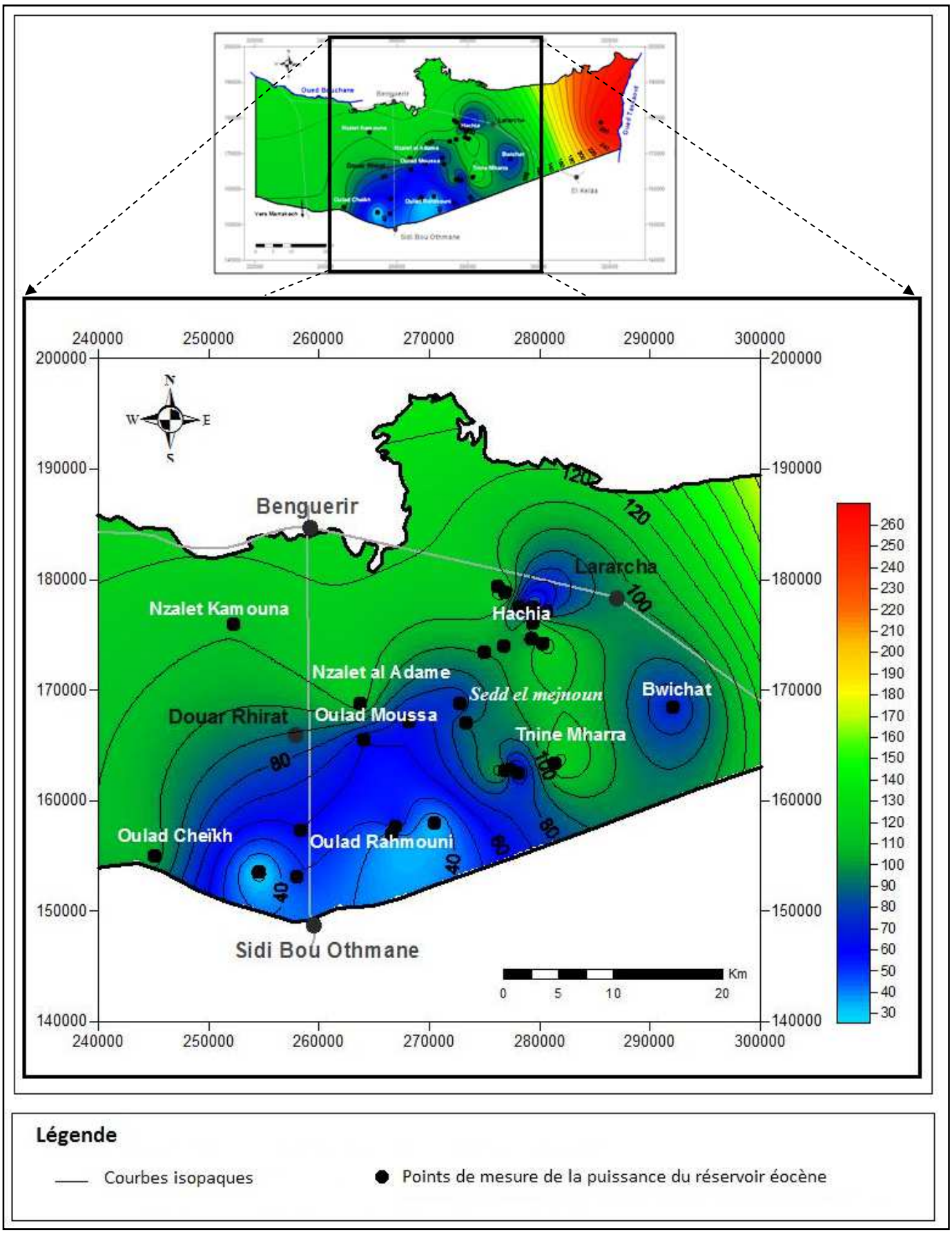


Figure 38: Puissance du réservoir Eocène en mètre.

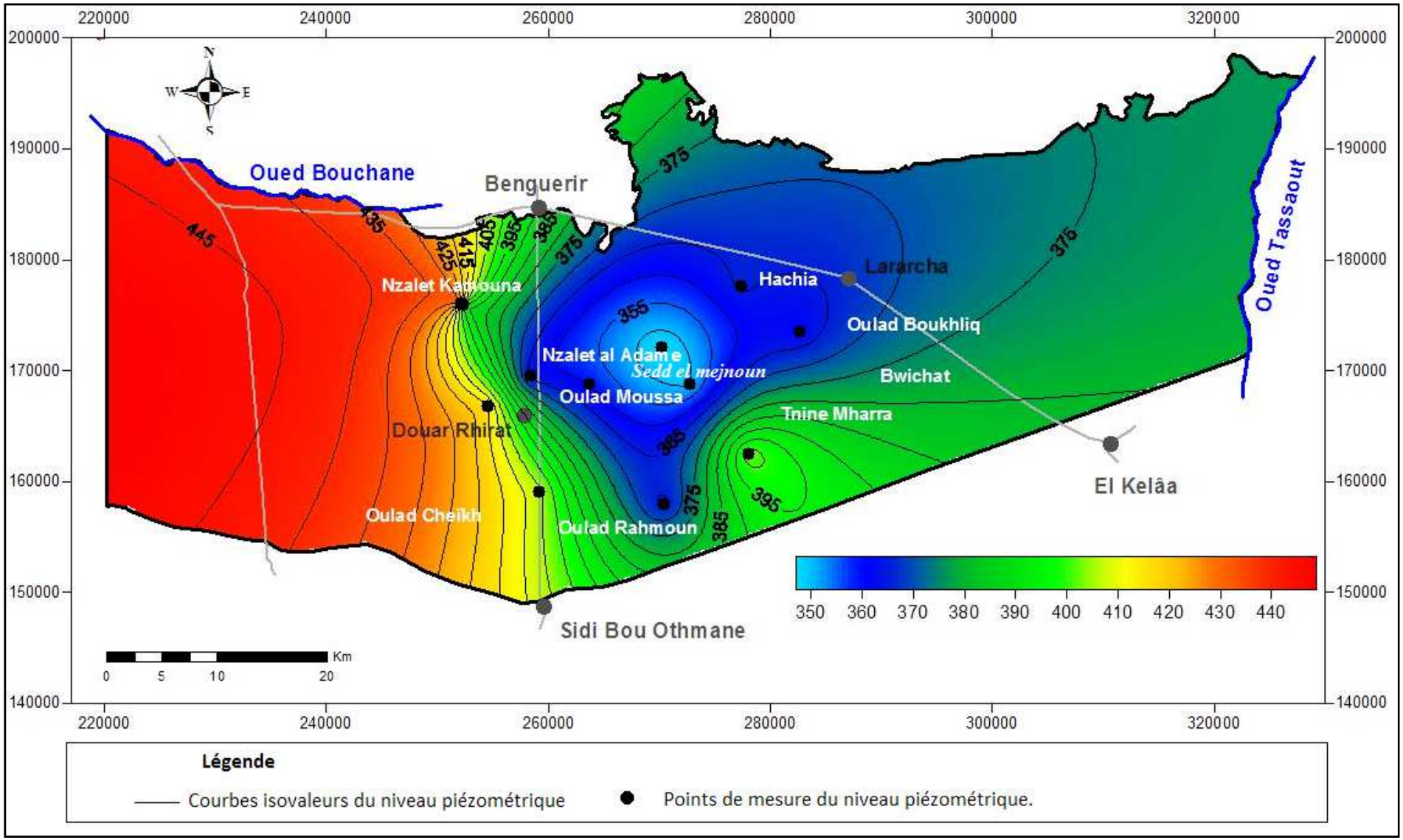


Figure 39: Piézométrie du mois d'avril 2013.

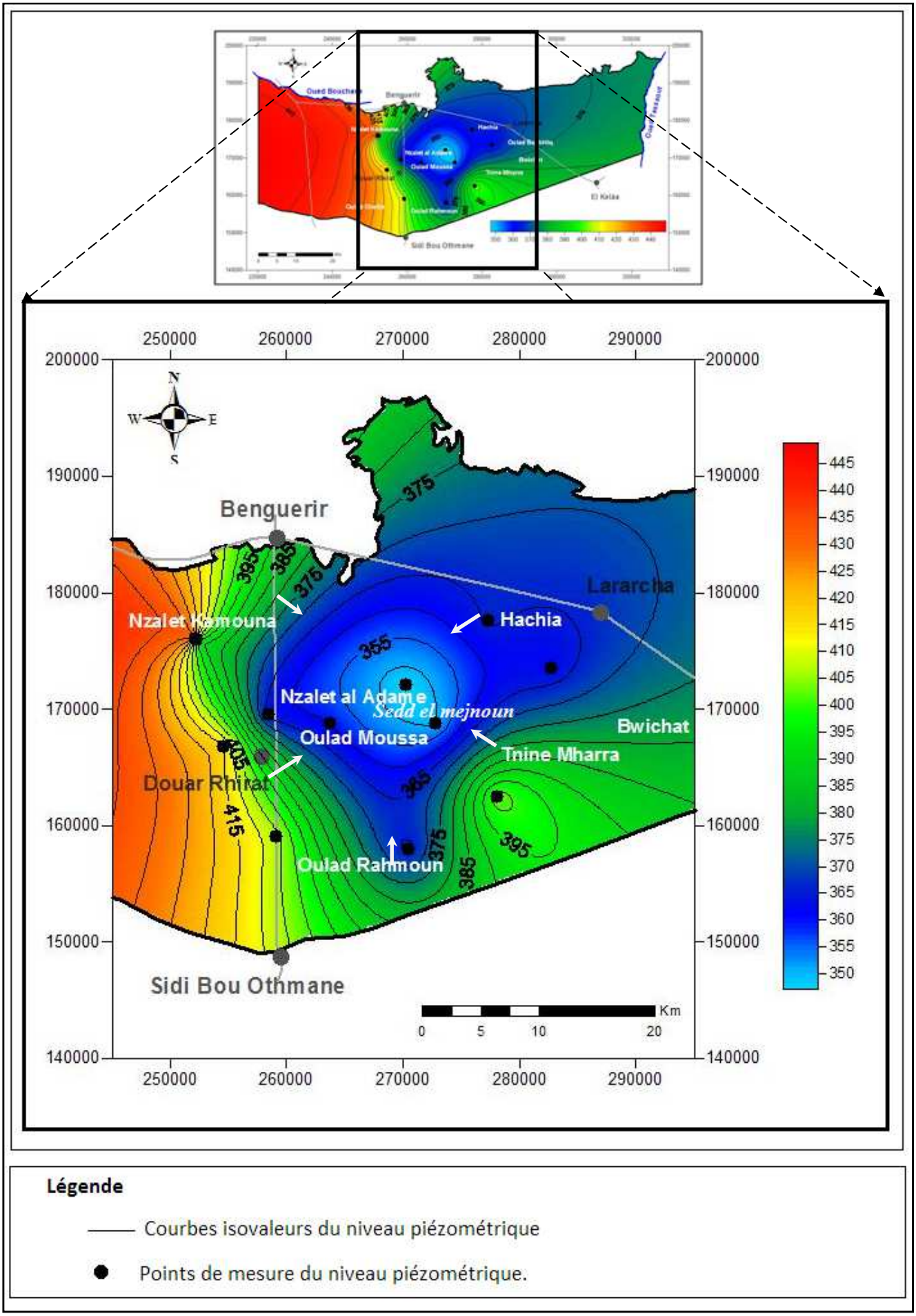


Figure 40: Piézométrie du mois d'avril 2013

IV. Les fluctuations piézométriques

Le suivi de l'évolution des ressources en eau en terme de quantité est indispensable afin de bien gérer ces ressources précieuses et orienter leur exploitation future d'une façon raisonnable.

Pour le suivi d'évolution de la piézométrie de la nappe éocène, on dispose d'un historique de piézométrie de trois points (Figure 41) dont les caractéristiques figurent au niveau du tableau 6 ainsi que des données piézométriques d'une dizaine de points couvrant la période entre 2010 et 2013.

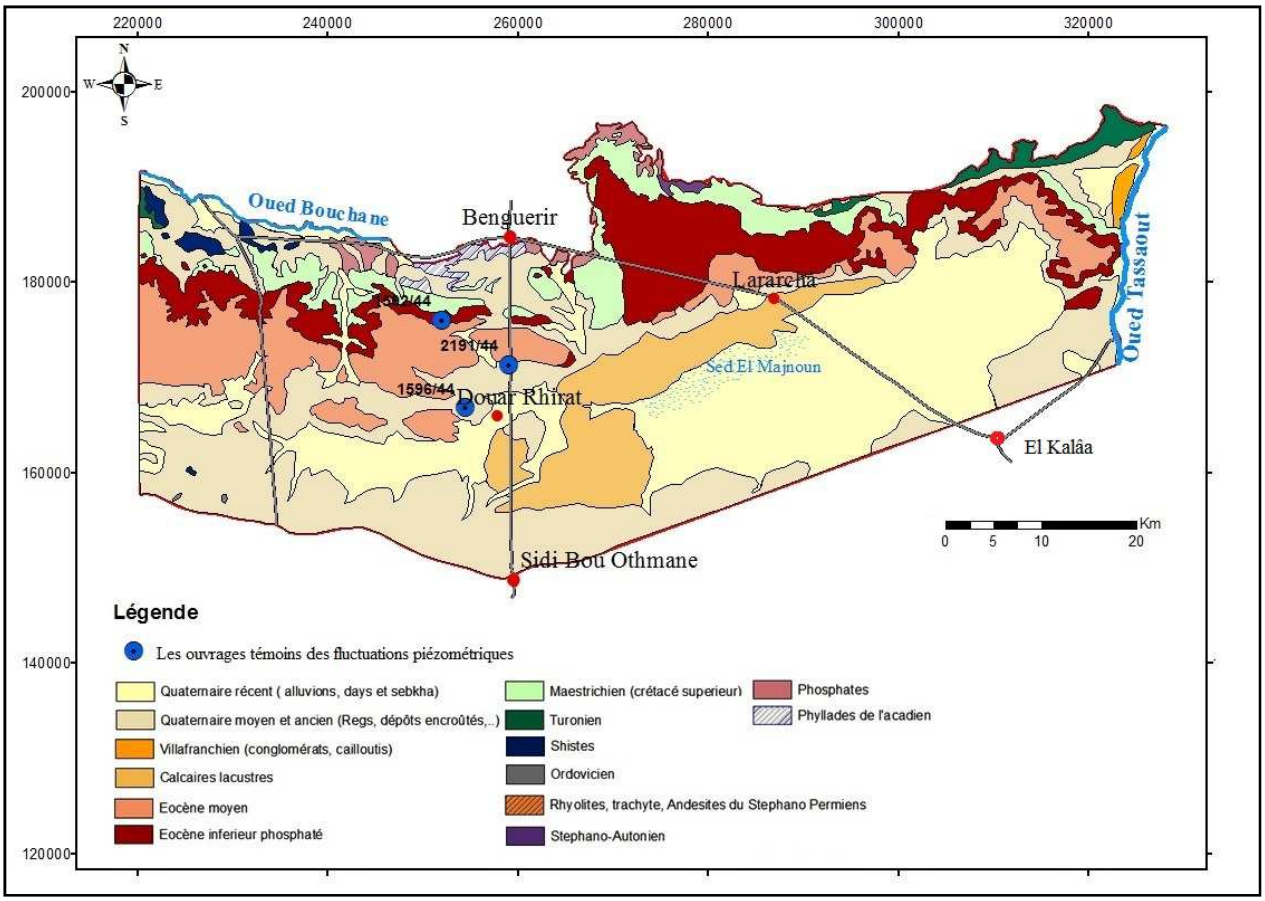


Figure 41: Situation des ouvrages témoins des fluctuations piézométrique sur la carte géologique de la Bahira centrale.

IRE	Nature	X (m)	Y (m)	Z (m)	Période d'observation
1592/44	Forage	252 073	176 081	480	1985-2013
1596/44	Puits	254 533	166 839	452	1985-2013
2191/44	Piézomètre	259 014	171 385	443	1985-2010

Tableau 6 : Caractéristiques des ouvrages témoins des fluctuations piézométriques dans la Bahira centrale.

Le traitement des données des trois points représentés par le tableau 6 en élaborant des graphes a permis de dégager les résultats suivants :

Au niveau de l'ouvrage 1592/44 (Figure 42), la profondeur d'eau par rapport au sol varie entre les 50 et les 60m avec une diminution considérable en 2009. Cela peut être expliqué par les précipitations importantes qu'a connu la région durant l'année 2008/2009 (Figure 6).Ce qui a conduit à une augmentation du niveau piézométrique. L'influence rapide des précipitations sur la piézométrie de ce forage est due à l'affleurement des formations Eocènes à ce niveau.

Pour l'ouvrage 1596/44 (Figure 42), la profondeur d'eau varie entre 30et 35m à l'exception des années 2005,2011 et 2013.où la profondeur d'eau dépasse les 35m. Cette diminution du niveau piézométrique peut être expliquée par la forte exploitation en absence d'alimentation puisque les années 2004/2005 et 2011/2012 ont enregistrées des faibles précipitations.

Le piézomètre 2191/44 (Figure 42) décrit une chute progressive du niveau piézométrique de la nappe Eocène qui a connu une baisse de presque 1m par an puisqu'en allant de 1985 à 2010 la profondeur d'eau a augmenté de 20m.

Cette baisse importante que la nappe a connue durant les deux dernières décennies est engendrée principalement par l'exploitation intensive de la nappe que ce soit pour l'irrigation ou bien l'alimentation en eau potable.

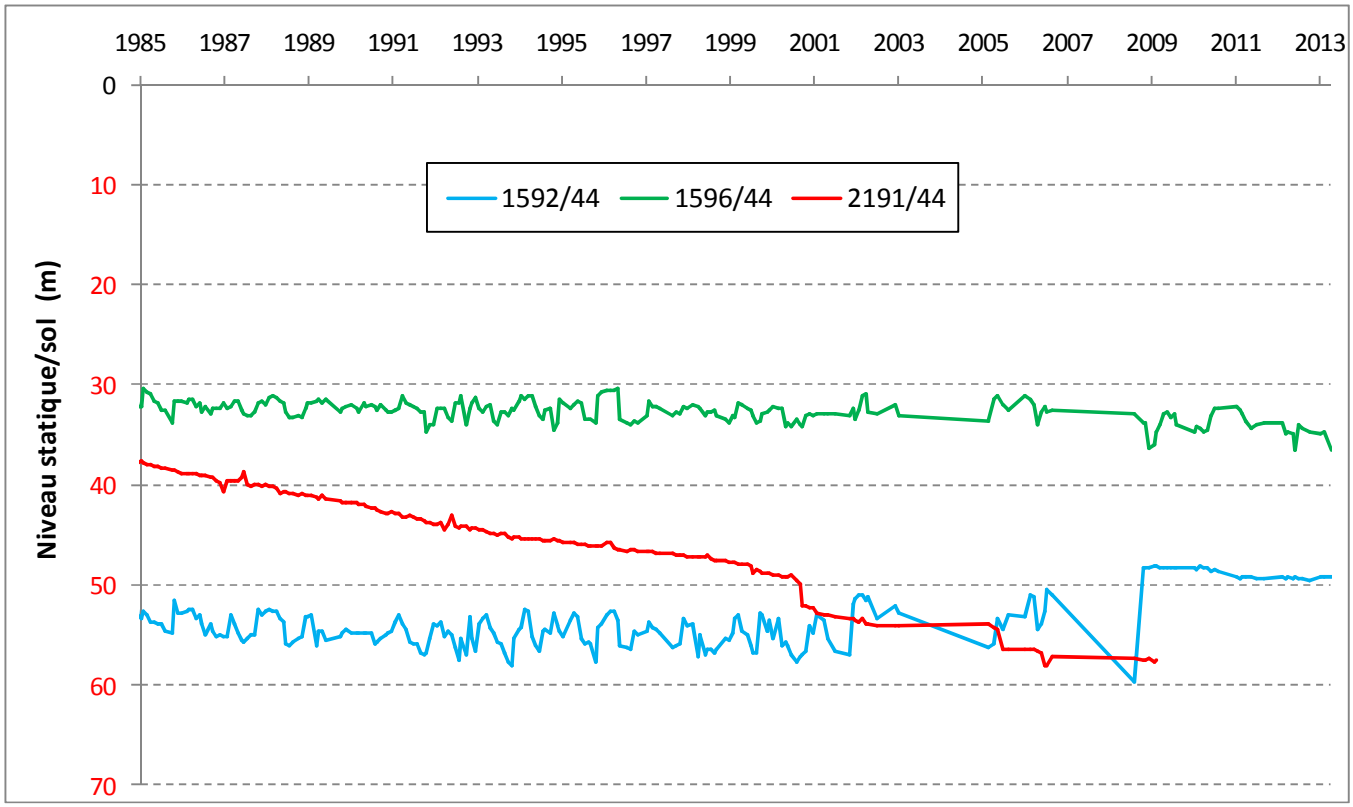


Figure 42: Evolution piézométrique au niveau des ouvrages IRE 1592/44, 1596/44 et 2191/44.

Le traitement des données couvrant la période entre 2010 et 2013 a permis l'établissements des cartes piézométriques du mois d'avril 2010,2011 et 2012 afin de les comparer avec la carte piézométrique élaborée du mois d'avril2013

Toutes ces cartes établies (Figures 43, 44, 45 et 46) décrivent le même fonctionnement hydraulique à l'exception de la carte piézométrique de l'année 2010 qui montre une différence au niveau de la partie Sud-est dans les deux secteurs Tnine Mharra et Oulad Rahmouni. Cette différence ne doit pas être prise en considération vu qu'elle est due à l'absence des valeurs piézométriques au niveau de ces deux secteurs. (Figure 47)

En ce qui concerne la variation de la piézométrie, les cartes piézométriques précédemment mentionnées enregistrent une baisse d'une année à l'autre dans des différents secteurs et qui atteint en moyenne 3 m entre 2010 et 2011, 1 m entre 2011 et 2012 et entre 2012et 2013. (Tableau 21, annexe IV).

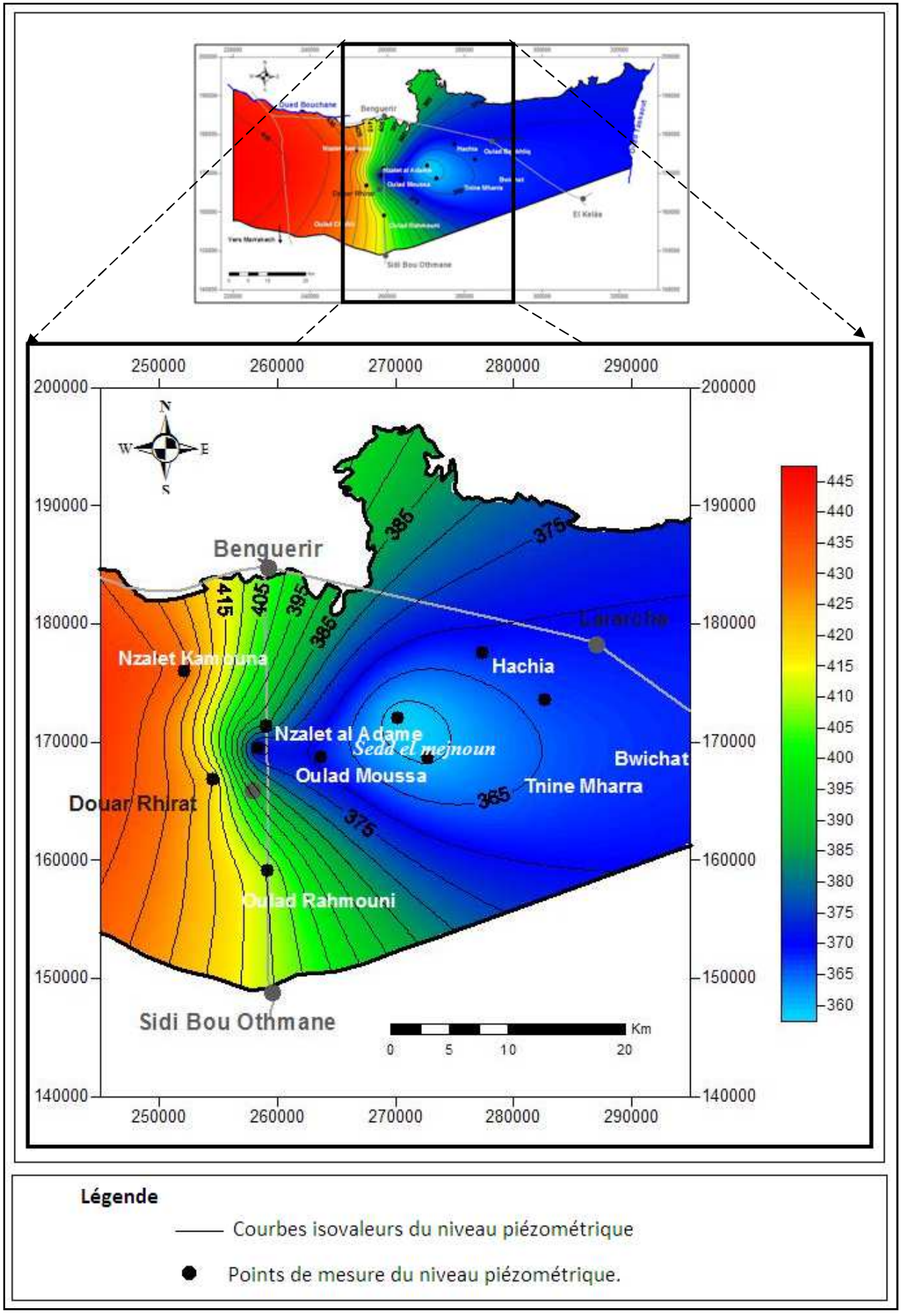


Figure 43: Piézométrie du mois d'Avril 2010

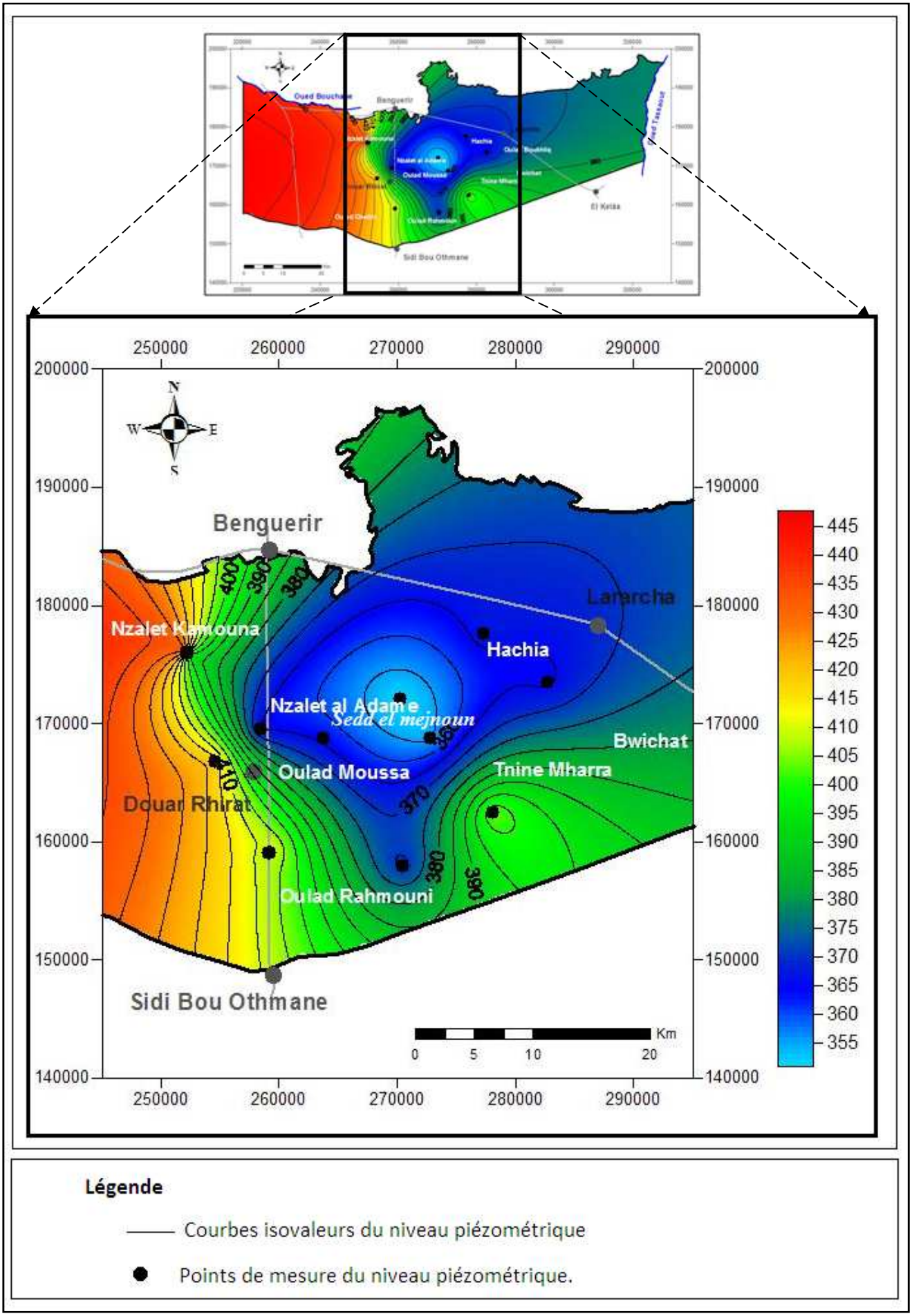


Figure 44: Piézométrie du mois d'Avril 2011

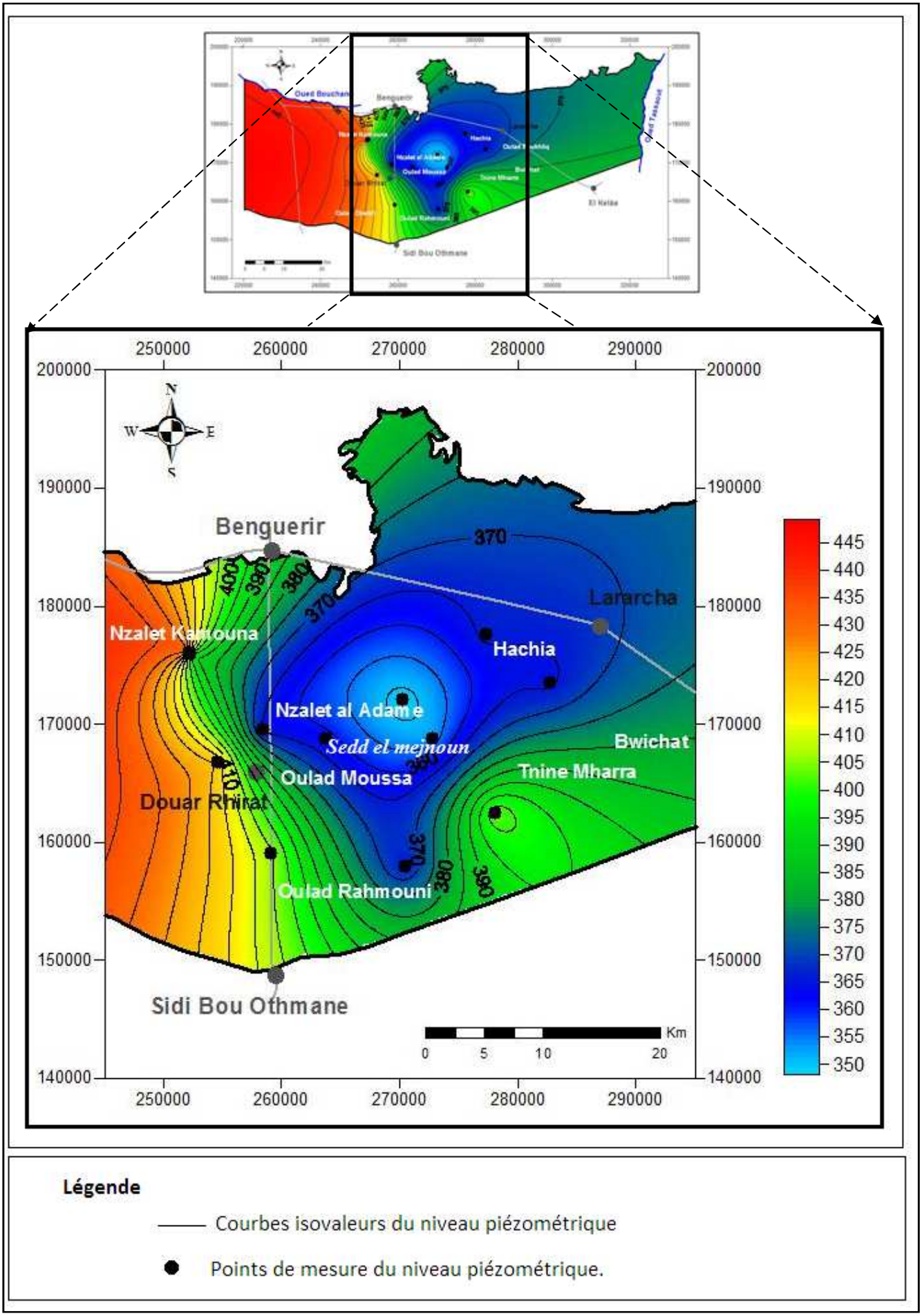


Figure 45: Piézométrie du mois d'Avril 2012

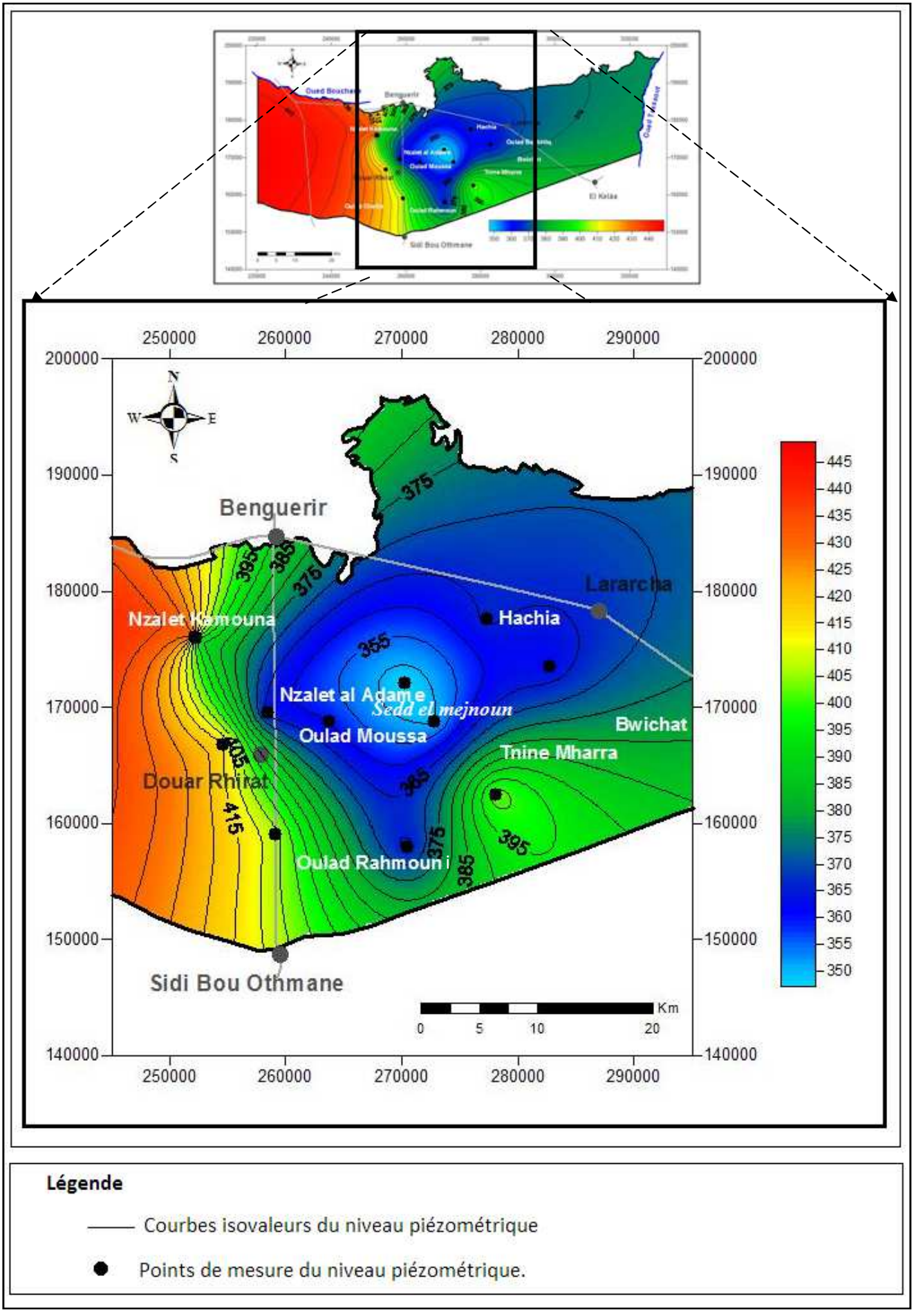


Figure 46: piézométrie du mois d'Avril 2013

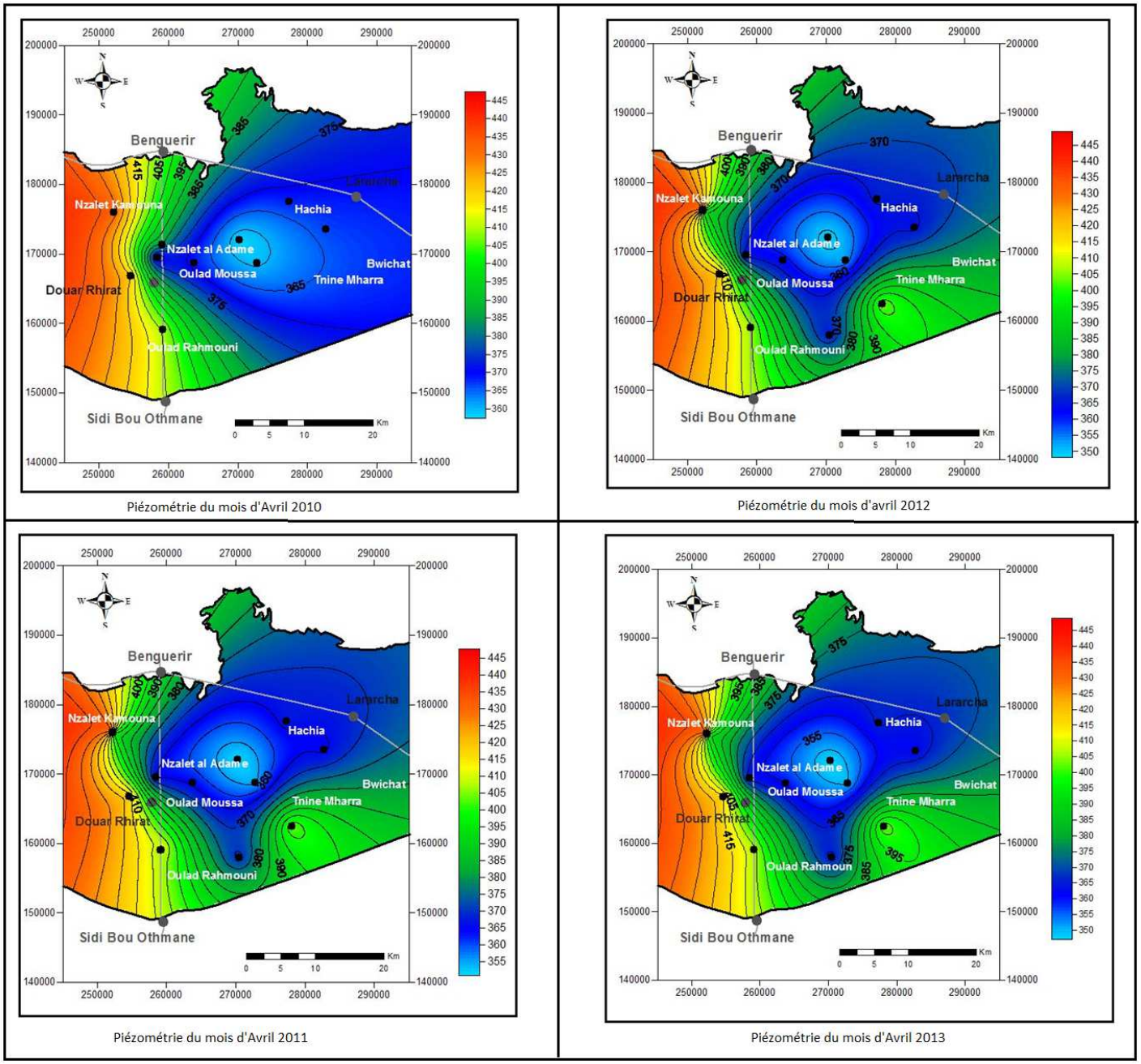


Figure 47:Les cartes piézométriques

Les cartes des rabattements (Figures 48, 49 et 50) montrent que :

- Entre avril 2010 et avril 2011, les rabattements les plus importants sont localisés dans la partie centrale de la zone d'étude. Où ils atteignent les 6m. Tandis que les plus faibles rabattements sont de l'ordre de 1,4m. ils sont enregistrés dans la partie septentrionale au niveau des deux secteurs Nzalet Kamouna et Lararcha. (Figure 48)
- L'année 2011/2012 a enregistré des rabattements qui atteignent les 3m dans la partie centrale et Centro-méridionale et des rabattements qui ne dépassent pas 0,4m à l'Est et à l'ouest de la zone d'étude. (figure 49)
- L'année 2012/2013 se caractérise par des rabattements qui varient entre 0,1 et 2,8m.

Les rabattements élevés s'étendent sur toute la partie centrale de la zone et les faibles rabattements s'étendent au Sud et au Nord. (Figure 50)

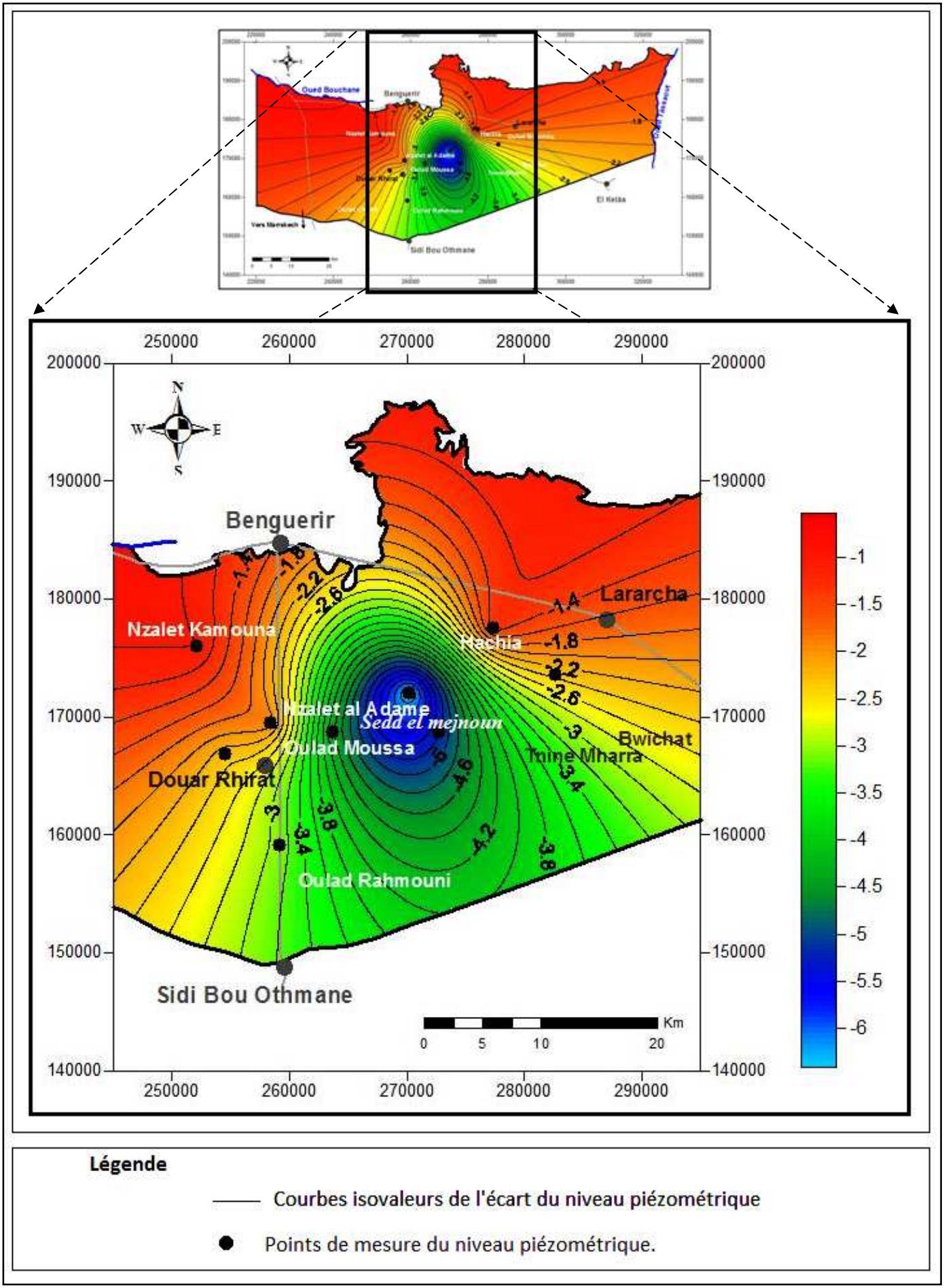


Figure 48: les rabattements entre 2010 et 2011en m.

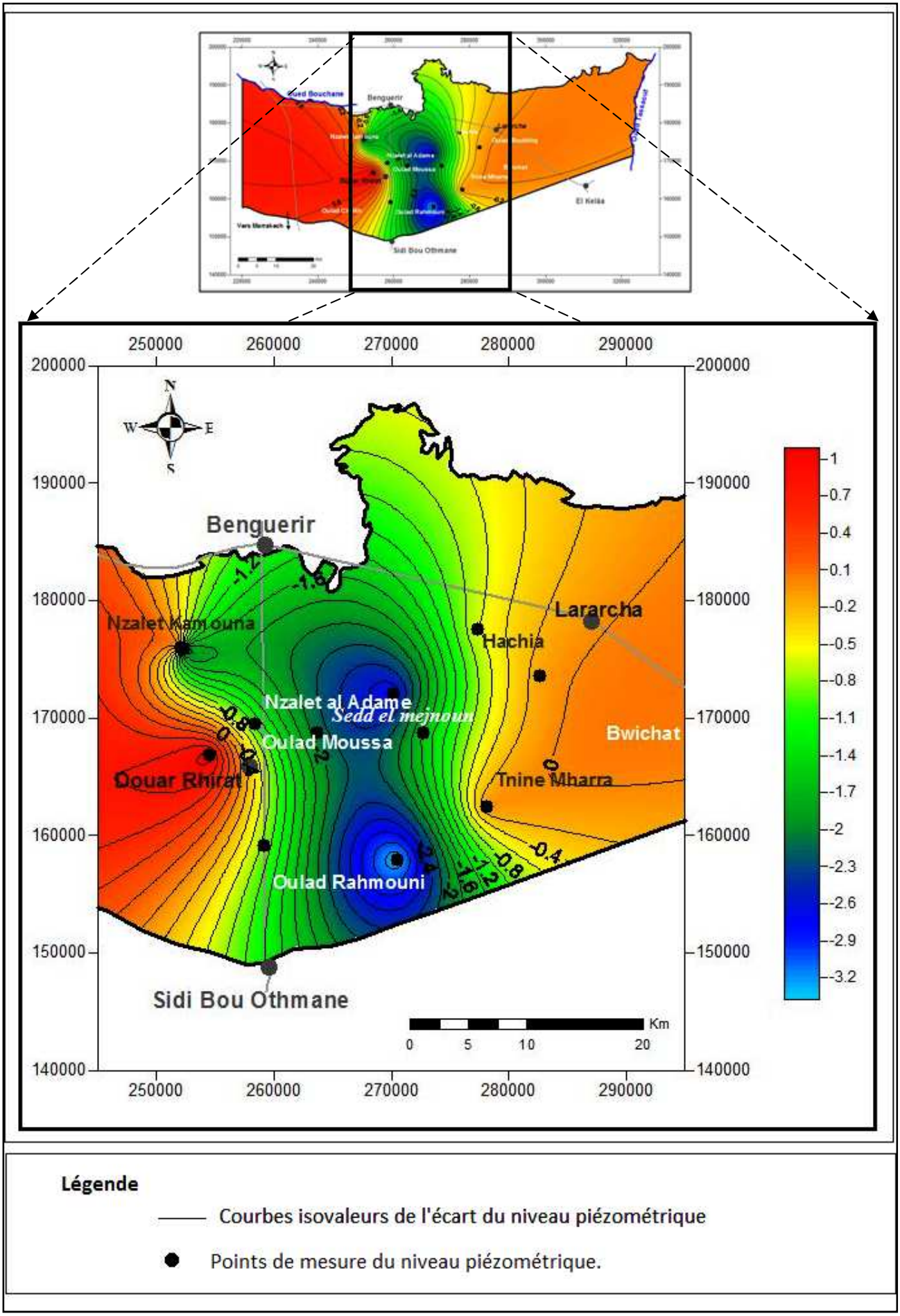


Figure 49: Les rabattements entre 2011 et 2012 en m.

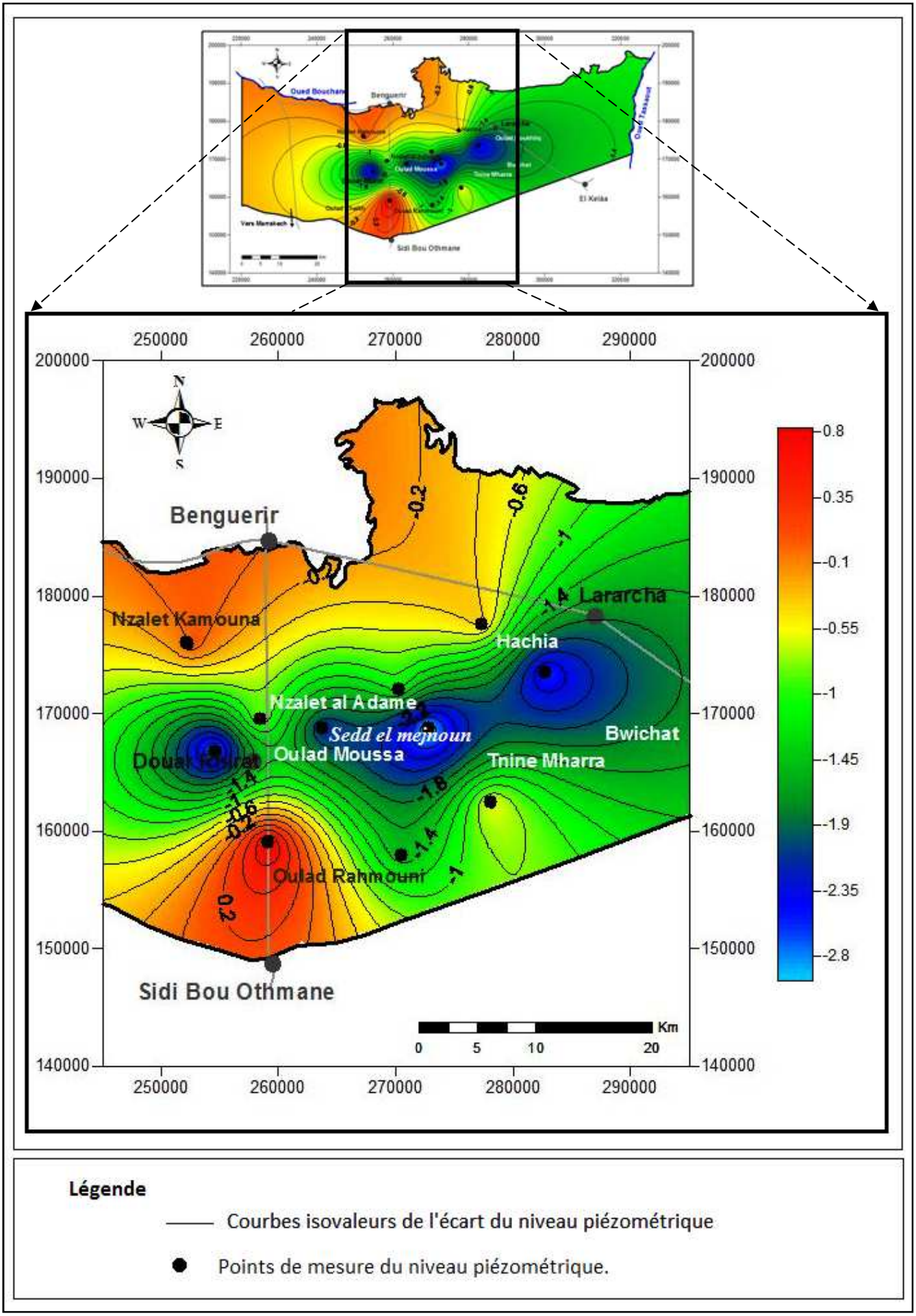


Figure 50:Les rabattements entre 2012 et 2013en m.

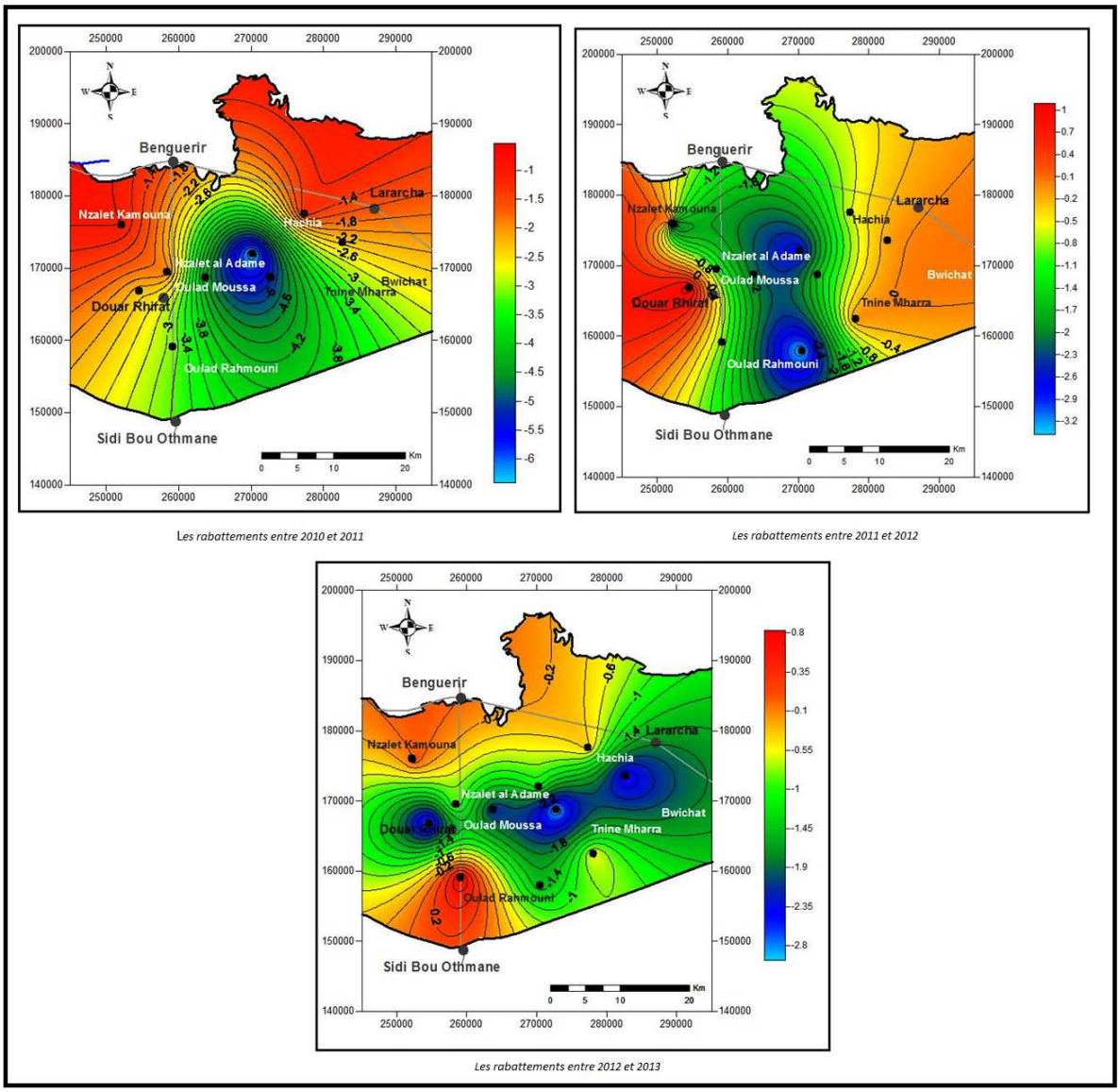


Figure 51: Les cartes des rabattements

V. Paramètres hydrodynamiques de la nappe Eocène

Les paramètres hydrodynamiques d'un aquifère concernent essentiellement la perméabilité, la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement qui donnent une idée sur la circulation des eaux et sur la productivité de cet aquifère.

Au niveau de la Bahira centrale, des essais de pompages ont été réalisés par l'ABHT et leurs interprétations ont permis la détermination des transmissivités et des coefficients d'emmagasinement.

Les forages ayant fait l'objet d'essais de pompage sont concentrés au centre de la zone d'étude. Ceci nous a obligé de limiter nos interprétations au secteur central où se concentrent les points de mesure (Figure 52 et 53).

La carte sur laquelle figurent les valeurs de transmissivité (Figure 52) montre la variation de ce paramètre d'un secteur à l'autre. Les valeurs maximales sont enregistrées au secteur de Nzalet al Adam tandis que les valeurs minimales sont enregistrées au niveau du secteur de Tnine Mharra. De ce fait on peut dire qu'il y a une augmentation de transmissivité du SE vers le NW.

La carte sur laquelle figurent les valeurs du coefficient d'emmagasinement (Figure 53) décrit également une augmentation du SE vers le NW de ce dernier paramètre qui passe de $2{,}4.10^{-4}$ au niveau du secteur de Tnine Mharra à $2{,}8.10^{-2}$.près du secteur de Nzalt al Adam.

De ce fait, le secteur qui présente la zone la plus productive est le secteur de Nzalet al Adam

Cette répartition spatiale des paramètres hydrodynamiques pourrait être expliquée par la différence de l'épaisseur des formations Eocènes qui diminue en se dirigeant du Nord vers le Sud, mais aussi par la variation de la lithologie d'un secteur à l'autre.

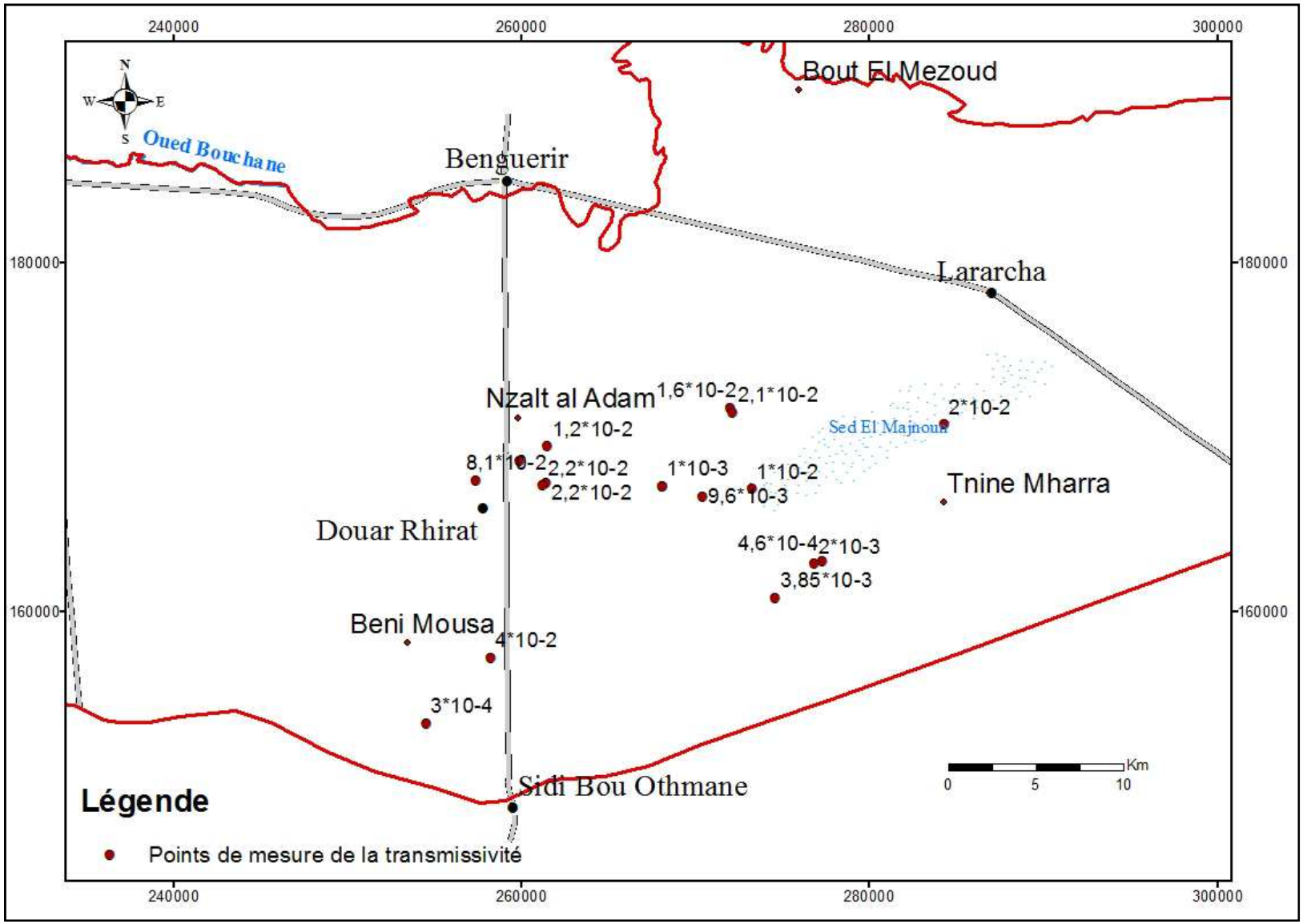


Figure 52: Transmissivité du réservoir Eocène en m2/S

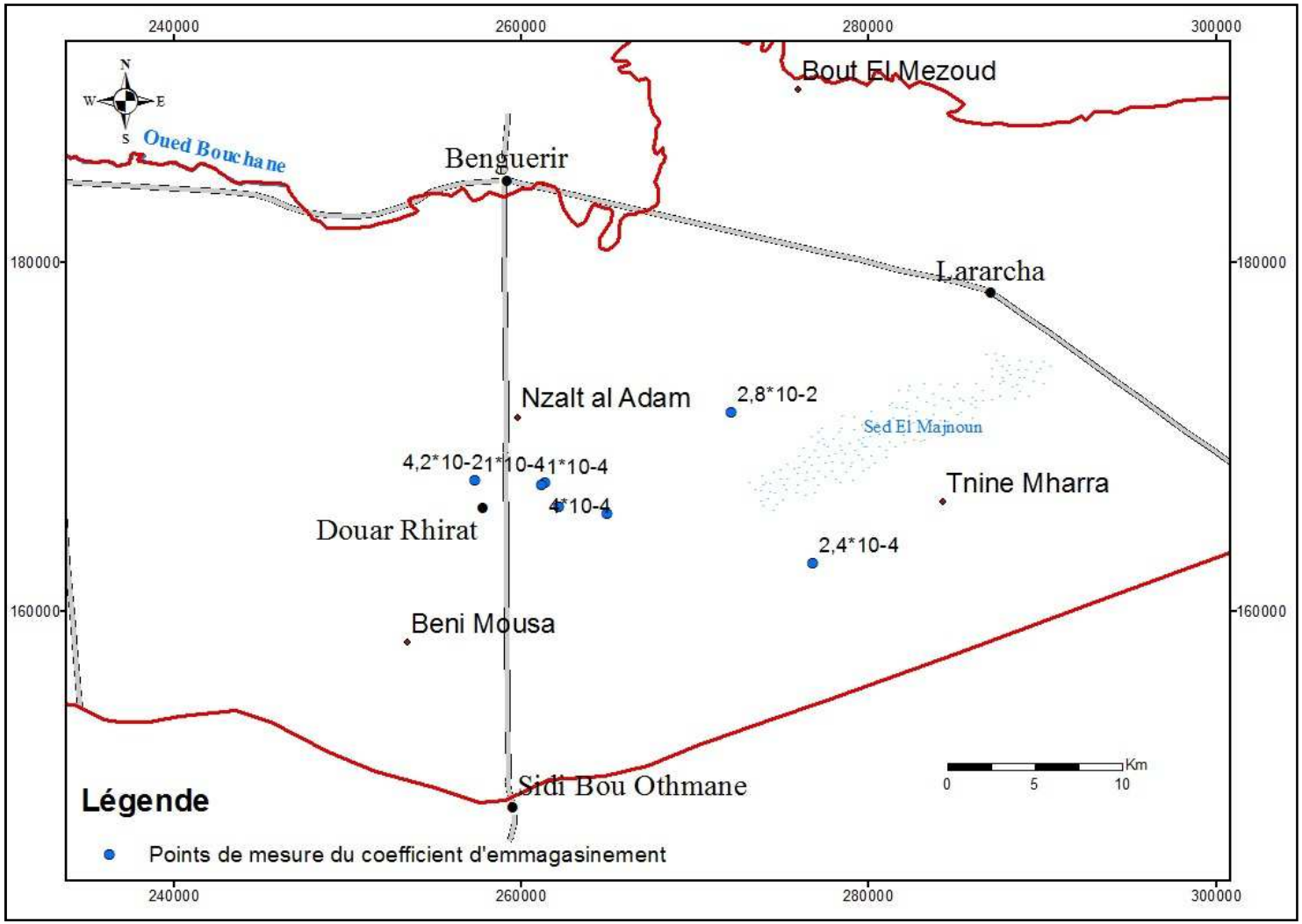


Figure 53: Coefficient d'emmagasinement du réservoir Eocène

VI. Qualité de l'eau

Après avoir décrit le fonctionnement hydraulique de la nappe. Il est nécessaire d'étudier la qualité de ses eaux.

Les analyses réalisées par LPEE en 2011, sur une dizaine de points captant l'Eocène (Figure 54), et dont les résultats ont permis de dégager une idée sur la qualité globale des eaux de cette nappe. Le calcul de la balance Ionique (entre 1 et 7%) montre que la qualité de ces analyses est bonne à admissible.

VI.1. La conductivité électrique et le Résidu sec à 105°C

La carte des conductivités (Figure 55) et des résidus secs (figure 56), montre que les eaux ne dépassent pas les normes de potabilité (annexe IV).

Les secteurs Tnine Mharra et Nord-est de Nzalet al Adame, présentent des eaux « fortement » minéralisées (1650<CE<1900 µS/cm et 1120<R<1240 mg/l).

La variation de la minéralisation d'un secteur à autre s'expliquerait par la variation de la lithologie (Figure 57).

IV.2. Faciès des eaux de la nappe Eocène de la Bahira

Le Diagramme de Schoeller et le diagramme de Piper (Figure 58 et 59) montrent que tous les paramètres mesurés rentrent dans les normes de potabilité et que les eaux de la nappe Eocène présentent deux types de faciès:

- Un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien, (le plus abondant)
- Et un faciès chloruré sodique et potassique à sulfaté sodique.

Cette variation de faciès reflète la variation de la lithologie.

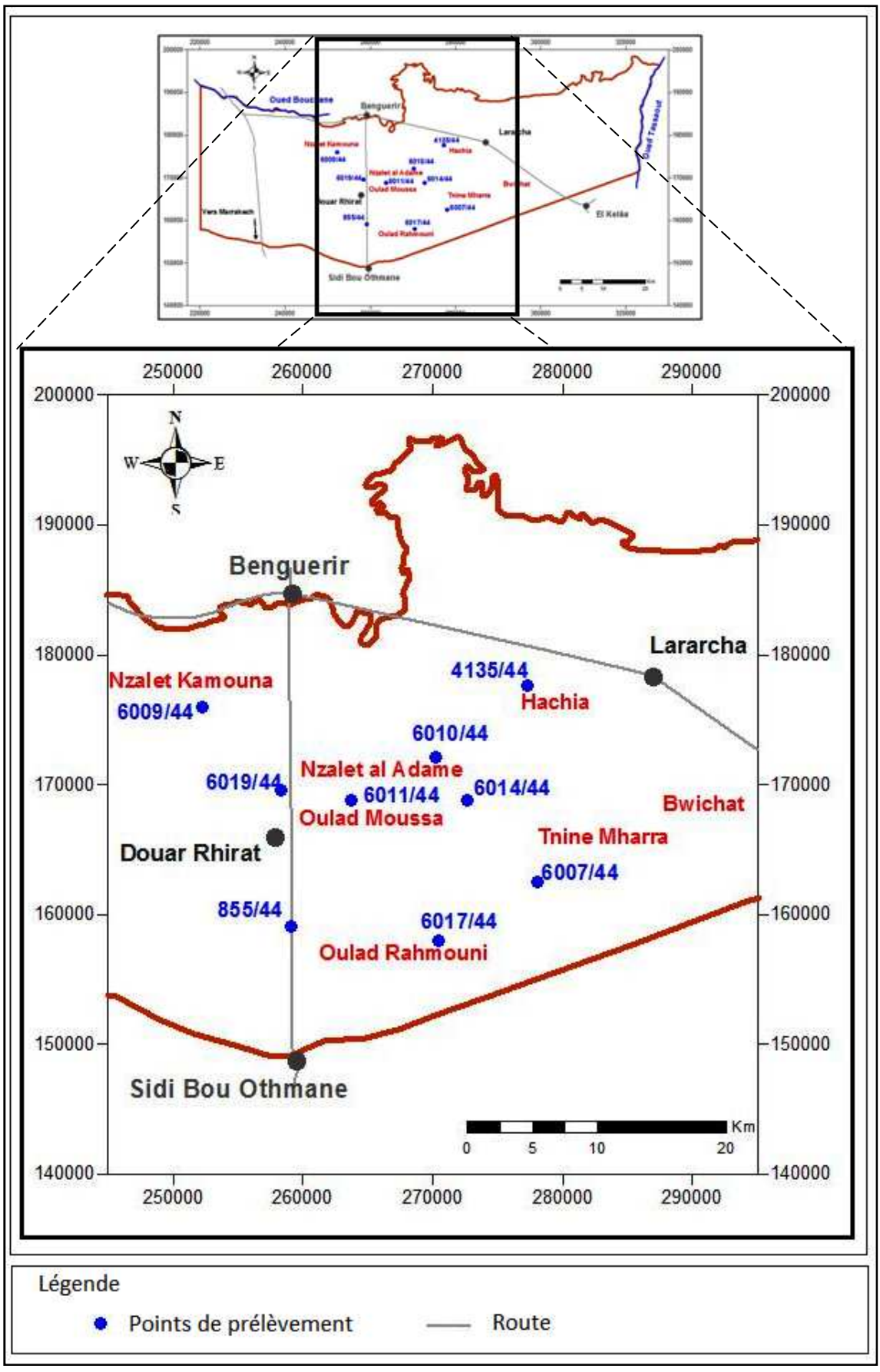


Figure 54: Situation des points de prélèvement.

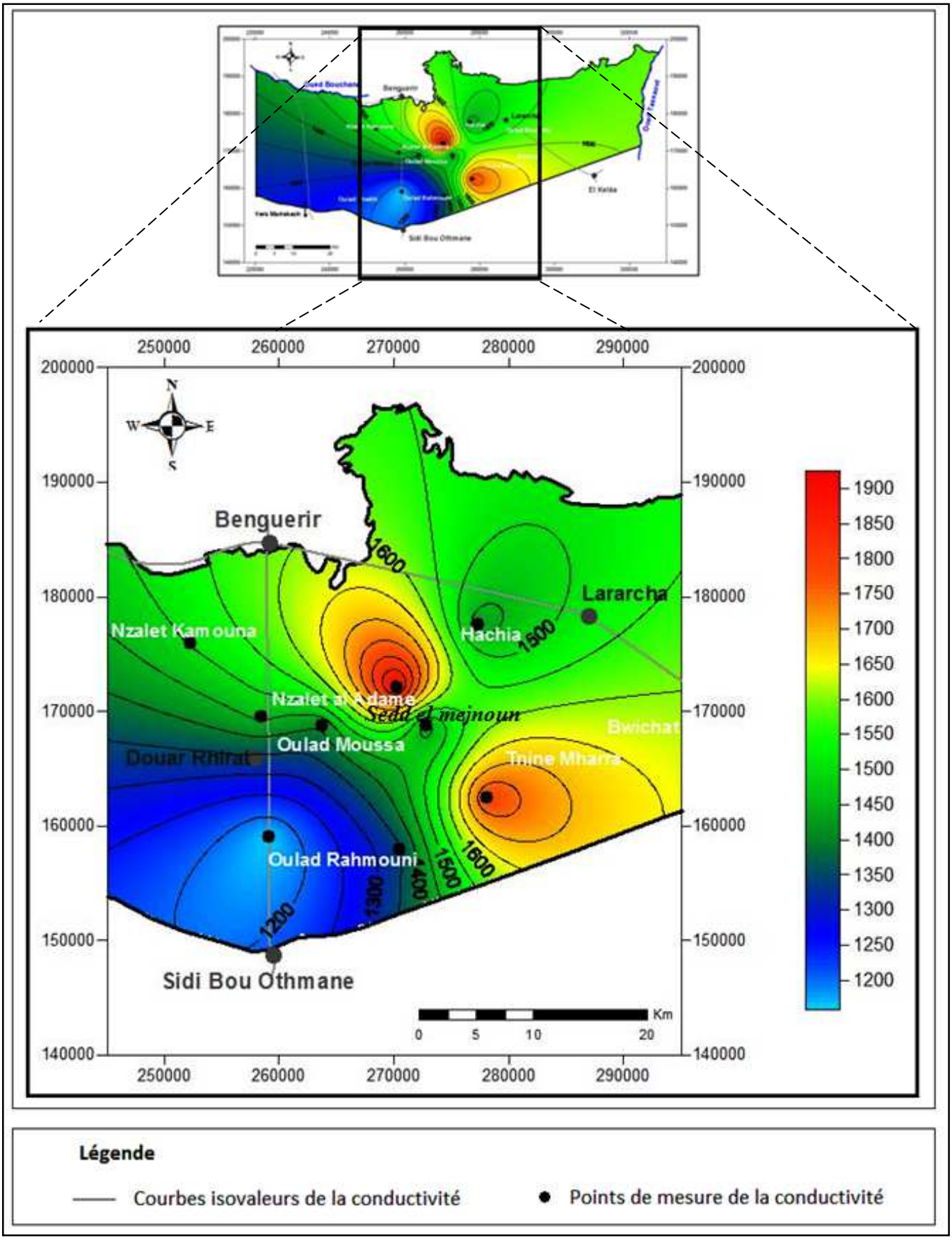


Figure 55: La conductivité des eaux de la nappe Eocène en µS/cm.

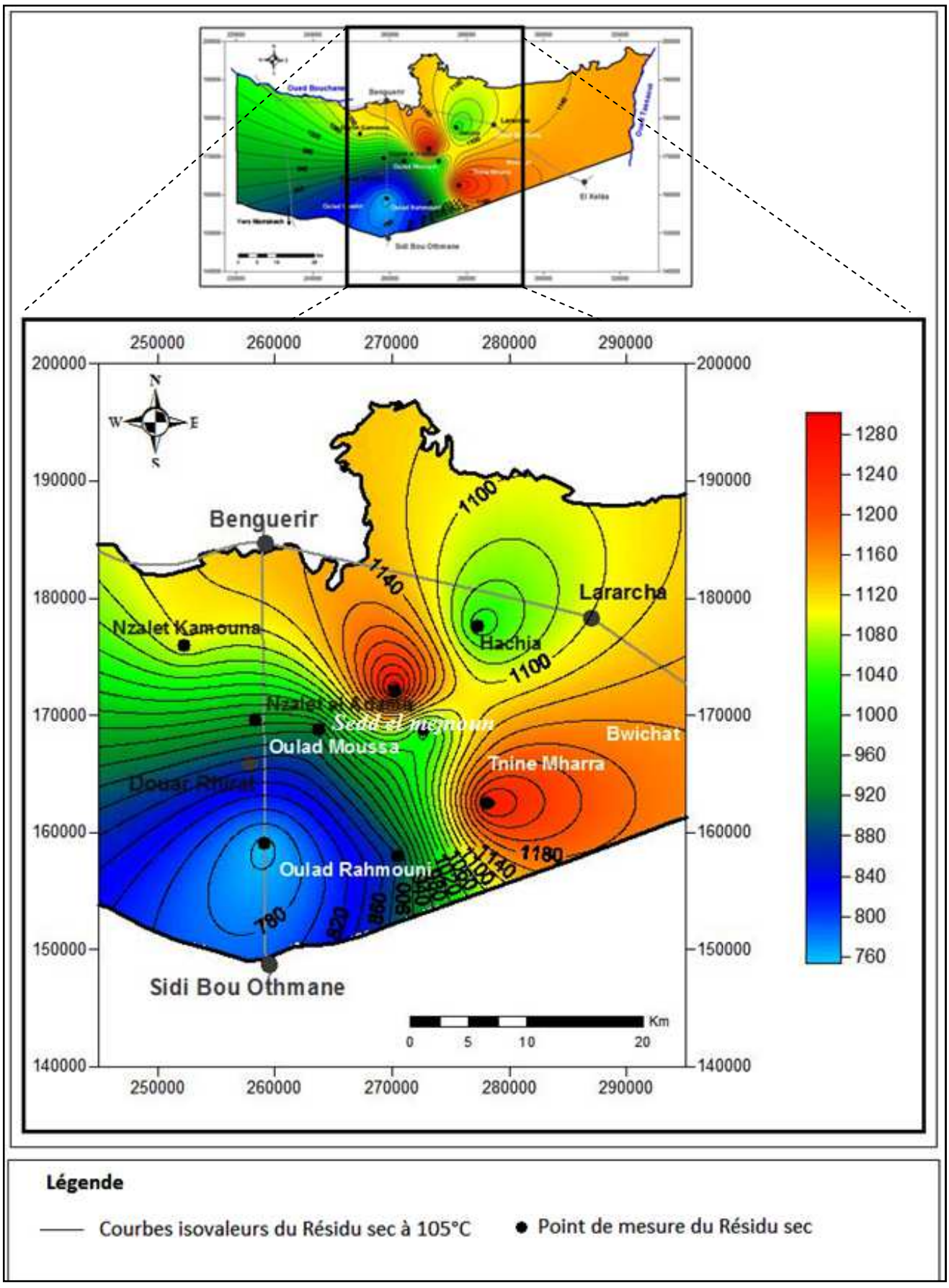
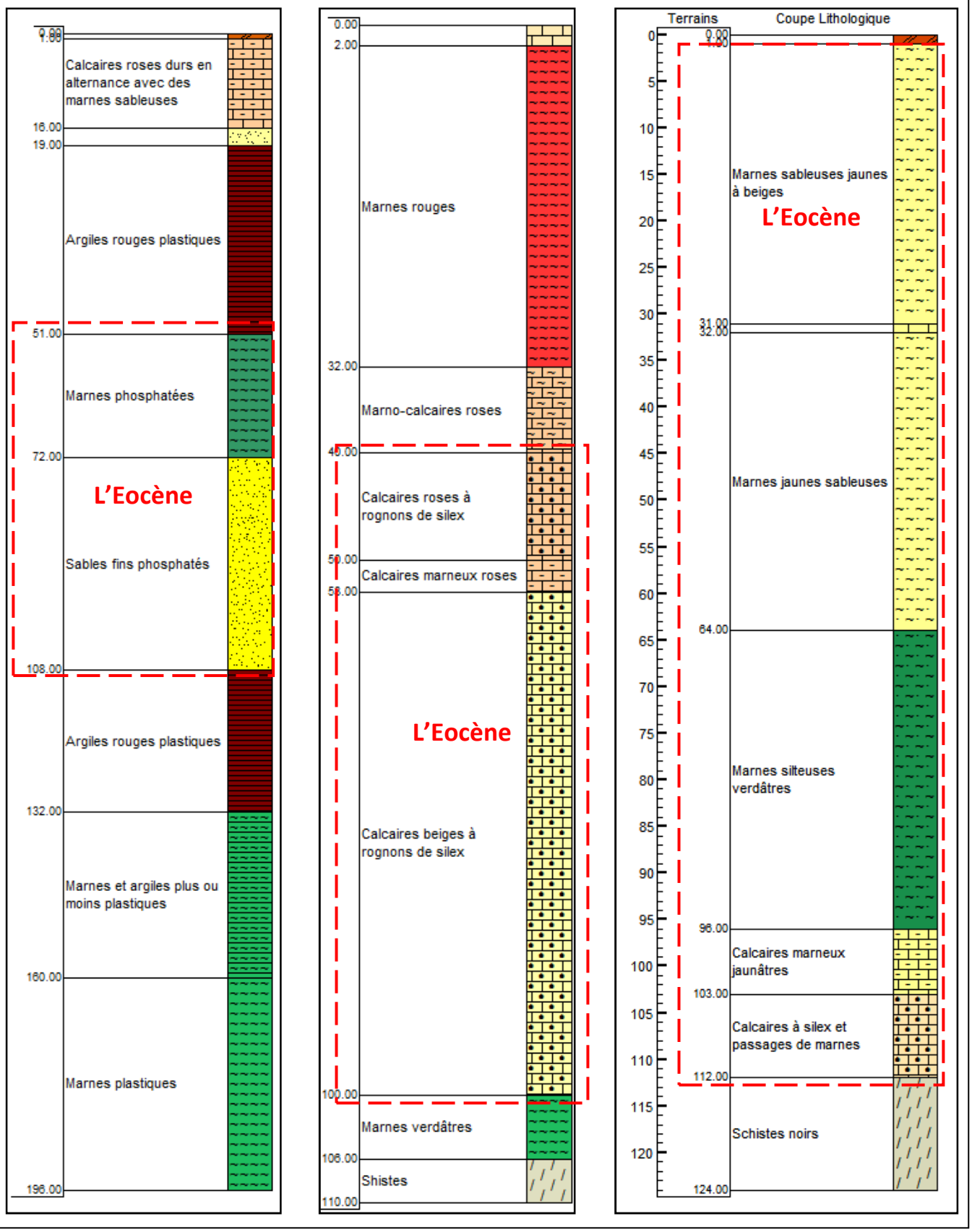


Figure 56: Le résidu sec à 105°C en mg/l des eaux de la nappe Eocène.



IRE 6007/44
(Secteur de Tnine Mharra)

IRE 4100/44
(Secteur Oulad Rahmouni)

IRE 6009/44
(Secteur de Nzalet Kamouna)

Figure 57 : Coupes lithologiques de trois ouvrages présentant des eaux à minéralisation variable.

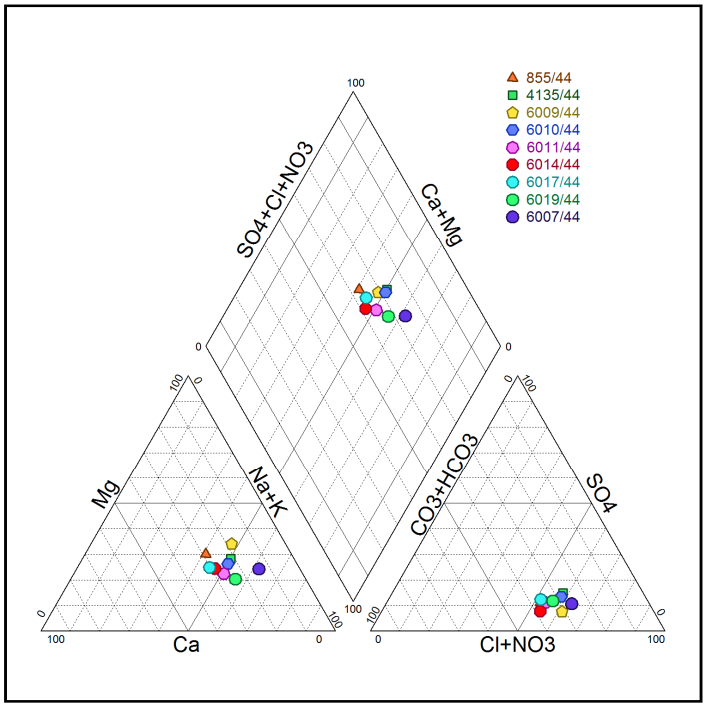


Figure 58: Diagramme de Piper des eaux de la nappe Eocène de la Bahira Centrale.

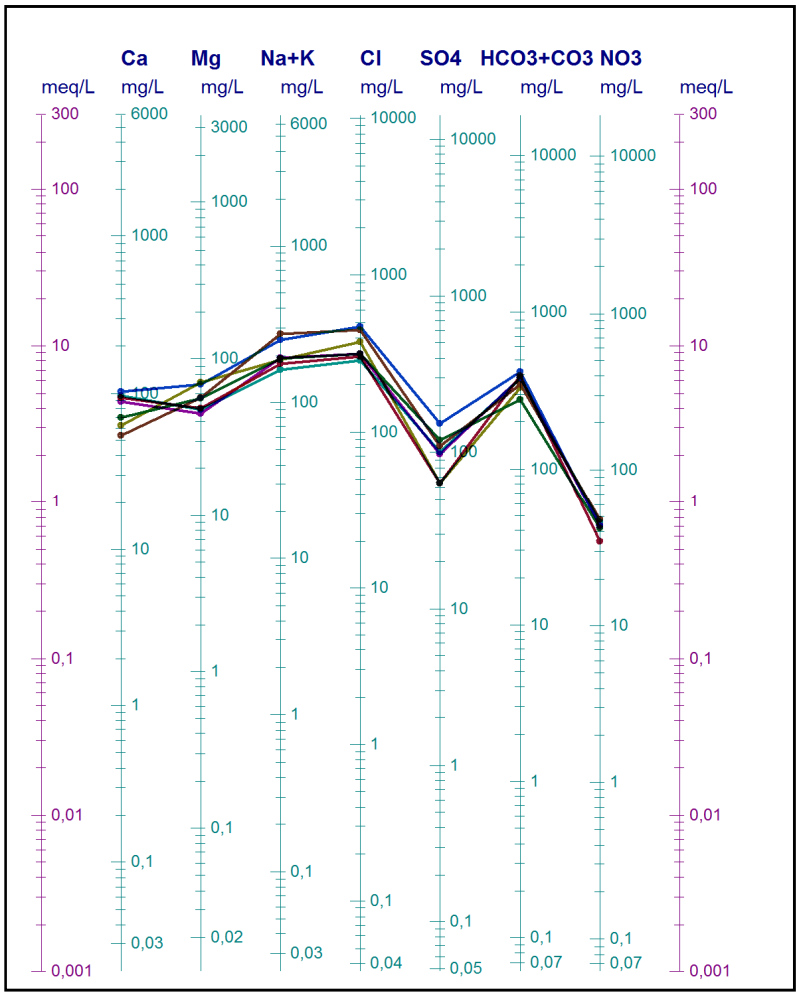


Figure 59: Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe Eocène de la Bahira centrale

VII. Exploitation des eaux

La nappe Eocène présente une source importante exploitée pour satisfaire à la fois les besoins en eau potable et les besoins de l'irrigation :

- L'alimentation en eau potable :

En 2012, le volume prélevé par l'ONEP au niveau des centres : Benguerir, Sidi Bou Othmane et El Kalâa atteint les 7 458950 m3.

Les volumes prélevés varient d'une façon spatiale et temporaire. Ils varient d'un centre à autre et d'un mois à l'autre. Le maximum des prélèvements est enregistré au niveau du centre El Kalâa pendant le mois d'Août. Tandis que le minimum est enregistré au niveau du centre de Sidi Bou Othmane durant le mois de Mars. (Figure 60).

La répartition spatiale des prélèvements est liée à la densité de la population alimentée en eau potable. Selon le recensement de 2004 la population au niveau d'El Kalâa est de l'ordre de 68694 habitants et 62872 habitants à Benguerir, tandis qu'elle est de l'ordre de 17492 habitants à Sidi Bou Othmane.

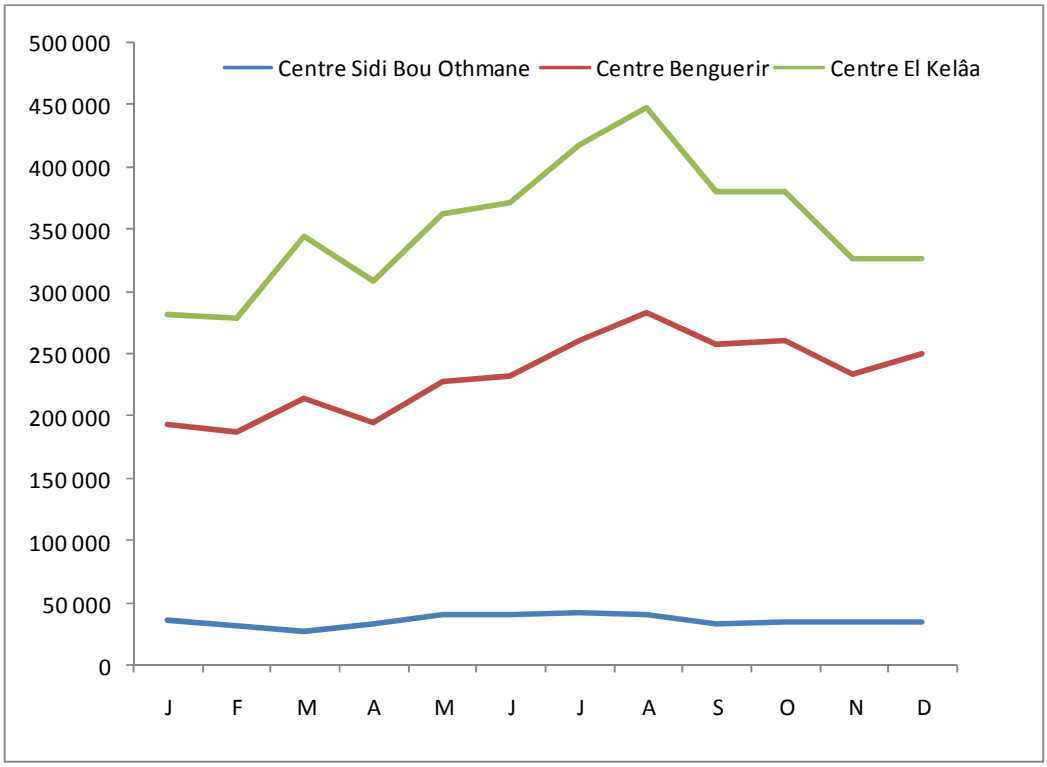


Figure 60: les prélèvements de l'ONEP en m3 durant l'année 2012.

- L'irrigation :

La demande en eau pour l'irrigation dépend de la superficie des périmètres irrigués et du type de culture (Tableau 7)

Cultures	Dotation annuelle m3/ha/an
Agrumes	13200
Arboricultures	4200
vignes	4600
Betterave	7800
Canne à sucre	3000
Fourrages	10200
Maraîchages	6100
Céréales	6500

Tableau 7 : Les dotations annuelles en fonction du type de culture. (Les ABC de l'hydraulique)

Au niveau de la Bahira centrale, les besoins en eau d'irrigation peuvent être estimés par plus que 95646553 m3. C'est à peut près plus que 93% des besoins. (Tableau 8)

Cultures	Dotation annuelle m3/ha/an	Surface cultivée (ha)	Besoin en eau d'irrigation (m3)
Arboricultures	4200	6881,69	28903098
Fourrages	10200	2214,35	22586370
Maraîchages	6100	1518,6	9263460
Céréales	6500	5368,25	34893625
Volume Total			**95646553**

Tableau 8 : La demande en eau estimée pour l'irrigation.

VIII. Conclusion

La nature lithologique des dépôts de la Bahira centrale a donné naissance à quatre réservoirs d'eau souterraine dont le plus important est le réservoir Eocène qui présente l'objet de l'étude.

Sa géométrie est illustrée par les sept profils de corrélations établis, la carte de sa puissance ainsi que les cartes des isohypses de ses deux limites supérieure et inferieure qui montrent tous l'augmentation vers le Nord de l'épaisseur de ce réservoir accompagnée par son affleurement.

Les cartes piézométriques établies ont montées un écoulement qui converge vers la zone centrale. Comme elles décrivent également la baisse du niveau piézométrique d'une année à l'autre. Cette baisse est bien illustrée par les cartes des rabattements.

La transmissivité et le coefficient d'emmagasinement présentent des valeurs plus élevées au niveau du secteur de Nzalet al Adam par rapport au secteur de Tnine Mharra.

Les eaux de ce réservoir sont de bonne qualité. Elles sont destinées à l'alimentation en eau potable et l'irrigation.

Conclusion générale

Au Niveau de la Bahira centrale, les dépôts du Lutétien et de L'Yprésien représentent les formations de l'Eocène ayant données naissance à un réservoir intéressant des eaux souterraines.

La géométrie de ce réservoir varie du Sud vers le Nord et de l'Est vers l'Ouest. En générale sa puissance diminue en se dirigeant vers le Sud et l'altitude de sa limite supérieure augmente vers le Nord où ces formations Eocènes affleurent.

La piézométrie de cette nappe Eocène décrit un écoulement vers la zone centrale qui connait une exploitation intense et où la cote de la surface piézométrique atteint les 350m. Le niveau de cette nappe ne cesse de baisser, d'une année à l'autre, à cause de des prélèvements intenses (selon les secteurs) d'eau destinée à l'irrigation et à cause du faible taux d'alimentation, suite aux faibles précipitations de ces dernières années.

Les essais de pompage réalisés au niveau de la zone montrent que les valeurs de transmissivité et du coefficient d'emmagasinement augmentent du SE vers le NW. Elles sont, respectivement, de l'ordre de 1,5*10-2m^2/s et 8*10-3).

Les eaux de cette nappe respectent les normes marocaines de potabilité et leur minéralisation augmente globalement du SW au NE (les secteurs de Tnine Mharra et le secteur Nord-est de Nzalet al Adame présentent les eaux les plus minéralisées)

L'exploitation de la nappe Eocène est destinée à l'alimentation en eau potable des populations et l'irrigation des périmètres modernes (ex périmètre Oulad Moussa) et à des périmètres traditionnels.

L'actualisation, la réalisation d'une base de données hydrogéologique de la nappe Eocène de la Bahira centrale et la l'élaboration d'un ensemble de cartes thématiques (géométrie, piézométrie, paramètres hydrodynamiques, débit d'exploitation…etc.), nous ont permis d'orienter les futures exploitations de cette nappe (le secteur de Nzalet al Adam, à titre d'exemple).

Bibliographie

ER-ROUANE S., (Décembre 1992), Méthodologie d'acquisition et de traitement des données hydrogéologiques : Application au cas de la plaine de la Bahira (Maroc), Thèse, Université de NANCYI, (173 pages).

ER-ROUANE S., (Décembre 1996), Mise en œuvre d'outils informatiques pour la modélisation du système aquifère de la Bahira (Maroc Occidental) Thèse, Université de NANCYI.

GOUZROU A., (Décembre 1991), Actualisation des connaissances hydrogéologiques sur les réservoirs de la Bahira centrale, (22 pages)

GOUZROU A. (Juin 2012), Les ABC de l'hydraulique, (520 pages).

KHALIL N., (Décembre 1989), Contribution à l'étude Hydrogéologique de la plaine de la Bahira, Thèse d'état, Université CADI AYYAD. (187pages)

MICHARD A., (1976), Eléments de géologie marocaine, Note et mémoires du service géologique du Maroc, (399 pages).

Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er-rabia, (Mai 2008), Note sur la nappe de la Bahira, (16 pages).

Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er-rabia, Surveillance de la Qualité des ressources en eaux de la zone d'action de l'ABH d'OUM ERRABIA , Dossier N°2011-180-0675-2011-0383, 1ère compagne Réseau complet, **LPEE.**

Norme Marocaine NM 03.7.001: QUALITE DES EAUX D'ALIMENTATION HUMAINE, (en ligne), page consultée : http://www.sante.gov.ma/Departements/DELM/cd%20zakia/NM037001.pdf le 15/06/2013. Disponible sur site.

ROYAUME DU MAROC, HAUT COMMISSARIAT AU PLAN Recensement général de la population et de l'habitat de 2004, (en ligne) page consultée : http://www.lavieeco.com/pdf/documents_officiels/Recensement+population.pdf le 15/06/2013. Disponible sur site.

ANNEXES

Annexe I :

Tableau 9: les précipitations en mm au niveau de la station Sidi Bou-Othmane (1989-2011). (D'après L'ABHT)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
1989/90	2,3	37,2	24,2	30,2	35,6	0,0	31,3	20,9	12,7	7,4	34,4	0,3	**236,5**
1990/91	1,2	2,5	4,8	53,3	8,9	140,3	120,7	6,2	6,2	5,1	4,0	6,1	**359,3**
1991/92	44,7	23,1	13,0	27,6	0,0	48,3	79,9	59,7	7,4	49,8	3,5	1,4	**358,4**
1992/93	0,2	61,2	14,2	8,6	35,3	29,2	18,7	24,9	7,2	0,0	0,0	0,0	**199,5**
1993/94	0,1	27,4	103,5	44,4	67,1	80,1	36,8	8,1	0,0	0,0	0,0	18,8	**386,3**
1994/95	0,0	91,5	0,0	0,1	0,0	77,2	58,2	187,5	0,0	0,2	0,6	0,0	**415,3**
1995/96	8,0	40,8	12,6	77,1	92,4	105,4	125,4	7,6	26,4	63,4	0,0	0,0	**559,1**
1996/97	6,2	0,9	58,7	84,6	62,5	5,2	42,9	97,2	32,1	3,6	0,0	0,2	**394,1**
1997/98	79,7	40,6	33,7	91,6	25,8	34,8	18,9	52,0	20,7	0,1	0,0	0,0	**397,9**
1998/99	13,2	46,1	0,1	38,1	77,9	88,7	96,7	4,6	9,0	14,3	0,2	4,0	**392,9**
1999/00	4,3	154,8	45,2	70,6	5,5	0,5	0,3	24,8	21,0	0,1	0,0	0,5	**327,6**
2000/01	3,0	57,8	8,3	22,3	26,8	9,8	34,6	42,4	3,8	0,0	0,0	0,6	**209,4**
2001/02	4,4	2,2	17,4	32,2	1,1	2,3	66,6	135,8	12,2	17,2	0,0	0,2	**291,6**
2002/03	2,7	22,2	59,7	20,6	18,0	3,5	55,0	43,9	11,0	16,2	6,2	18,4	**277,4**
2003/04	0,1	93,3	70,8	49,0	0,5	27,4	28,7	119,8	45,4	0,0	2,3	3,2	**440,5**
2004/05	2,1	25,8	49,1	48,3	3,5	31,5	45,6	8,9	3,8	8,3	0,4	14,6	**241,9**
2005/06	1,2	48,3	50,6	30,2	93,6	40,1	1,6	42,7	22,8	28,8	5,3	0,2	**365,4**
2006/07	7,0	19,4	29,5	27,0	7,9	45,6	77,2	2,8	59,5	0,0	1,6	14,5	**292,0**
2007/08	4,6	1,9	81,6	25,2	22,7	17,6	16,8	6,7	84,4	0,0	6,9	0,8	**269,2**
2008/09	30,5	104,4	68,8	32,4	111,9	70,7	76,6	2,8	26,5	31,6	0,0	0,0	**556,2**
2009/10	50,6	5,3	2,3	33,6	92,1	58,7	28,6	1,7	14,7	10,3	0,8	38,6	**337,3**
2010/11	6,5	64,7	39,0	10,2	36,7	1,2	52,7	158,8	94,2	48,2	0,0	1,8	**514,0**

Tableau 10: les précipitations en mm au niveau de la station Bissi bissa (1980-2012). (D'après l'ABHOER)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
1980/81	18,0	27,0	71,0	0,0	5,0	35,0	15,0	4,0	2,0	0,0	0,0	0,0	**177,0**
1981/82	0,0	0,0	0,0	30,0	57,0	13,0	32,0	88,0	22,0	0,0	0,0	0,0	**242,0**
1982/83	0,0	0,0	15,0	5,0	0,0	22,0	16,0	1,0	3,0	0,0	0,0	0,0	**62,0**
1983/84	1,0	3,0	83,0	16,0	0,0	4,0	35,0	14,0	19,0	0,0	0,0	0,0	**175,0**
1984/85	0,0	0,0	37,0	3,0	78,0	7,0	2,0	6,0	21,0	0,0	0,0	0,0	**154,0**
1985/86	0,0	7,0	23,0	15,0	37,0	29,0	26,0	12,0	0,0	44,0	0,0	0,0	**193,0**
1986/87	2,0	16,0	10,0	0,0	23,0	44,0	19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	**120,0**
1987/88	11,0	20,0	14,0	41,0	40,0	35,0	38,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	**203,0**
1988/89	0,0	23,0	66,0	0,0	28,0	27,0	27,0	36,0	0,0	0,0	0,0	2,0	**209,0**
1989/90	0,0	9,0	30,0	21,0	22,0	0,0	63,0	18,0	32,0	6,0	0,0	3,0	**204,0**
1990/91	8,0	2,0	6,0	61,0	0,0	79,0	87,0	12,0	0,0	0,0	1,0	0,0	**256,0**
1991/92	23,0	23,0	0,0	8,0	0,0	21,0	13,0	16,0	5,0	16,0	0,0	0,0	**125,0**
1992/93	0,0	13,0	6,0	14,0	33,0	11,0	31,0	3,0	8,0	0,0	2,0	0,0	**121,0**
1993/94	0,0	35,0	74,0	17,0	30,0	40,0	40,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**236,0**
1994/95	0,0	39,0	4,0	0,0	0,0	20,0	14,0	129,0	0,0	3,0	0,0	0,0	**209,0**
1995/96	10,0	10,0	11,0	74,0	129,0	28,0	73,0	15,0	17,0	7,0	0,0	0,0	**374,0**
1996/97	12,0	4,0	34,0	59,0	63,0	0,0	53,0	100,0	0,0	0,0	0,0	6,0	**331,0**
1997/98	29,0	30,0	24,0	35,0	21,0	41,0	8,0	5,0	5,0	7,0	0,0	20,0	**225,0**
1998/99	5,0	0,0	0,0	12,0	53,0	28,0	44,0	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	**157,0**
1999/00	0,0	41,0	14,0	28,0	24,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	1,0	**115,0**
2000/01	0,0	6,0	12,0	63,0	31,0	0,0	14,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	**127,0**
2001/02	0,0	0,0	12,0	78,0	0,0	0,0	40,0	48,0	17,0	0,0	0,0	0,0	**195,0**
2002/03	0,0	0,0	93,0	21,0	21,0	16,0	32,0	25,0	3,0	12,0	0,0	0,0	**223,0**
2003/04	0,0	31,0	57,0	51,0	0,0	27,0	23,0	10,0	26,0	0,0	3,0	0,0	**228,0**
2004/05	0,0	35,0	17,0	26,0	0,0	14,0	4,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	**97,0**
2005/06	0,0	17,0	21,0	45,0	84,0	21,0	12,0	6,0	29,0	11,0	0,0	0,0	**246,0**
2006/07	0,0	14,0	7,0	3,0	9,0	30,0	0,0	28,0	20,0	0,0	0,0	0,0	**111,0**
2007/08	0,0	8,0	86,0	10,0	21,0	22,0	0,0	0,0	19,0	0,0	0,0	0,0	**166,0**
2008/09	28,0	68,0	61,0	26,0	38,0	62,0	54,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	**347,0**
2009/10	56,0	0,0	4,0	63,0	39,0	64,0	39,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	**267,0**
2010/11	0,0	33,0	34,0	18,0	10,0	16,0	38,0	38,0	46,0	4,0	0,0	10,0	**247,0**
2011/12	0,0	18,0	100,0	0,0	26,0	8,0	8,0	29,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**189,0**

Tableau 11: les précipitations en mm au niveau de la station Bouchane (1993-2012). (D'après l'ABHOER)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
1993/94	0,0	37,0	72,0	7,0	27,0	29,0	20,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	**193,0**
1994/95	0,0	41,0	5,0	0,0	0,0	31,0	23,0	59,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**159,0**
1995/96	0,0	4,0	25,0	70,0	102,0	40,0	83,0	4,0	42,0	1,0	0,0	0,0	**371,0**
1996/97	5,0	1,0	44,0	148,0	49,0	0,0	36,0	61,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**344,0**
1997/98	7,0	33,0	24,0	43,0	53,0	33,0	13,0	4,0	3,0	1,0	0,0	0,0	**214,0**
1998/99	0,0	3,0	0,0	28,0	23,0	32,0	17,0	0,0	16,0	0,0	0,0	1,0	**120,0**
1999/00	1,0	62,0	25,0	15,0	17,0	0,0	0,0	24,0	3,0	0,0	0,0	0,0	**147,0**
2000/01	1,0	14,0	4,0	54,0	40,0	0,0	11,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	**125,0**
2001/02	0,0	0,0	7,0	87,0	0,0	7,0	44,0	40,0	3,0	0,0	0,0	0,0	**188,0**
2002/03	0,0	21,0	81,0	28,0	9,0	18,0	23,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**186,0**
2003/04	0,0	55,0	50,0	37,0	0,0	45,0	43,0	18,0	26,0	0,0	0,0	0,0	**274,0**
2004/05	0,0	42,0	16,0	17,0	1,0	29,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**115,0**
2005/06	0,0	12,0	41,0	63,0	72,0	44,0	17,0	40,0	2,0	0,0	0,0	0,0	**291,0**
2006/07	1,0	29,0	17,0	4,0	8,0	21,0	3,0	13,0	6,0	0,0	0,0	0,0	**102,0**
2007/08	0,0	4,0	42,0	13,0	24,0	10,0	3,0	3,0	1,0	0,0	0,0	0,0	**100,0**
2008/09	0,0	88,0	60,0	32,0	45,0	93,0	33,0	0,0	7,0	8,0	0,0	0,0	**366,0**
2009/10	3,0	1,0	3,0	48,0	57,0	90,0	26,0	0,0	1,0	2,0	2,0	2,0	**235,0**
2010/11	0,0	15,0	73,0	36,0	31,0	7,0	58,0	40,0	54,0	6,0	0,0	0,0	**320,0**
2011/12	2,0	15,0	58,0	0,0	21,0	5,0	6,0	36,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**143,0**

Tableau 12: les précipitations en mm au niveau de la station Ouled Sidi Driss (1973-2012). (D'après l'ABHOER)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
1973/74	0,0	8,0	22,0	76,0	8,0	45,0	38,0	46,0	0,0	9,0	0,0	0,0	252,0
1974/75	2,0	0,0	0,0	0,0	36,0	24,0	10,0	66,0	13,0	0,0	0,0	0,0	151,0
1975/76	0,0	0,0	11,0	35,0	11,0	14,0	20,0	60,0	33,0	23,0	0,0	1,0	208,0
1976/77	2,0	42,0	2,0	42,0	53,0	10,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,0	0,0	161,0
1977/78	0,0	38,0	77,0	38,0	37,0	21,0	1,0	44,0	13,0	3,0	0,0	0,0	272,0
1978/79	5,0	18,0	2,0	48,0	32,0	57,0	7,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	175,0
1979/80	6,0	63,0	0,0	5,0	21,0	49,0	64,0	5,0	12,0	0,0	0,0	10,0	235,0
1980/81	15,0	11,0	56,0	2,0	16,0	16,0	16,0	5,0	3,0	0,0	0,0	0,0	140,0
1981/82	0,0	19,0	0,0	16,0	49,0	22,0	45,0	56,0	42,0	0,0	2,0	1,0	252,0
1982/83	0,0	1,0	18,0	12,0	0,0	27,0	8,0	2,0	4,0	0,0	0,0	0,0	72,0
1983/84	0,0	20,0	62,0	21,0	0,0	2,0	23,0	11,0	33,0	0,0	1,0	0,0	173,0
1984/85	0,0	0,0	36,0	4,0	59,0	17,0	4,0	12,0	32,0	0,0	0,0	6,0	170,0
1985/86	0,0	1,0	19,0	20,0	36,0	29,0	16,0	11,0	5,0	31,0	0,0	0,0	168,0
1986/87	0,0	7,0	27,0	1,0	29,0	46,0	7,0	1,0	3,0	0,0	0,0	1,0	122,0
1987/88	3,0	22,0	20,0	68,0	54,0	45,0	64,0	1,0	3,0	0,0	0,0	0,0	280,0
1988/89	1,0	26,0	89,0	0,0	32,0	34,0	26,0	44,0	0,0	0,0	0,0	58,0	310,0
1989/90	5,0	38,0	79,0	17,0	40,0	0,0	48,0	14,0	35,0	5,0	0,0	0,0	281,0
1990/91	10,0	4,0	12,0	48,0	1,0	88,0	150,0	13,0	0,0	0,0	1,0	1,0	328,0
1991/92	48,0	22,0	0,0	2,0	8,0	24,0	22,0	30,0	1,0	30,0	0,0	0,0	187,0
1992/93	0,0	12,0	8,0	13,0	39,0	4,0	26,0	1,0	5,0	0,0	0,0	0,0	108,0
1993/94	0,0	43,0	57,0	10,0	34,0	39,0	32,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	215,0
1994/95	0,0	72,0	3,0	0,0	0,0	18,0	28,0	82,0	0,0	5,0	0,0	0,0	208,0
1995/96	2,0	2,0	17,0	48,0	116,0	40,0	72,0	10,0	14,0	28,0	0,0	0,0	349,0
1996/97	8,0	6,0	28,0	75,0	61,0	0,0	28,0	94,0	0,0	0,0	0,0	3,0	303,0
1997/98	41,0	28,0	21,0	52,0	12,0	52,0	18,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	227,0
1998/99	1,0	0,0	0,0	40,0	62,0	33,0	31,0	0,0	16,0	0,0	0,0	7,0	190,0
1999/00	0,0	65,0	26,0	19,0	17,0	0,0	0,0	7,0	6,0	0,0	0,0	0,0	140,0
2000/01	0,0	21,0	12,0	39,0	30,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	104,0
2001/02	0,0	0,0	10,0	61,0	0,0	0,0	46,0	48,0	13,0	0,0	0,0	0,0	178,0
2002/03	1,0	1,0	101,0	19,0	20,0	15,0	38,0	43,0	7,0	12,0	0,0	54,0	311,0
2003/04	0,0	36,0	57,0	59,0	0,0	31,0	24,0	6,0	31,0	0,0	0,0	0,0	244,0
2004/05	0,0	28,0	27,0	22,0	0,0	19,0	10,0	0,0	0,0	2,0	1,0	0,0	109,0
2005/06	0,0	28,0	23,0	26,0	90,0	42,0	5,0	7,0	47,0	15,0	0,0	31,0	314,0
2006/07	0,0	20,0	32,0	3,0	6,0	33,0	0,0	46,0	26,0	0,0	0,0	0,0	166,0
2007/08	0,0	45,0	66,0	6,0	32,0	32,0	0,0	4,0	16,0	0,0	0,0	0,0	201,0
2008/09	23,0	64,0	62,0	40,0	51,0	56,0	44,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	340,0
2009/10	120,0	0,0	5,0	50,0	53,0	75,0	37,0	0,0	0,0	6,0	0,0	22,0	368,0

2010/11	0,0	38,0	30,0	17,0	17,0	12,0	40,0	20,0	69,0	0,0	0,0	0,0	243,0
2011/12	0,0	27,0	83,0	2,0	21,0	6,0	15,0	47,0	0,0	0,0	0,0	0,0	201,0

Tableau 13: L'évapotranspiration potentielle en mm au niveau de la station Bouchane (1993-2012)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1993/94	100,9	66,2	41,7	29,6	24,7	32,9	45,1	56,4	75,3	88,8	125,3	133,7
1994/95	96,5	68,0	54,5	28,3	23,5	37,1	53,2	61,7	92,3	96,5	132,3	138,5
1995/96	102,5	105,3	72,2	45,8	43,5	32,4	44,7	64,8	67,7	97,0	120,9	108,1
1996/97	111,8	115,2	53,9	36,7	47,9	41,5	39,3	68,3	75,9	100,0	120,6	114,5
1997/98	96,3	100,9	66,6	53,5	41,9	38,6	31,0	56,8	81,5	110,5	119,6	134,6
1998/99	79,5	91,7	72,6	56,4	43,0	37,0	41,3	54,2	73,3	95,1	113,2	117,1
1999/00	96,6	68,1	54,5	28,3	23,6	37,1	53,2	61,8	92,3	96,6	132,4	137,5
2000/01	87,0	62,2	52,0	33,7	31,7	34,2	57,0	58,9	71,9	110,5	113,2	125,2
2001/02	93,9	88,7	45,4	44,7	35,3	39,0	49,5	98,3	66,8	89,8	103,5	103,5
2002/03	98,1	89,5	56,9	48,1	35,9	30,4	45,7	54,3	74,5	96,3	117,3	128,1
2003/04	110,2	76,6	47,1	28,4	22,8	36,2	31,2	44,8	55,6	111,1	126,4	142,6
2004/05	94,6	80,8	64,5	35,1	24,0	20,1	49,6	57,1	91,3	115,2	116,1	125,7
2005/06	109,3	89,0	45,5	28,9	19,0	24,1	38,3	59,7	84,2	93,9	132,8	134,7
2006/07	110,4	101,5	52,4	24,3	27,8	37,5	44,1	48,7	74,9	93,0	130,3	117,8
2007/08	95,3	79,9	50,6	37,7	30,2	43,2	43,4	69,5	63,8	106,7	119,6	121,5
2008/09	62,2	66,2	37,4	26,0	23,0	34,4	49,7	50,9	83,3	115,1	140,8	131,3
2009/10	87,6	90,9	57,3	40,0	36,3	35,7	38,3	58,7	65,5	89,2	127,6	149,5
2010/11	119,3	73,0	42,3	79,1	28,6	22,6	29,5	59,6	81,5	116,4	114,5	118,3
2011/12	105,4	85,6	46,8	27,7	0,0	19,0	52,7	43,3	95,3	117,9	130,1	144,9
Moyenne	97,8	84,2	53,4	38,5	29,6	33,3	44,0	59,3	77,2	102,1	123,0	127,7

Tableau 14: L'évapotranspiration potentielle en mm au niveau de la station Ouled Sidi Driss (1995-2012)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1995/96	98,8	96,1	56,3	29,5	26,8	23,4	31,4	59,6	78,6	126,4	152,1	134,7
1996/97	93,3	88,0	64,4	35,0	32,5	45,5	70,3	72,6	76,5	92,4	118,9	124,1
1997/98	109,7	78,5	42,7	31,2	23,3	41,1	65,4	56,4	61,9	118,8	152,8	167,3
1998/99	111,4	67,6	51,4	23,1	21,9	23,1	37,0	76,7	93,2	120,2	151,0	149,9
1999/00	106,2	73,6	35,3	15,7	23,8	37,4	57,8	54,5	84,8	128,1	166,5	161,6
2000/01	123,0	66,6	38,7	26,1	17,4	30,1	55,4	69,5	89,4	144,4	141,0	151,0
2001/02	103,7	95,5	43,6	29,8	28,8	32,5	39,8	54,9	87,3	130,5	142,2	125,3
2002/03	114,6	92,2	39,9	24,9	15,3	15,9	45,6	49,2	101,2	129,9	167,4	165,0
2003/04	120,0	114,0	39,3	19,7	16,2	24,5	27,0	57,4	62,9	145,4	174,8	157,2
2004/05	132,8	77,5	29,6	13,6	16,8	26,0	38,3	61,3	108,3	139,2	118,9	192,5
2005/06	105,6	73,7	23,7	77,2	7,6	10,5	150,2	54,6	87,3	110,0	176,1	151,5
2006/07	137,4	90,4	50,8	12,0	20,8	25,2	41,5	51,0	92,7	111,1	198,4	124,9
2007/08	102,2	79,0	35,4	14,1	14,3	35,0	222,6	52,9	50,8	113,2	153,3	142,6
2008/09	116,7	63,8	18,8	15,1	14,4	31,5	50,6	67,3	101,0	116,7	172,4	154,0
2009/10	102,8	101,8	46,7	21,6	16,2	32,5	44,9	89,2	83,2	100,0	141,0	181,1
2010/11	137,2	70,8	35,6	25,7	22,4	21,2	28,3	72,3	83,3	160,8	135,1	150,5
2011/12	106,1	65,0	21,1	13,3	16,1	22,7	67,9	57,3	132,7	140,4	150,7	198,9
Moyenne	113,0	82,0	39,6	25,2	19,7	28,1	63,2	62,2	86,8	125,1	153,7	154,8

Annexe II :

Tableau 15: La base d donnée établie à partir des fiches IRE (1)

N°IRE	X(m)	Y (m)	Z (m)	Date	Profondeur (m)	Epaisseur d'eau (m)	Altitude du plan d'eau	Residu Sec mg/l	CE (µhom/cm)	Salinité (g/l)	Débit l/s (à l'air lift)	Débit l/s (essai de pompage)	Débit d'exploit (l/s)
3694/44	250550	158750	456	20/04/1990	127	86,7	416,25		1139		11,5	11,5	
3685/44	277250	162900	422	21/07/1989	283	260,6	399,6		1420			25	
3747/44	276800	162750	421	11/08/1991	350	341,8	398		1750			30	30
3689/44	254500	153600	469	02/04/1990	147	90,4	412,9		1675		7	7	
3744/44	273250	167050	405	13/11/1990	134	223	391,5					38,59	35
4100/44	258250	157350	448	03/09/1996	104,5	59	403		1107			40	
3017/44	290000	176100	411	14/07/1987	164	148,7	395,7	6*103	8700	5		15	
3793/44	274600	160800	429	12/02/1992	184	165	407		1460		20	20	
3678/44	274100	163750	415	22/05/1989	180	172,7	408,2		9510		20	20	
3627/44	259250	159100	447	20/04/1986	62,4	28	413						
3677/44	273550	156950	458	20/05/1989	125	82,85	415,85		1500		20	20	
3498/44	245000	155000	479	12/06/1990	220,5	159,9	418,9		2340		0,8		
2155/44	268100	167200	414	13/02/1985	174,5	165,9	397,9	2100				58	35
3675/44	258000	153100	472	26/05/1989	140	138,6	410,6		1760		7,85	7,85	
3682/44	264000	165500	421	02/06/1989	180	160,35	401,35				15	15	
2127/44	268100	167200	414	01/03/1984	140	92,82	402,82	3400	4560		29	13	
3798/44	274590	160800	429	07/07/1992	221	195	403					40	35
2143/44	284300	170750	408	03/04/1984	448,5	443,79	403,69	1700	2500			16,7	
4244/44	292025	168450	422	23/11/2000	417,1	37,85	380,85		6600			10	
1185/36	317550	178770	400	30/09/1993	280	222	342		1290	0,8		41,6	40
6013/44	266605	157010	440	09/05/2007	101								
6015/44	266850	157700	436	11/05/2007	112								
6016/44	258750	157750	446	14/05/2007	121						5		

6011/44	263661	168757	420	24/05/2007	121						9		
6010/44	270196	172105	423	29/05/2007	90						5		
6008/44	282653	173585	407	04/06/2007	136						8		
6014/44	272703	168757	410	09/06/2007	136						6,5		
3034/45	297981	166018	431	14/06/2007	136								
6007/44	278058	162480	439	22/07/2008	132						1	11	
6017/44	270442	157987	448	02/08/2008	126						2	2	
6012/44	267485	164289	421	12/07/2007	181								
6009/44	252250	175950	465	10/07/2007	124						5		
x1	276721	173970	431		120								
6021/44	279250	174710	419	2009	164						5	5	
6022/44	279400	176088	420	avr-09	170						2,5	2,5	
6023/44	280250	174200	428	avr-09	150						6	6	
6024/44	278600	175550	432	avr-09	154				eau saumâtre		6	6	
6025/44	274950	173400	431	oct-10	170							15	
f1	281400	163450	431	avr-09	460						1,5	1,5	
f2	280500	163400	429	avr-09	450						4,5	4,5	
F1 Hachia	276850	178848	445	24/2011	160						5	5	
F2 Hachia	276145	179421	451	24/2011	150						6	3,5	
F3 Hachia	278161	177529	435	24/2011	190						10	10	
F4 Hachia	279391	177564	429	24/2011	190						10	10	

Tableau 16: La base de données établie à partir des fiches IRE. (2)

N°IRE	X(m)	Y (m)	Z (m)	Date	s (m)	T (m2/s)	b(m)	S	Utilisation
3694/44	250550	158750	456	20/04/1990	0,05		86,75		forage de reconnaissance
3685/44	277250	162900	422	21/07/1989	52,6	1,2*10-3	260,6		irrigation système pivot
3747/44	276800	162750	421	11/08/1991	78,6	2*10-3	341,8	2,4*10-4	exploitation
3689/44	254500	153600	469	02/04/1990	12,25	3*10-4	90,4		reconnaissance
3744/44	273250	167050	405	13/11/1990	15,37	1*10-2	223		Reconnaissance+Exploitation
4100/44	258250	157350	448	03/09/1996	0,24	4*10-2	59		forage d'exploitation
3017/44	290000	176100	411	14/07/1987			148,7		reconnaissance
3793/44	274600	160800	429	12/02/1992					reconnaissance
3678/44	274100	163750	415	22/05/1989					reconnaissance
3627/44	259250	159100	447	20/04/1986					renforcement du réseau piézométrique
3677/44	273550	156950	458	20/05/1989					reconnaissance
3498/44	245000	155000	479	12/06/1990					reconnaissance
2155/44	268100	167200	414	13/02/1985	12,93	9,6*10-3	165,9		exploitation
3675/44	258000	153100	472	26/05/1989	2,41				Reconnaissance hydrogéologique
3682/44	264000	165500	421	02/06/1989					Reconnaissance hydrogéologique
2127/44	268100	167200	414	01/03/1984	10,6	1*10-3			Reconnaissance hydrogéologique
3798/44	274590	160800	429	07/07/1992	18,97	3,85*10-3			irrigation
2143/44	284300	170750	408	03/04/1984					
4244/44	292025	168450	422	23/11/2000	59,37		374,85		AEP du douar
1185/36	317550	178770	400	30/09/1993	18,86	1*10-2	222		AEP El Kalâa des seraghnas
6013/44	266605	157010	440	09/05/2007					
6015/44	266850	157700	436	11/05/2007					

6016/44	258750	157750	446	14/05/2007					
6011/44	263661	168757	420	24/05/2007					
6010/44	270196	172105	423	29/05/2007					
6008/44	282653	173585	407	04/06/2007					
6014/44	272703	168757	410	09/06/2007					
3034/45	297981	166018	431	14/06/2007					
6007/44	278058	162480	439	22/07/2008					
6017/44	270442	157987	448	02/08/2008					
6012/44	267485	164289	421	12/07/2007					
6009/44	252250	175950	465	10/07/2007					
x1	276721	173970	431						
6021/44	279250	174710	419	2009	1				
6022/44	279400	176088	420	avr-09	60				
6023/44	280250	174200	428	avr-09					
6024/44	278600	175550	432	avr-09					
6025/44	274950	173400	431	oct-10	10				
f1	281400	163450	431	avr-09					
f2	280500	163400	429	avr-09					
F1 Hachia	276850	178848	445	24/2011					
F2 Hachia	276145	179421	451	24/2011					
F3 Hachia	278161	177529	435	24/2011					
F4 Hachia	279391	177564	429	24/2011					

Annexe III

Tableau 17: Piézométrie du mois d'avril 2013 :

N° IRE	Nature	Repère (m)	x (m)	y (m	z (m)	Profondeur p/r au repère (m)	Niveau piézométrique (m)
855/44	Forage	0,5	259114	159117	454	47,92	406,58
1596/44	Puits	0,8	254533	166839	452	36,6	416,2
4135/44	Forage	0,6	277301	177587	422	56,8	365,8
6007/44	Forage	0,8	278058	162480	439	36,98	402,82
6008/44	Piézomètre	0,6	282653	173585	416	55,34	361,26
6009/44	Piézomètre	0,4	252250	175950	465	73,09	392,31
6010/44	Piézomètre	0,55	270196	172105	423	76,46	347,09
6011/44	Forage	0,3	263661	168757	434	74,4	359,9
6014/44	Forage	0,5	272703	168757	423	74	349,5
6017/44	Forage	0,8	270442	157987	448	85,03	363,77
6019/44	Piézomètre	0,3	258350	169550	426	63,34	362,96
1592/44	Forage	1	252073	176081	480	49,31	431,69

Tableau 18: Piézométrie du mois d'avril 2012 :

N° IRE	Nature	Repère (m)	x (m)	y (m	z (m)	Profondeur p/r au repère (m)	Niveau piézométrique (m)
855/44	Forage	0,5	259114	159117	454	48,77	405,73
1596/44	Puits	0,8	254533	166839	452	33,71	419,09
4135/44	Forage	0,6	277301	177587	422	56,44	366,16
6007/44	Forage	0,8	278058	162480	439	36,42	403,38
6008/44	Piézomètre	0,6	282653	173585	416	52,74	363,86
6009/44	Piézomètre	0,4	252250	175950	465	73,26	392,14
6010/44	Piézomètre	0,55	270196	172105	423	75,34	348,21
6011/44	Forage	0,3	263661	168757	434	72,2	362,1
6014/44	Forage	0,5	272703	168757	423	71	352,5
6017/44	Forage	0,8	270442	157987	448	83,5	365,3
6019/44	Piézomètre	0,3	258350	169550	426	62,51	363,79
1592/44	Forage	1	252073	176081	480	49,27	431,73

Tableau 19: Piézométrie du mois d'avril 2011 :

N°IRE	Nature	Repère (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Profondeur p/r au repère (m)	niveau piézométrique (m)
855/44	Forage	0,50	259 114	159 117	454	47,92	406,58
1596/44	Puits	0,80	254 533	166 839	452	34,81	417,99
3627/44	Piézomètre	0,80	259 136	159 136	455	43,25	412,55
4135/44	Forage	0,60	277 301	177 587	422	55,82	366,78
6007/44	Forage	0,80	278 058	162 480	439	36,38	403,42
6008/44	Piézomètre	0,60	282653	173585	416	52,63	363,97
6009/44	Piézomètre	0,40	252250	175950	465	71,11	394,29
6010/44	Piézomètre	0,55	270196	172105	423	72,59	350,96
6011/44	Forage	0,30	263 661	168 757	434	70,11	364,19
6014/44	Forage	0,50	272703	168757	423	69,44	354,06
6017/44	Forage	0,80	270442	157987	448	80,12	368,68
6019/44	Piézomètre	0,30	258 350	169 550	426	61,45	364,85
1592/44	Forage	1,00	252 073	176 081	480	49,28	431,72

Tableau 20: Piézométrie du mois d'avril 2010 :

N°IRE	Nature	Repère (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Profondeur p/r au repère (m)	niveau piézométrique (m)
855/44	Puits	0,50	259 114	159 117	454	44,84	409,66
1596/44	Puits	0,80	254 533	166 839	452	32,48	420,32
2191/44	Piézomètre	0,40	259 014	171 385	443	57,80	385,60
4135/44	Forage	0,60	277 301	177 587	422	54,52	368,08
6008/44	Piézomètre	0,60	282653	173585	416,00	50,28	366,32
6010/44	Piézomètre	0,55	270196	172105	423,00	66,15	357,40
6011/44	Forage	0,30	263 661	168 757	434	65,74	368,56
6014/44	Forage	0,50	272703	168757	423,00	64,23	359,27
6019/44	Piézomètre	0,30	258 350	169 550	426	59,56	366,74
1592/44	Forage	1,00	252 073	176 081	480	48,28	432,72

Tableau 21: Les écarts de piézométrie

IRE	écart (2012-2013)	écart (2011-2012)	écart (2010-2011)
855/44	0,85	-0,85	-3,08
1596/44	-2,89	1,10	-2,33
4135/44	-0,36	-0,62	-1,30
6007/44	-0,56	-0,04	
6008/44	-2,60	-0,11	-2,35
6009/44	0,17	-2,15	
6010/44	-1,12	-2,75	-6,44
6011/44	-2,20	-2,09	-4,37
6014/44	-3,00	-1,56	-5,21
6017/44	-1,53	-3,38	
6019/44	-0,83	-1,06	-1,89
1592/44	-0,04	0,01	-1,00
Moyenne	**-1,18**	**-1,13**	**-3,11**

Annexe IV

Remarque :

La Balance Ionique (BI) est calculée selon la relation proposée par FREEZE & CHERRY en 1979:

$$Bi = \frac{\sum cations - \sum anions}{\sum cations + \sum anions} x100 \text{ Avec } \sum cations - \sum anions \text{ exprimés en méq/l}$$

Tableau 22: Les normes Marocaines de potabilité

	PARAMETRES	EXPRESSION DES RESULTATS	VALEUR MAXIMALE ADMISSIBLE
Substances minérales	Nitrites	NO2:mg/l	0,5
	Nitrates	NO3:mg/l	50
	Arsenic	As : µg/l	10
	Baryum	Ba : mg/l	0,7
	Cadmium	Cd : µg/l	3
	Cyanures	CN : µg/l	70
	Chrome	Cr : µg/l	50
	Manganèse	Mn : mg/l	0,5
	Cuivre	Cu : mg/l	2
	Fluorures	F : mg/l	1,5
	Mercure	Hg : µg/l	1
	Plomb	Pb : µg /l	10
	Sélénium	Se : µg/l	10
	Bore	B: mg/l	0,3
	Nickel	Ni : µg/l	20
paramètres physico-chimiques	Potentiel hydrogène	Unités pH	6,5<pH<8,5
	Conductivité	µS/cm à 20°C	2700
	Chlorures	Cl:mg/l	750
	Sulfates	SO4:mg/l	400
	Aluminium	Al : mg/l	0,2
	Ammonium	NH4: mg/l	0,5
	Fer	Fe:mg/l	0,3
	Zinc	Zn: mg/l	3