

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEEN

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE



MEMOIRE

En vue de l'obtention du

DIPLOME DE MASTER

Spécialité : Hydraulique

Option : Eau, Sol et Aménagement (ESA)

Thème

Etude de l'impact de l'irrigation par les eaux
épurées sur les eaux souterraines. Cas de la station
d'épuration d'Ain El Hout et le périmètre irrigué
d'Hennaya.

Soutenu le 31/10/2012 par :

Mr NEBBACHE Rafik

Devant le jury:

M ^r MEGNOUNIF A.	MCA-UABB	Président
M ^{elle} FANDI W.	MAA-UABB	Examineur
M ^r DEBBAL Z.	MAA-UABB	Examineur
M ^{me} ADJIM F.	MCA-UABB	Encadreur
M ^r ADJIM M.	MCA-UABB	Co-encadreur

Année universitaire 2011/2012



DÉDICACE

*Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents
qui m'ont toujours soutenu avec leurs encouragements
et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et
de persévérance, en hommage affectueux.*

A toute ma famille.

A tout mes amis spécialement :

*Hechmi, Youcef, Samira, Nabila, Mohamed, Rida,
Kamel et Rachid.*

*A tous ceux qui m'ont aide de près et de loin, pour
la réalisation de ce mémoire...*

Remerciements

Au terme de ces 7 mois de préparation de cette mémoire, voici venu le temps des remerciements...

Je tiens à remercier vivement Mme ADJIM F. Maître de Conférences à l'Université de Tlemcen, qui m'a proposé ce sujet de recherche si passionnant et intéressant, et à qui je témoigne ma profonde reconnaissance pour le suivi constant et les conseils dont j'ai pu bénéficier au cours de ce travail.

Toute ma reconnaissance va également à mon co-encadreur, Mr ADJIM M. Maître de Conférences à l'Université de Tlemcen, qui m'a prodigué encouragements et conseils, tout en me permettant de profiter de ses connaissances. Il a toujours manifesté intérêt et appui à mes travaux.

Je remercie Mr MEGNOUNIF A., Maître de Conférences à l'Université de Tlemcen, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent également Mademoiselle FANDI W. et Monsieur DEBBAL Z. Maîtres assistants A à l'Université de Tlemcen, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et pour avoir accepté de l'examiner.

Je remercie infiniment Mr TABET responsable du laboratoire de chimie au niveau de laboratoire de recherche N°25 Université de l'université de Tlemcen pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire et m'avoir emprunté le matériel nécessaire.

Un grand merci, aussi, à Mr FERRAS H. pour son aide précieuse et je lui souhaite un bon retour, à Mr BEMMOUSSET A., cadre à la DSA, M^{elle} SLIMANI A. la directrices de l'ONA d'avoir facilité l'accès aux données de la station d'Ain el Hout, M^{elle} GHALI S. pour la documentation et Mme HAKKI N. pour son aide.

Je remercie ma mère et mon père de leur soutien et mes frères FETHI et MOHAMED, et ma sœur HANANE pour leur aide.

Enfin, je tiens également à remercier tous les camarades de notre promo pour la bonne humeur et les bons moments passés ensemble et je suis spécialement reconnaissant envers ma famille qui a toujours été présente.

RESUME :

La plaine d'Hennaya possède actuellement des ressources hydriques relativement limitées, à savoir uniquement les eaux souterraines de la nappe Mio-Plio-Quaternaire. Ces dernières années, un essor économique, particulièrement agricole, a eu lieu, ce qui a entraîné, d'une part, l'accroissement des besoins en eaux et a provoqué, d'autre part, la dégradation de la qualité des eaux.

Le choix de ce thème de recherche a été guidé par le souci de mieux comprendre les mécanismes de fonctionnement de cette nappe, depuis sa géologie jusqu'à ses caractéristiques hydrogéologiques et physico-chimiques, ainsi que les questions d'ordre environnemental, à savoir la présence de polluants, leurs origines et leur impact sur les eaux souterraines. A la lumière des résultats d'analyse obtenue il s'avère que les eaux souterraines de la plaine d'Hennaya présentent des indices de pollutions probablement due à l'activité agricole.

Mots-clés : la plaine d'Hennaya, eaux souterraines, géologie, hydrogéologique, physico-chimique, polluants

ABSTRACT:

Hennaya plain, whose current hydrous resources are relatively limited consist of underground of the Mio-Plio-Quaternary aquifer. In recent years a high level of water demand was felt due to remarkable increase water for agriculture use. On one hand, this has induced a shortage of water and a deterioration of its quality on the other.

This research project comes to shed more light on the way the aquifer system works, its geologie, influence of the lithological parameters and the hydrodynamic and physico-chemical parameters. In the light of the analytical results obtained it appears that the groundwater in the plain Hennaya have indices of pollution probably due to agricultural activity.

Keywords: Hennaya plain, water underground, geologie, lithological, physico-chemical

ملخص

عرف سهل الحناية خلال السنوات الأخيرة نموا اقتصاديا ملحوظا خاصة في قطاع الفلاحة إلا إن مصادر المياه الحالية و المتمثلة في المياه الجوفية تعتبر جد محدودة و ذلك راجع لتزايد الطلب على المادة الحيوية. كما إن هذه النشاطات الفلاحية ساهمت بقدر كبير في تدني نوعية هذه المياه.

إن الاختيار لموضوع البحث هذا كان من اجل توضيح آليات اشتغال مائدة المياه الجوفية لسهل الحناية من الجيولوجيا إلى خصائصها الهيدروجيوجية و الفيزيوكيميائية الناتجة عن العوامل المناخية و نوعية التربة. كما تمت دراسة الجانب البيئي المتمثل في درجة تلوث تلك المياه و الكشف عن مصادر هذا التلوث. في ضوء النتائج التحليلية التي تم الحصول عليها الحناية يبدو أن المياه الجوفية في سهل لها مؤشرات التلوث ربما يرجع ذلك إلى النشاط الزراعي.

الكلمات المفتاحية : الجيولوجيا, الفيزيوكيميائية, الهيدروجيوجية , المياه الجوفية, سهل الحناية

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	01
----------------------------	----

CHAPITRE I : CONTEXTE GENERALE

I.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	03
I.2. CARACTERISTIQUE MORPHOLOGIQUE ET HYDRODYNAMIQUE.....	04
I.3. ETUDE DES FORMATIONS GAOLOGIQUE.....	05
I.3.1. ANALUSE LITHO-STRATIGRAPHIQUE.....	06
I.3.1.1. Le secondaire.....	06
I.3.1.2. Le tertiaires.....	07
I.3.2. ETUDE LITHOLOGIQUE A PARTIR DES DONNEES DES SONDAGES DE RECONNAISSANCES	12
I.3.3. ANALYSE STRUCTURALE.....	16
I.3.3.1. Phases envisagées.....	16
I.3.3.2. Unités structurales.....	17
I.1. ETUDE DE CLIMAT.....	18
I.4.1. ETUDES DES PARAMETRE CLIMATIQUE.....	18
I.4.1.1. Les précipitations.....	18
I.4.1.2. Les Températures.....	21
I.4.2. LES INDICES CLIMATIQUE.....	22
I.4.2.1. Indice d'aridité annuel de De Martonne.....	22
I.4.2.2. Indice d'aridité mensuel de De Martonne	23
I.4.2.3. Quotient pluvio-thermique d'EMBERGER	23
I.4.3. DEFICIT D'ECOULEMENT.....	25
I.4.4. EVAPOTRANSPIRATION REELLE.....	26
I.4.5. EVAPOTRANSPIRATION POTENTIEL	26
I.5. RESSOURCES EN EAU ET L'ASSAINISSEMENT DES EAUX DANS LA REGION DE SITE ETUDIE.....	28
I.4.1. EVOLUTION DE LA POPULATION DE LA COMMUNE D'HENNAYA.....	28
I.5.2. SCHEMA DE PRINCIPE D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE.....	28
I.5.2. SCHEMA DE PRINCIPE D'ASSAINISSEMENT.....	30
I.6. CONCLUSION.....	31

CHAPITRE II : HYDROGEOLOGIE

II.1. INTRODUCTION.....	33
II.2. PROPRIETE AQUIFERE DES FORMATION.....	33
II.3. LES EMERGENCES.....	37
II.3.1. AIN BOUKOURA.....	37
II.3.2. AIN OUEHAB.....	37
II.3.3. AIN HENNAYA.....	37
II.4. ROLE DE LA STRUCTURE.....	38

II.5. PIEZOMETRIE	39
II.5.1. INVENTAIRE DES POINTS D'EAU	39
II.6. CONCLUSION	50

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE

III.1. INTRODUCTION	51
III.2. MOYENS ET METHODES D'ANALYSE	52
III.2.1. CAMPAGNES DE PELEVEMENTS	52
III.2.3. METHODE DE TRAVAIL	54
III.2.3.1. Mesures <i>in situ</i>	54
III.3. INTERPRETATION DES RESULTATS DES ANALYSES	54
III.3.1. PARAMETRES PHYSIQUES	54
III.3.2. PARAMETRE CHIMIQUE	57
III.3.3. CARTOGRAPHIE HYDROCHIMIQUE	58
III.4. CONCLUSION	63

CHAPITRE IV : L'IMPACT DE L'ACTIVITE AGRICOLE SUR LA NAPPE D'ENNAYA

IV.1. INTRODUCTION	64
IV.3. OCCUPATION DU SOL	66
IV.4. LES CLASSES DE PROFONDEUR DES SOLS ET LEURS CARACTERISTIQUES	69
IV.5. IMPACT DE L'ACTIVITE AGRICOLE SUR LES EAUX SOUTERRAINES ..	71
IV.5.1. PRODUCTION DES NUTRIMENTS	71
IV.6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	72
CONCLUSION GENERALE	73
BIBLIOGRAPHIE	75
WEBIOGRAPHIE	77
Annexe I : CONTEXTE GENERALE	79
Annexe II : HYDROGEOLOGIE	83
Annexe III : HYDROCHIMIE	84

Liste des figures

CHAPITRE I

<i>Figure I.1</i> : Situation géographique de la plaine d'Hennaya.....	03
<i>Figure I.2</i> : Cadre géologique de la plaine d'Hennaya.....	05
<i>Figure I.3</i> : Coupe schématique de plateau d'Hennaya.....	08
<i>Figure I.4</i> : Présentation des conglomérats de base.....	09
<i>Figure I.5</i> : Disposition observée au niveau de la source d'Ain Hallilifa.....	09
<i>Figure I.6</i> : Poudingues observés en rive droite de l'Oued Sikkak.....	10
<i>Figure I.7</i> : les sondages de reconnaissances de la plaine d'Hennaya.....	12
<i>Figure I.8</i> : Coupe des sondages (S-7 ^a , S-32, S-9 ^a).....	14
<i>Figure I.9</i> : Coupe des sondages (S-24, S-3 ^a , S-3).....	14
<i>Figure I.10</i> : Coupes des corrélations entre les sondages.....	15
<i>Figure I.11</i> : Schéma structural de l'avant pays tellien entre Saïda et la frontière Algéro-marocaine.....	17
<i>Figure I.12</i> : Précipitations moyennes annuelles.....	19
<i>Figure I.13</i> : précipitations moyennes mensuelles.....	19
<i>Figure I.14</i> : Histogramme des précipitations saisonnières.....	20
<i>Figure I.15</i> : températures mensuelles.....	21
<i>Figure I.16</i> : Abaque pour calcul de l'indice de Martonne.....	22
<i>Figure I.17</i> : Climagramme d'Emberger.....	23
<i>Figure I.18</i> : Détermination du déficit d'écoulement par la méthode de Wundt.....	25
<i>Figure I.19</i> : Abaque de Thornthwaite.....	27

CHAPITRE II

<i>Figure II.1</i> : Log hydrogéologique de la plaine d'Hennaya.....	34
<i>Figure II.2</i> : Coupe hydrogéologique de la plaine d'Hennaya.....	35
<i>Figure II.3</i> : Coupe géologique interprétatives à travers la plaine.....	36
<i>Figure II.4</i> : la sédimentation miocène le long des piémonts nord des monts de Tlemcen....	38
<i>Figure II.5</i> : structure types sur la marge de Monts de Tlemcen et leurs implications hydrogéologique.....	39
<i>Figure II.6</i> : Carte d'inventaire des points d'eau de la nappe de la plaine d'Hennaya.....	40
<i>Figure II.7</i> : Puits non construit.....	42
<i>Figure II.8</i> : Puits construit.....	42
<i>Figure II.9</i> : Carte piézométrique de la nappe d'Hennaya, Avril 2012.....	44
<i>Figure II.10</i> : Carte piézométrique de la nappe d'Hennaya, Juin 2012.....	45
<i>Figure II.11</i> : Carte d'isobathe de la plaine d'Hennaya, Avril 2012.....	46
<i>Figure II.12</i> : Carte d'isobathe de la plaine d'Hennaya, Juin 2012.....	47
<i>Figure II.13</i> : Carte de battement de la nappe d'Hennaya en (m) durant l'année 2012.....	48
<i>Figure II.14</i> : Carte piézométrique de la nappe d'Hennaya, Mars 2011.....	49
<i>Figure II.15</i> : Carte d'isobathe de la plaine d'Hennaya (Juin 2011).....	49

CHAPITRE III

Figure III.1 : Carte du réseau des puits échantillonnés.....	53
Figure III.2 : la variation de pH pendant les deux campagnes.....	55
Figure III.3 : Carte d'iso conductivité (campagne Avril 2012).....	58
Figure III.4 : Carte d'iso conductivité (campagne Juin 2012).....	59
Figure III.5 : Carte d'iso teneur en NO_3^- (campagne Avril 2012).....	60
Figure III.6 : Carte d'iso teneur en NO_3^- (campagne Juin 2012).....	61

CHAPITRE IV

Figure IV.1 : Inventaire des sources de pollutions, dans la plaine d'Hennaya.....	64
Figure IV.2 : Plan d'occupation des sols.....	68
Figure IV.3 : Classe de profondeurs des sols de périmètre.....	70
Figure VI.4 : Cycle de l'azote dans le sol.....	71

Liste des Tableau

CHAPITRE I

<i>Tableau I.1</i> : Présentation de la station météorologique de Zenata.....	18
<i>Tableau I.2</i> : Précipitations moyennes annuelles.....	19
<i>Tableau I.3</i> : valeurs des précipitations saisonnières.....	20
<i>Tableau I.4</i> : Valeurs mensuelles des températures en (°C).....	21
<i>Tableau I.5</i> : Valeurs des indices d'aridité mensuels.....	23
<i>Tableau I.6</i> : Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite.....	26
<i>Tableau I.7</i> : Evolution de la population communale entre 1987 et 2008.....	28

CHAPITRE II

<i>Tableau II.1</i> : Emergence de la plaine d'Hennaya.....	37
<i>Tableau II.2</i> : Inventaire des points d'eau de la plaine d'Hennaya.....	41

CHAPITRE III

<i>Tableau III.1</i> : Les paramètres physiques mesurés sur le site pour la 1er campagne.....	56
<i>Tableau III.2</i> : Les paramètres physiques mesurés sur le site pour la 2 eme campagne....	57

CHAPITRE IV

<i>Tableau IV.1</i> : caractéristiques du sol de la plaine d'Hennaya.....	69
---	----

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un élément indispensable à la vie et revêt de l'importance pour d'innombrables activités humaines. L'eau peut être rare à certains endroits, comme les zones arides et semi-arides, ou tout simplement d'une qualité médiocre à d'autres endroits. Il est certain que l'augmentation de la demande en eau pour les activités humaines accentuera les contraintes sur cette ressource. En outre, les facteurs naturels, telle que la sécheresse ou les contraintes géologiques, ont un effet sur l'approvisionnement en eau potable et sa distribution.

Il est donc essentiel de quantifier et d'analyser la quantité et la qualité des réserves en eau et de trouver le moyen de gérer cette ressource pour en assurer la durabilité.

En Algérie les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique du pays. Les eaux souterraines, souvent protégées géologiquement, sont exposées à des pollutions agricole, industrielle ou urbaine. La nappe phréatique d'Hennaya représentant la ressource principale en eau de la région est très vulnérable. Cette vulnérabilité est due à l'alimentation de la nappe par les eaux superficielles (pluies, retour d'eau d'irrigation), et à l'utilisation abusive des fertilisants azotés.

La pollution des eaux souterraines représente l'un des aspects les plus inquiétants et l'utilisation de ces eaux à fins alimentaires représente un danger pour la santé.

Le présent travail s'intéresse à l'étude de l'impact de l'irrigation par les eaux épuré sur les eaux souterraines cas de la STEP de Ain El Hout et périmètre irrigué d'Hennaya.

La plaine d'Hennaya est située au Nord de la ville de Tlemcen, elle correspond à une dépression tectonique dont le remplissage est constitué d'une formation Plio-Quaternaire (graviers argileux, conglomérats) et miocène (grés et marnes) qui reposent sur une assise jurassique.

Les formations Mio-Plio-Quaternaire contiennent un aquifère exploités pour l'irrigation, dont l'étude par différents auteurs (Hayane, 1983; Medane & Bekadi, 2004 ; Ferras, 2011) a permis l'acquisition d'un certain nombre de données sur les caractéristiques hydrodynamiques et hydrochimique ;

La démarche suivie dans cette étude est la suivante :

Dans le premier chapitre on donne un aperçu général sur la plaine d'Hennaya. Après la présentation de la situation géographique de la plaine on trouve trois parties :

- La première détaille la géologie qui va nous permettre de connaître les principales unités stratigraphiques et préciser les conditions d'existence de l'aquifère.
- La deuxième partie regroupe une étude climatologique qui permettra de déterminer le type de climat régnant dans la région concernée.
- La troisième partie nous donne une idée générale sur les ressources en eau et l'assainissement des eaux dans la région du site étudié.

Le deuxième chapitre présentera une étude hydrogéologique, qui permettra de déterminer les caractéristiques hydrogéologique (piézométrie, sens d'écoulement et paramètres hydrodynamique de la nappe).

Dans le troisième chapitre sera abordée l'étude de la qualité des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation.

Le quatrième chapitre concerne l'étude de l'aspect environnemental de la nappe d'Hennaya. Les différents polluants potentiels pouvant dégrader la qualité des eaux souterraines ont été identifiés, ainsi que leurs origines. Les teneurs en nitrates enregistrées au niveau des puits contrôlés dépassent largement les normes. En fin de ce chapitre nous donnons quelques recommandations pour améliorer et protéger la qualité des eaux souterraines dans le futur.

Enfin une conclusion générale sera faite en fin du document.

Chapitre I : Contexte général

I.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La plaine d'Hennaya, qui a fait l'objet de notre étude, se situe au Nord du chef lieu de la commune d'Hennaya, a une dizaine de kilomètre au Nord de la ville de Tlemcen.

Elle s'étende sur superficie de 28 Km² et est limitée (Figure I.1) :

- A l'Ouest, par l'Oued Khalouf ;
- A l'Est, par l'Oued Sikkak ;
- Au Sud, par les terrains karstique du Jurassique supérieur qui forment une zone haute ;
- Au Nord, par l'Oued Isser.

La situation de la région d'Hennaya est entre les cordonnées Lambert :

$$126.0 < X < 132.0 \text{ Km}, \quad 191.0 < Y < 201.0 \text{ Km.}$$

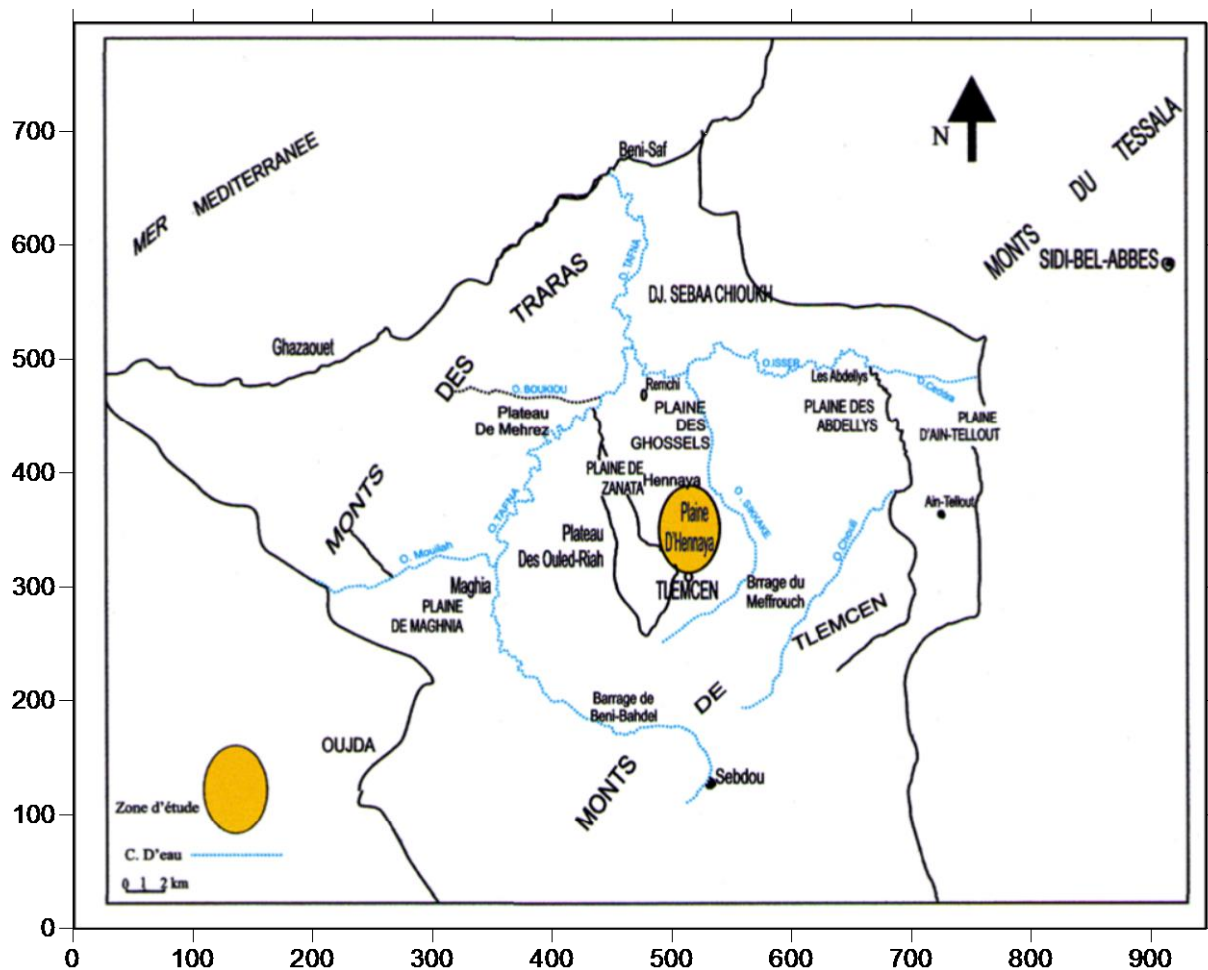


Figure I.1 : Situation géographique de la plaine d'Hennaya.

I.2. CARACTERISTIQUE MORPHOLOGIQUE ET HYDROGRAPHIQUE

La plaine d'Hennaya est plus large à l'Ouest de la ville et surtout au Nord et est située au débouché de deux ravins :

- Le ravin d'Hennaya dit aussi ravin des sources dont le bassin versant occupe une superficie d'environ 14 Km².
- Le ravin formé de Chabet Sidi Kannoun dont la superficie du bassin versant est d'environ 8Km².

Dans sa partie avale, la plaine d'Hennaya compte une dépression assez vaste dont la superficie est de 4 Km².

Elle se prolonge, au Nord, par la plaine des Ghossels et au Nord-Est par la plaine ou le plateau de Zenata.

Le relief plat s'abaisse graduellement vers le Nord (de la cote 400m à la cote 240m).

Elle est sillonnée par deux Oueds parallèles qui descendent vers le Nord-Est, tous tributaires de la Tafna.

- L'Oued Sikkak qui prend naissance sur le plateau de Terni à la source d'Ain Rhannous. Et se déverse dans le barrage Sikkak.
- Le chabet Khlouf : est une rivière de plaine exclusivement, beaucoup plus simple que l'autre.
- La limite nord est représentée par l'Oued Isser qui est un affluent rive droite d'Oued Tafna. Il prend sa source au niveau d'Ain Isser, au Sud de Ouled Mimoun.

I.3. ETUDE DES FORMATIONS GEOLOGIQUE

Notre secteur d'étude, fait partie du domaine Tlemcenien qui s'étend depuis la frontière Algéro-Marocaine à l'Ouest jusqu'à les environs de Tiaret à l'Est et qui constitue une zone de transition entre le domaine Tellien et les hauts plaines oranaises.

Le domaine Tlemcenien est séparé du domaine tellien, au Nord, par la dépression Mio-Plio-Quaternaire (figure I.2) [Medane & Bekadi, 2004].

La plaine d'Hennaya correspond à une dépression tectonique dont le remplissage est constitué par des formations Plio-Quaternaire (conglomérats, travertins et argiles), et des formations miocènes (grès tortoniens et marnes helvétiques) reposent sur une assise jurassique (dolomies et calcaire).

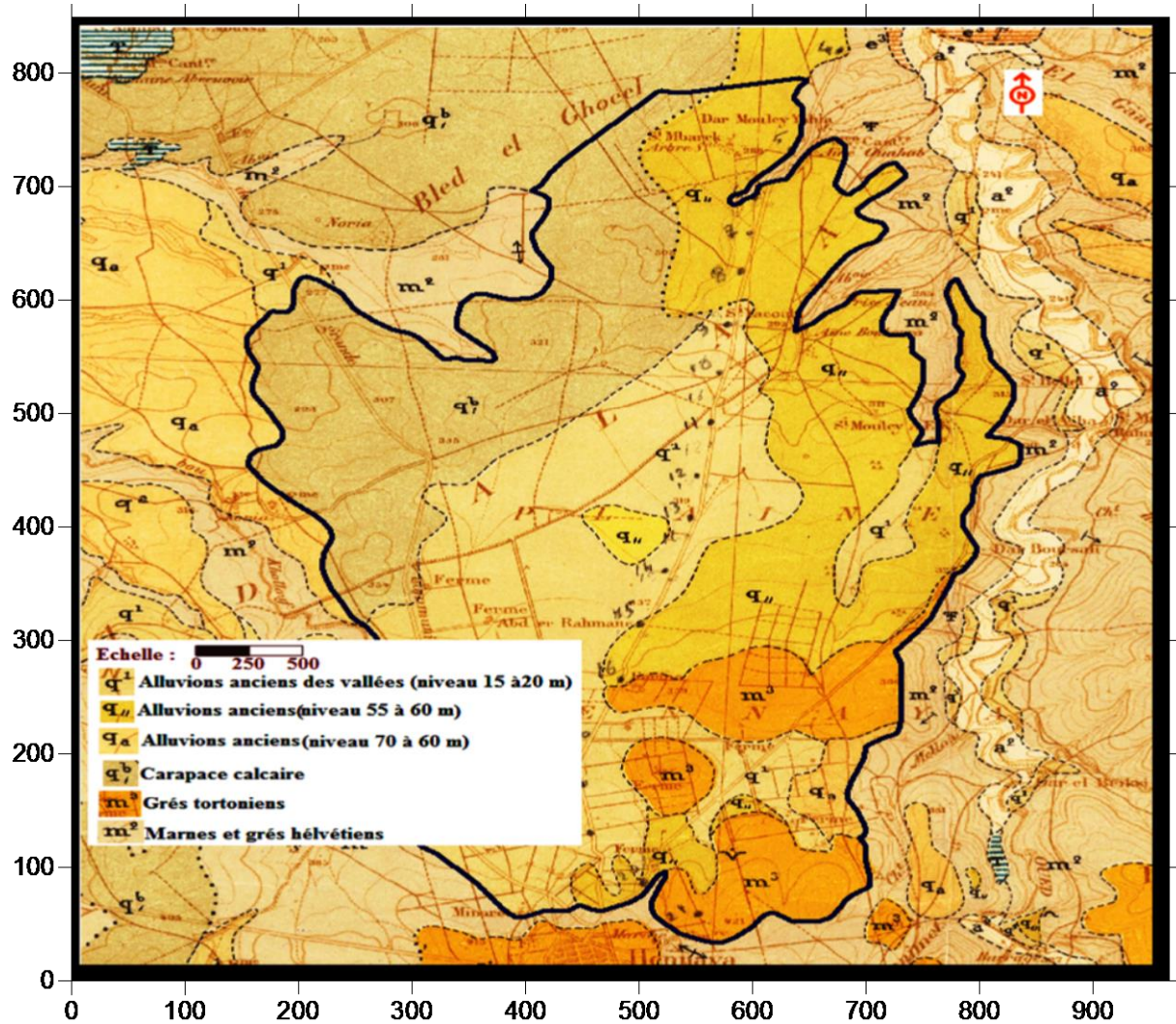


Figure I.2 : Cadre géologique de la plaine d'Hennaya (extrait de la carte géologique Tlemcen 1/50000).

I.3.1. ANALYSE LITHO-STRATIGRAPHIQUE

La plaine d'Hennaya correspond à une dépression tectonique dont le remplissage est constitué par des formations du Plioquaternaire (conglomérats, travertins et argile), du Miocène (grès tortoniens et marnes helvétiques) reposant sur une assise Jurassique particulièrement (dolomitique et calcaire) [Medane & Bekadi, 2004].

I.3.1.1. Le secondaire

Il est représenté par le jurassique supérieur. On peut distinguer :

a. Grés de Boumediene

Ils ne drainent que peu d'eau. Cependant, ils présentent des bancs de grés qui sont assez puissants s'intercalant dans les marnes et sont jugés intéressants parce que ces roches présentent des diaclases qui augmentent leur perméabilité. Grâce aussi à des jeux de failles, ils peuvent apparemment donner naissance à de grandes sources qui sont en réalité alimentées par des impluviums calcaires dolomitiques. Les grés ne jouant que le rôle d'écran filtre [Bouanani, 2004].

b. Les dolomies de Tlemcen

Elles sont assez largement répandues dans le groupement puisqu'elles affleurent au Djebel Tefatisset, Ain El Houtz et Boudjlida. Ce sont des cavités remplies de calcites très dures. L'épaisseur de cette formation est impressionnante puisqu'elle peut atteindre les 300 mètres [Bouanani, 2004].

c. Les marno calcaires de Raourai

Il s'agit d'alternance de marnes grise verdâtre ou blanchâtre et de calcaire marneux durs. En fait, c'est une formation plutôt calcaire que marneuse. Son épaisseur est en moyenne de 40 m. Cette formation est particulièrement bien développée sur le Djebel Tefatisset à la limite Ouest du Groupement au niveau de la ZHUN champ Tir, Djebel Ain el Houtz et El Hadid au Nord de Chetouane [Bouanani, 2004].

I.3.1.2. Le tertiaires

a. L'Eocène

La formation affleure sur une très faible surface au niveau d'Ain Berkouk. C'est un ensemble gréseux de passage de bancs de poudingues dans la basse vallée de l'Oued Isser près de la confluence avec l'Oued Tafna. Ces alternances forment une série de 100 à 150 m d'épaisseur, d'âge éocène supérieur [Medane & Bekadi, 2004].

b. Le Miocène

Le miocène marin se développe presque uniquement sur le versant Nord des monts de Tlemcen. On peut distinguer :

b.1. Le Carténien

Il est constitué par des marnes grises. D'après Doumergue (1910), il fait partie de la miocène inférieure [Medane & Bekadi, 2004].

b.2. L'Helvétien

Il est constitué par une épaisse série des marnes grises ou bleutées dont la masse devient ocrés par altération. Au sein de cette série, s'intercalent de nombreux bancs décamétriques de grés jaunes, plus fréquent au sommet. Ces marnes sont très développées dans la vallée de la rive droite de l'Oued Sikkak où leur puissance est de l'ordre de 100 mètres [Medane & Bekadi, 2004].

b.3. Le tortonien

Ce sont des grès fissurés jaune avec par endroits de minces poussées marneuses. Les grès sont assez durs, mal limités. Localement ce tortonien peut avoir des faciès différents représentés par des argiles plus ou moins sableuses, ce qui explique la complexité géologique de la ville de Tlemcen. Et c'est justement au niveau de ces smectites ou argiles gonflantes par excellence, qu'un grand nombre de désordre géotechnique de la ville sont enregistré, dues aux tassements et aux retraits. Gonflement surtout pendant les dernières décennies de sécheresse. L'épaisseur de cette formation varie de 20 à 30 mètres [Bouanani, 2004].

b.4. Pliocène (conglomérats de la plaine d'Hennaya)

Au niveau des exutoires de la nappe d'Hennaya (Aïn Boukoura, Aïn Ouahab, Aïn Halilifa, et Aïn El Kahla), les conglomérats forment une bande continue qui va du Nord de l'agglomération d'Hennaya à Aïn Halilifa.

Il s'agit des poudingues polygéniques, hétérométriques, très consolidés à éléments calcaires dolomitiques et à ciment calcaire.

-les conglomérats de la plaine d'Hennaya sont :

- Soit immédiatement postérieurs aux grès tortoniens, ils correspondraient donc à la phase régressive qui a terminé le Miocène.
- Soit Pliocène.

Ces poudingues qui surmontent et remanient les grès tortoniens, ont une épaisseur moyenne de 7 m, déterminée par sondages [Medane & Bekadi, 2004].

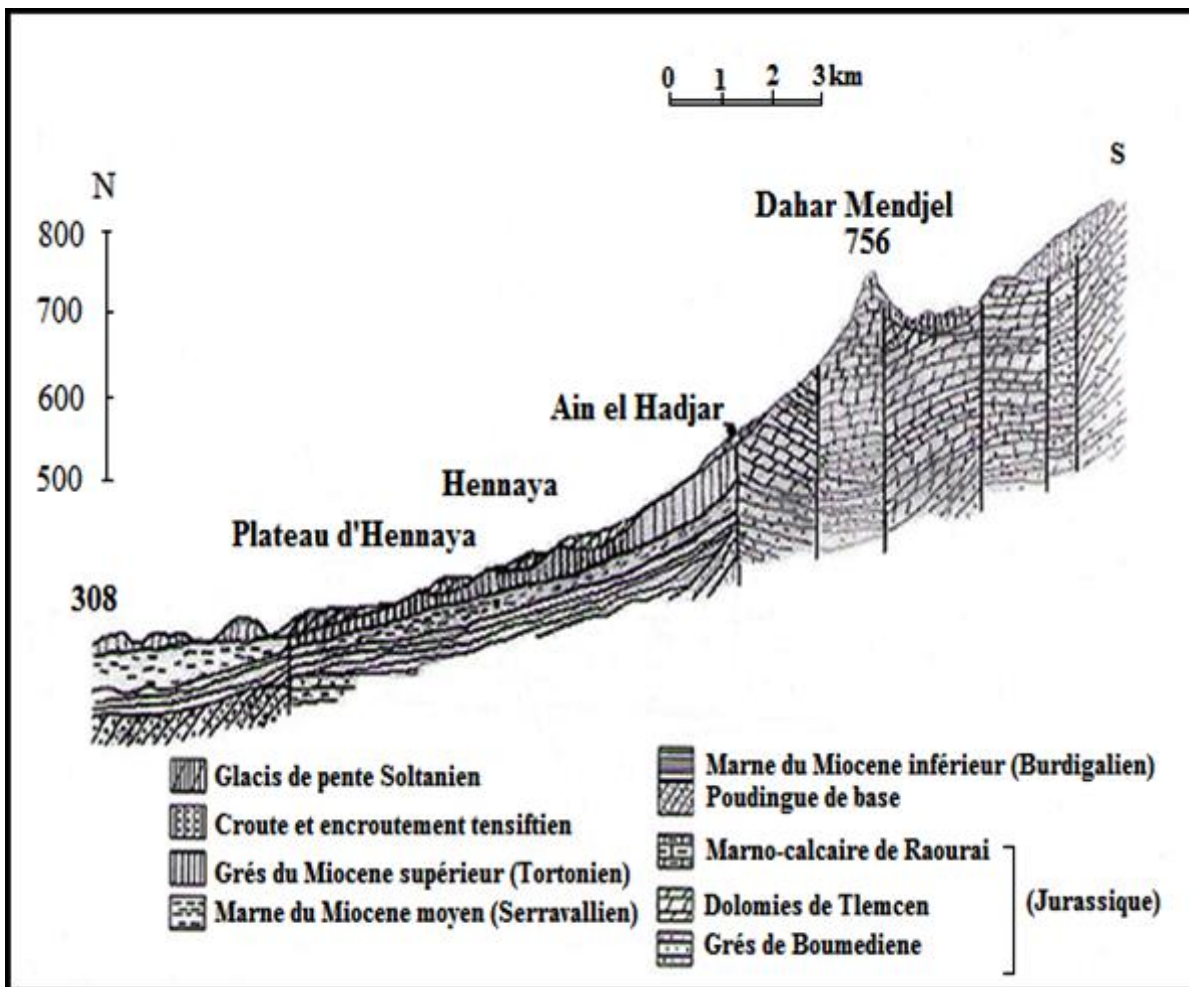


Figure I.3 : Coupe schématique de plateau d'Hennaya [Hayane, 1983].

Les conglomérats sont bien illustrés dans la figure I.4 Ainsi, la figure I.5 illustre la disposition observée au niveau de la source Ain Hallilifa.

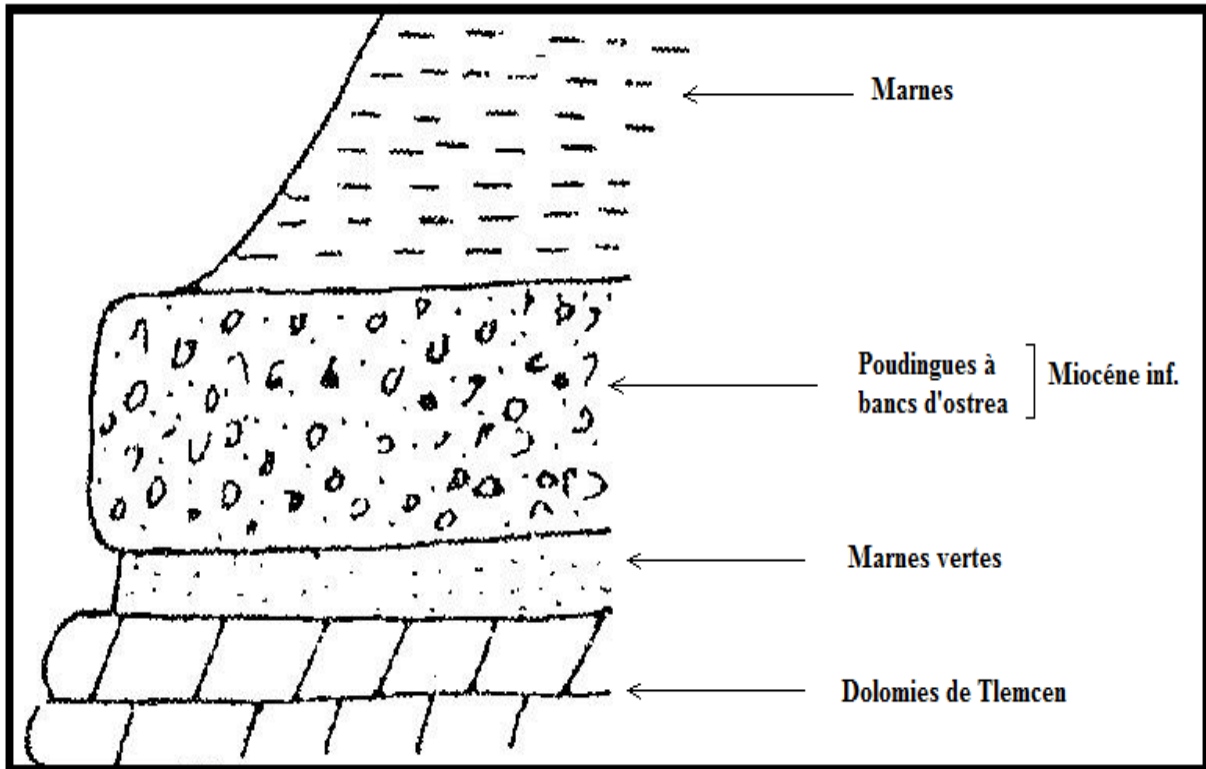


Figure I.4 : Présentation des conglomérats de base [Hayane, 1983].

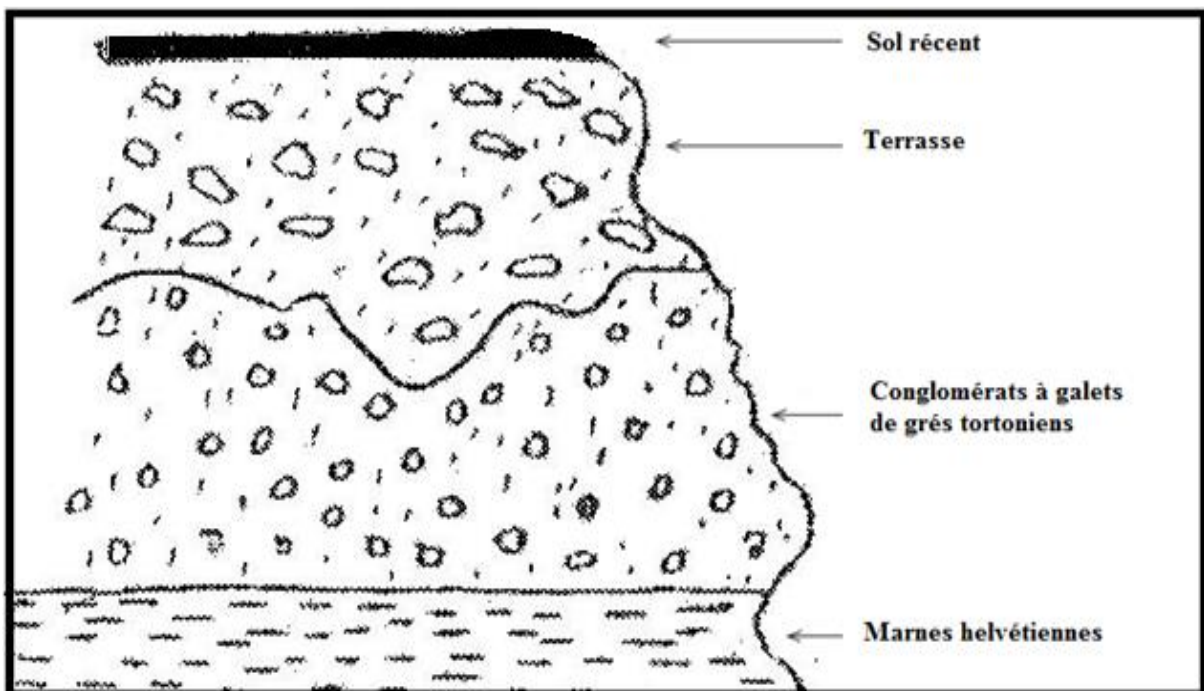


Figure I.5 : Disposition observée au niveau de la source d'Ain Hallilifa [Hayane, 1983].

Une coupe, au niveau d'Ain Ouehab, nous montre la succession suivante :

- Des conglomérats occupent le fond du lit de l'Oued sur les marnes de l'Helvétien.
- Ces conglomérats renforcent des éléments de gré jaune tortoniens.

En rive droite de l'Oued apparaît, au dessus des poudingues, une croute épaisse et bien consolidée de forme analogue aux croutes datées du Moulouyen. Les poudingues de la plaine d'Hennaya n'appartiendraient donc pas au cycle quaternaire [Medane & Bekadi, 2004].

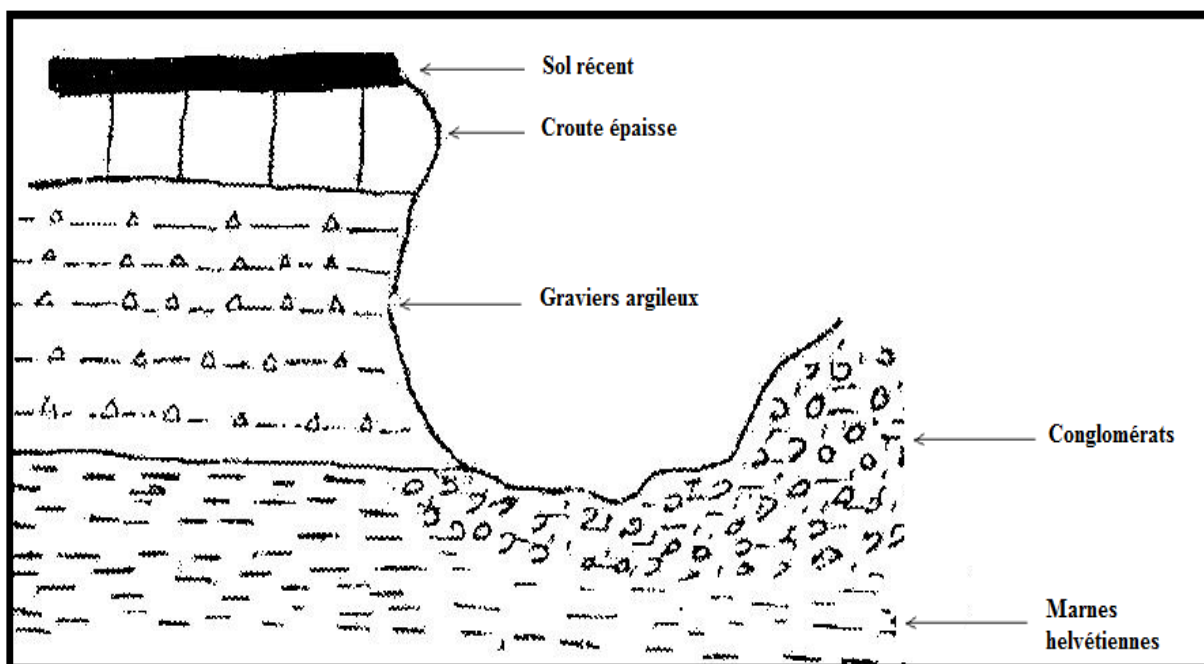


Figure I.6 : Poudingues observés en rive droite de l'Oued Sikkak [Hayane, 1983].

Selon Hayane (1983), ces conglomérats pourraient être soit du pliocène soit postérieurs aux grés tortoniens et correspondraient alors à la phase régressive qui a terminé le Miocène.

c. Le Quaternaire

La quaternaire n'est représenté que par des formations continentales qu'il est difficile de dater précisément. Au Nord des monts de Tlemcen, les dépôts alluvionnaires atteignent rarement plus de 100 mètres. Il s'agit de marnes sableuses ou d'argile peu perméables. Une étude de ces dépôts continentaux a été proposée par Guardia en 1975 [Medane & Bekadi, 2004].

▪ **Le complexe de piémont**

La bordure des massifs secondaires est soulignée par des éboulis de piémonts plus ou moins encroutés d'épaisseur assez faible [Medane & Bekadi, 2004].

▪ **Les travertins**

Ils constituent des puissants dépôts disposés en terrasses et s'avancant en hautes falaises (plateau de Lalla Setti). Leur épaisseur peut dépasser les 60 mètres. Ces dépôts proviennent de la dissolution interne des massifs calcaires dolomitique, témoignent de l'importance des résurgences.

▪ **La carapace calcaire**

Cette carapace recouvre les formations miocènes et forme l'entablement subhorizontal des plateaux [Guardia, 1975 in Medane & Bekadi, 2004].

Elle est bien développée sur la plaine d'Hennaya et vers l'Est dans la région des Ouled Alaa elle peut atteindre 10 m [Medane & Bekadi, 2004].

▪ **La croute calcaire**

Formée par l'encroûtement de teinte claire et des croûtes lamellaires. Cet encroûtement est bien marqué sur la plaine d'Hennaya ou il masque partiellement les grès tortoniens.

Cet encroûtement de teinte calcaire et des croutes lamellaires n'a qu'une épaisseur réduite de l'ordre d'un mètre.

▪ **Le glacis de pente soltanien**

Il s'agit des formations soltaniennes le plus souvent limono-argileuses. La partie des marnes non atteintes par les érosions récentes montrent de grands glacis de sols rouges se raccordant à la terrasse soltaniennes [Medane & Bekadi, 2004].

▪ **La terrasse soltaniennes**

L'Oued Sikkak est jalonné par des lambeaux de terrasses s'élevant de 10 à 12 m au-dessus des alluvions récentes du lit majeur. Le plus souvent limono-argileuses, de teinte brique et non encroutées, ces terrasses représentent le Soltanien [Medane, Bekadi. 2004].

▪ **Les alluvions anciennes et encroûtements carbonatés**

Ce sont des matériaux grossiers, caillouteux et limoneux, ont les rencontres dans les fonds de vallées du groupement et des dépôts de ruissellement.

I.3.2. ETUDE LITHOLOGIQUE A PARTIR DES DONNEES DES SONDAGES DE RECONNAISSANCES

L'aspect lithologique concerne la nature, la répartition spatiale et la disposition structurale des terrains (figure I.7).

Les données de sondages permettent de préciser les horizons aquifères (tableau 1 de l'annexe I).

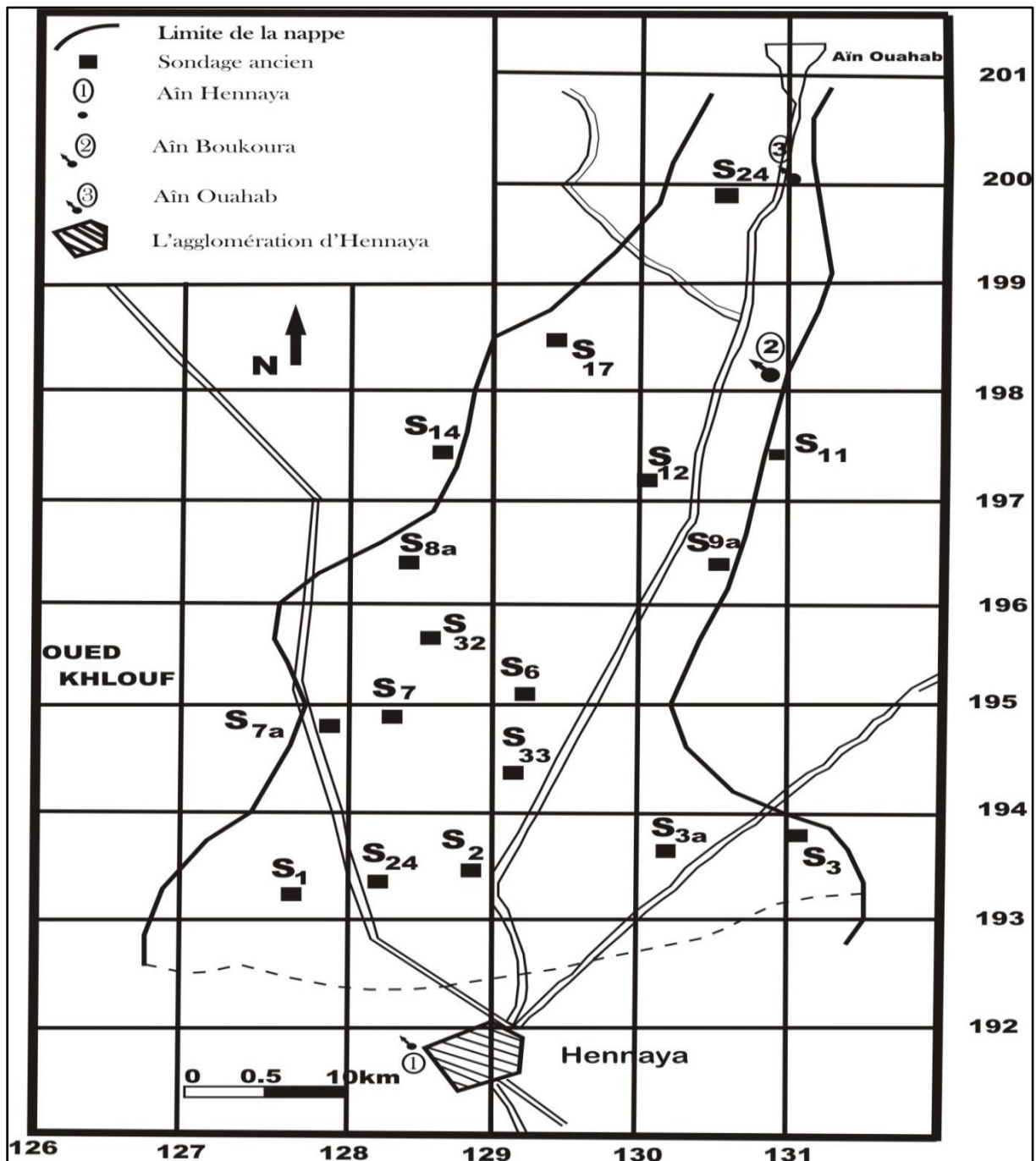


Figure I.7 : les sondages de reconnaissances de la plaine d'Hennaya [Medane & Bekadi, 2004].

Le recouvrement du Plio-Quaternaire est très variable d'une localité à une autre. La variation de ces formations est bien illustrée dans les coupes de corrélation litho stratigraphiques.

La granulométrie est de fraction fins (argileuses à marneuses) aux grossières fractions (galet, conglomérats).

L'épaisseur des alluvions tend à diminuer du Sud-Ouest au Nord-Est.

On note également que les sédiments quaternaires couvrent toute cette dépression sauf dans la région d'Hennaya où affleurent les grés du tortoniens.

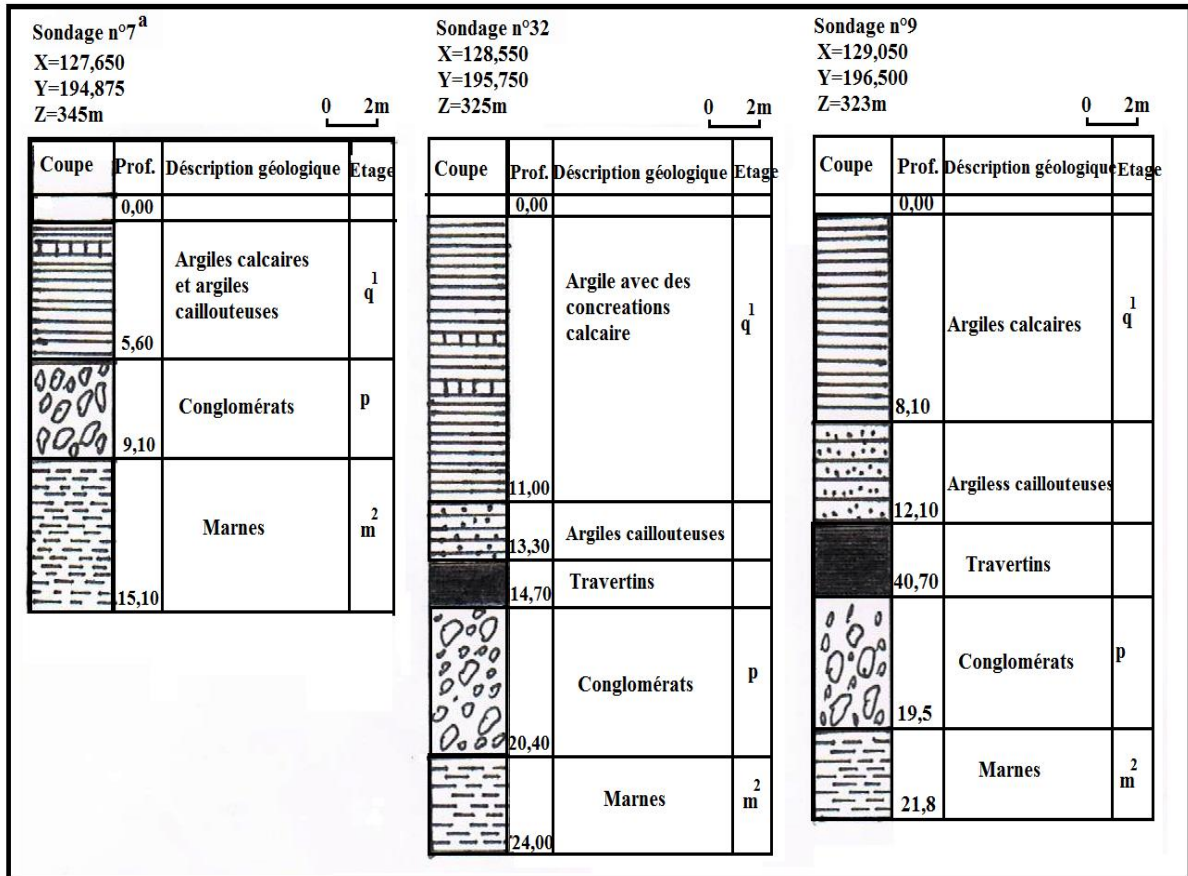


Figure 1.8 : Coupe des sondages (S-7^a, S-32, S-9^a) [Medane & Bekadi, 2004].

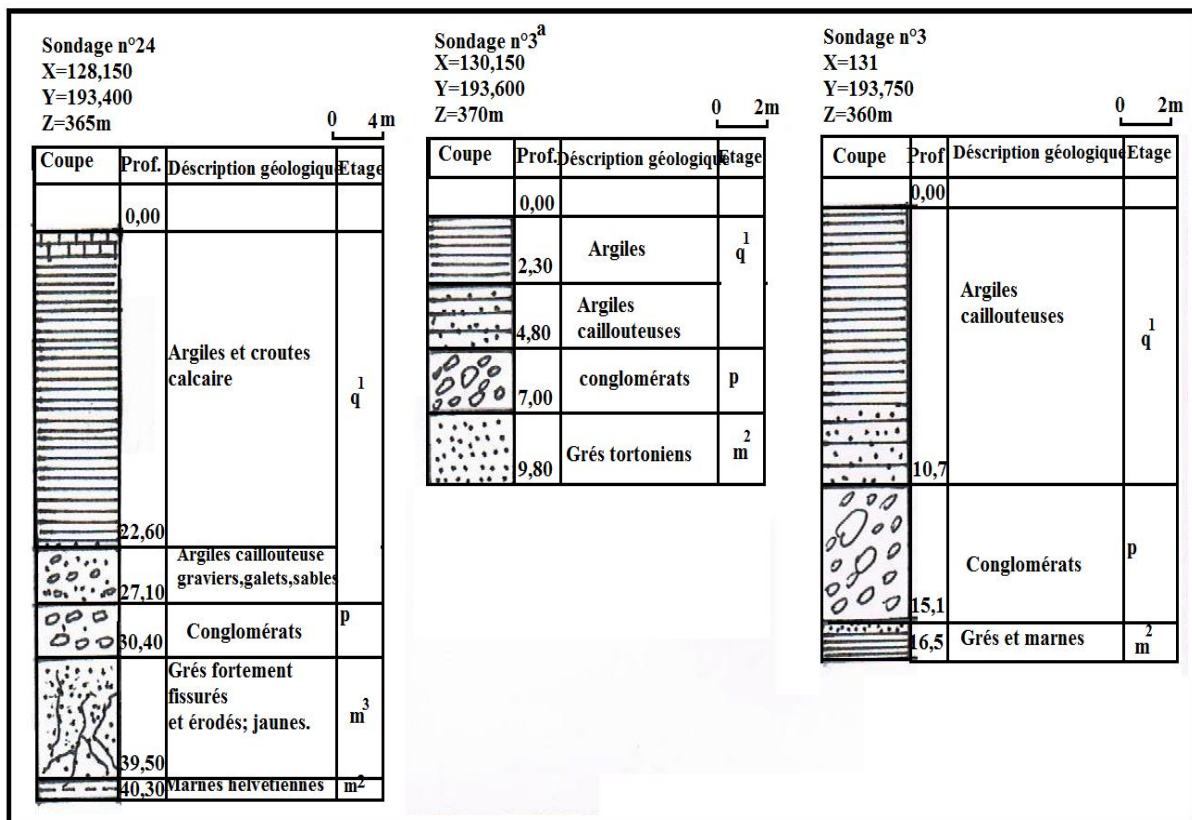


Figure 1.9 : Coupe des sondages (S-24, S-3^a, S-3) [Medane & Bekadi, 2004].

Le recouvrement du Plio-Quaternaire est très variable d'une localité à une autre.

La variation de ces formations est bien illustrée dans les coupes de corrélation lithostratigraphiques.

La granulométrie est de fractions fines (argileuses à marneuses) aux fractions grossières (galet, conglomérats).

L'épaisseur des alluvions tend à diminuer du Sud- Ouest au Nord- Est.

On note également que les sédiments quaternaire couvrent toute cette dépression sauf dans la région d'Hennaya où affleurent les grès du Tortonien.

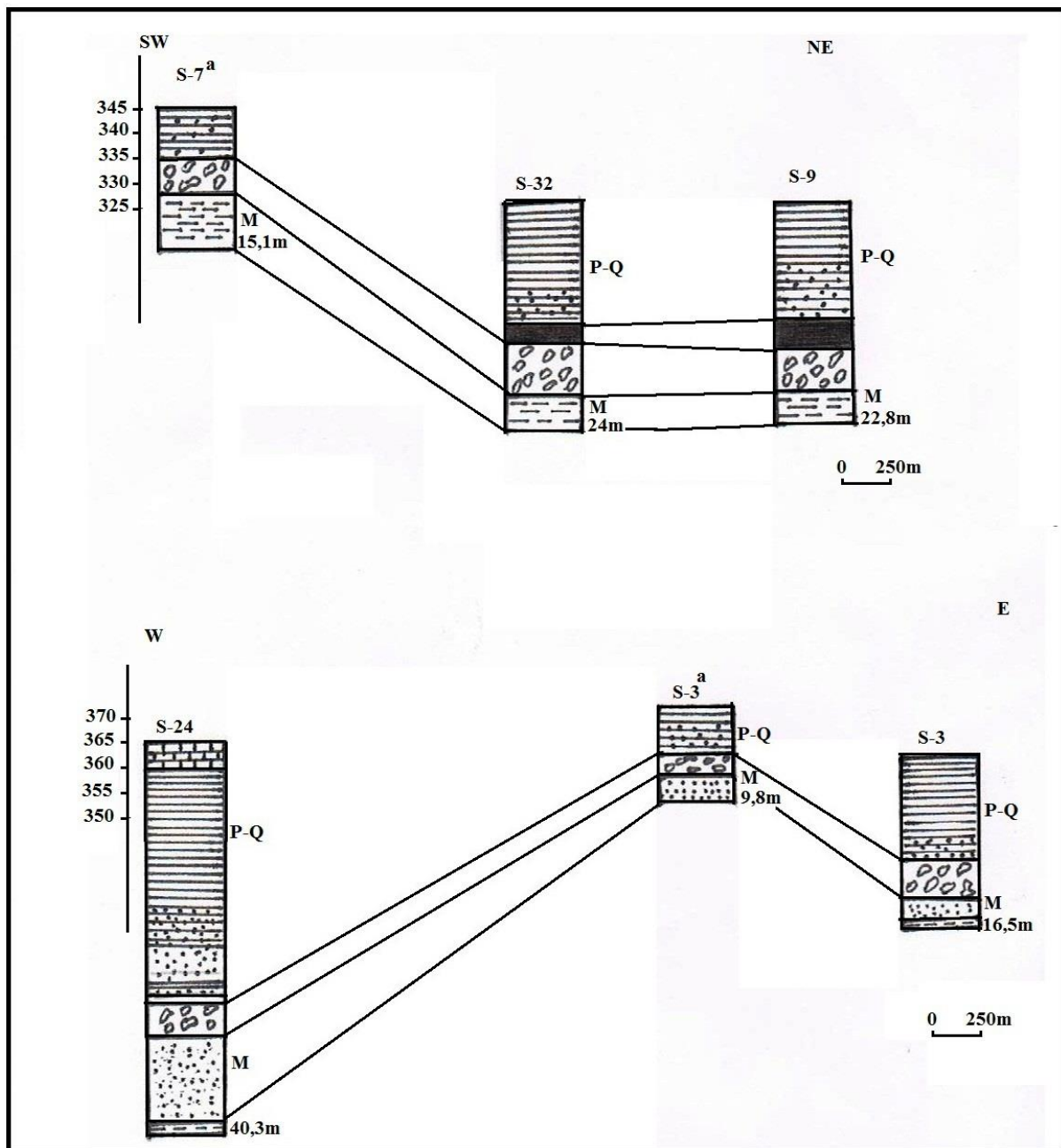


Figure I.10 : Coupes des corrélations entre les sondages [Medane & Bekadi, 2004].

I.3.3. ANALYSE STRUCTURALE

La plaine d'Hennaya correspond à une cuvette remplie de dépôts d'âge miocène et quaternaire et est entouré par des reliefs jurassiques limités par des failles : Au Nord par les monts de Sebaa Chioukh et au Sud par la zone des Djebels Tefatisset et Ain El Houtz.

La tectonique de la région d'étude est, en général, de type cassant.

Les résultats du jeu de plusieurs accidents parallèles et verticaux Sud-ouest, Nord-est abaissent la série vers le Nord, par grabens.

La complexité des accidents sur la bordure Nord des monts explique le compartimentage des blocs et par conséquent une multitude d'aquifère.

I.3.3.1. Phases envisagées

Selon M. benest et M.bensalah (1999), trois phases tectoniques sont envisagées :

a. Phase éocène

Subsidence avec un jeu de mouvements compressifs puis distensifs qui sont contrôlés par le jeu ou le rejeu des grands accidents Sud-ouest, Nord-est et Sud-est, Nord-Ouest et subméridiens [*Medane & Bekadi, 2004*].

b. Phase atlasique

Guardia (1975) à envisagé deux types de mouvements :

- Phase de compression Nord-Sud à Nord-Ouest, Sud-est : Des structures coulissantes et chevauchantes ;
- Phase dominante distensive : Formation des horsts et grabens par le rejeu des failles ;
- Phase récents au Plioquaternaire [*Medane & Bekadi, 2004*].

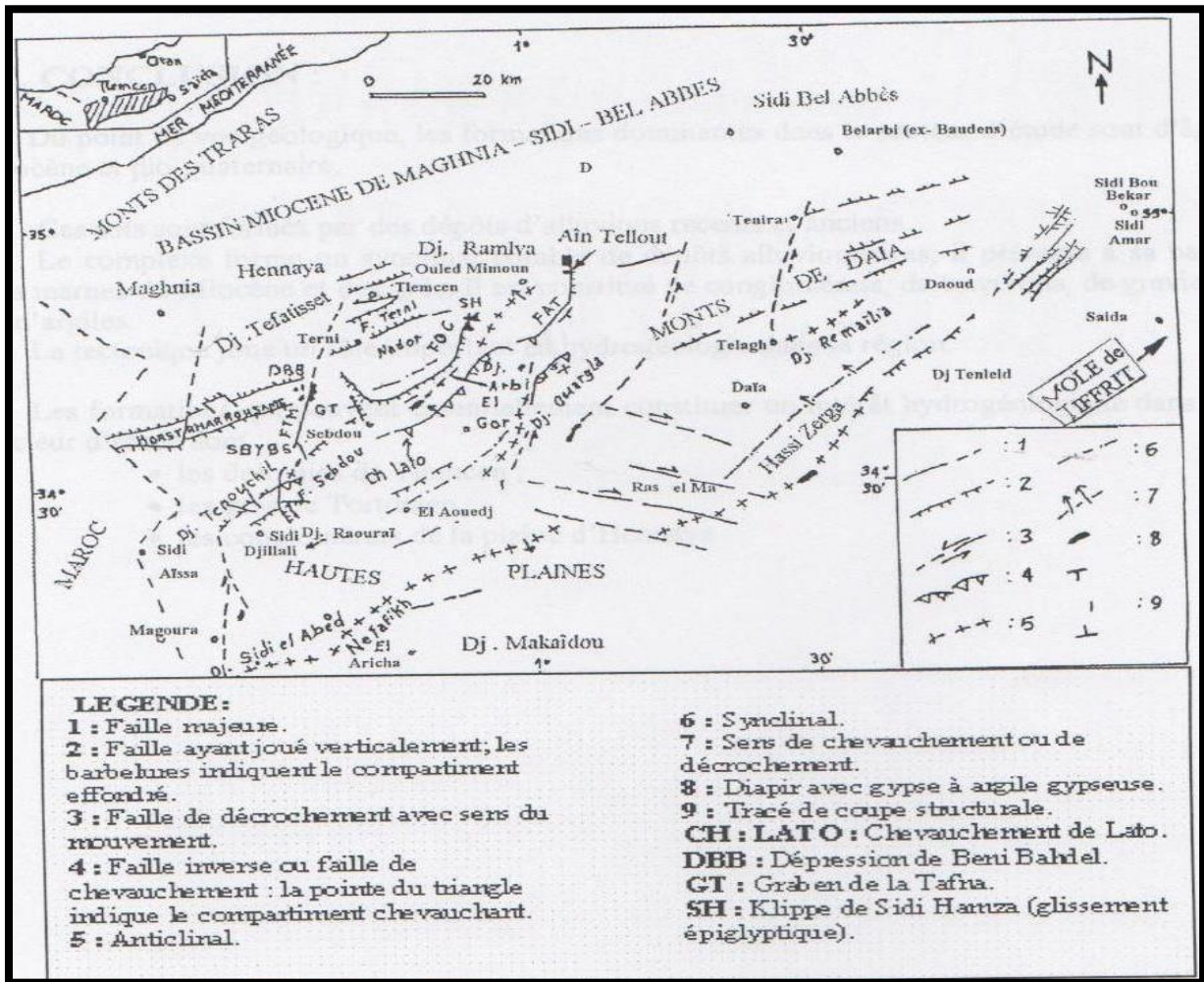


Figure I.11 : Schéma structural de l'avant pays tellien entre Saïda et la frontière Algéro-marocaine [Benest 1985].

I.3.3.2. Unités structurales

a. La zone effondrée de Tlemcen

Elle fait partie du même ensemble effondrée que la plaine de Maghnia dont elle est séparée par le Djebel Tefatisset. Elle est limitée au Sud et au Nord par des failles. Cette dernière de direction Ouest-Sud-Ouest, Est-Nord-Est passant par Bréa et Chatouane relie les panneaux des Djebels Tefatisset et Ain El Hout [Medane & Bekadi, 2004].

b. La zone haute des Djebels Tefatisset et Ain El Houtz

Elle est limitée au Sud par une grande faille et au Nord par une série de failles en relais de même direction. La plupart de ces failles ont deux directions principales :

- Direction Ouest-Sud-ouest, Est-nord-est (Nord 70 °E) ;
- Direction Est-sud-est, Ouest-nord-ouest (Nord 140 °E).

I.4. ETUDE DE CLIMAT

La zone d'étude jouit d'un régime pluviométrique complexe influencé par le climat méditerranéen caractérisé par une saison pluvieuse (Septembre à Mai) et par un été sec.

Le comportement des nappes aquifères et la variation du niveau piézométrique dépendent étroitement des précipitations et des prélèvements. Il est important de signaler à cet effet que l'alimentation est régie par la fraction de pluie qui s'infiltre vers la zone saturée, constituant à moyen terme la véritable ressource mobilisable.

L'étude des paramètres hydrogéologiques nécessite un traitement détaillé des observations climatologiques. A cet effet, il s'avère nécessaire, dans ce chapitre, de quantifier et d'analyser les principaux paramètres (pluviométries, températures et évaporations) de la station de Zenata.

Tableau I.1 : Présentation de la station météorologique de Zenata.

Station	Altitude(m)	latitude	Longitude	Période
Zenata	247	35°050'' N	01°27'25''W	1991-2011

I.4.1. ETUDES DES PARAMETRES CLIMATIQUE

I.4.1.1. Les Précipitations

La pluviométrie est le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat. En effet, les précipitations sont l'un des facteurs climatiques qui conditionnent le maintien et la répartition du tapis végétal d'une part et la dégradation du milieu naturel par phénomène d'érosion d'autre part.

a. Précipitations annuelles

Pour cette étude, nous avons pris en considération les valeurs des précipitations annuelles de station suscitée (Tableau 2 d'annexe I), les moyennes annuelles sont regroupées dans la figure I.12.

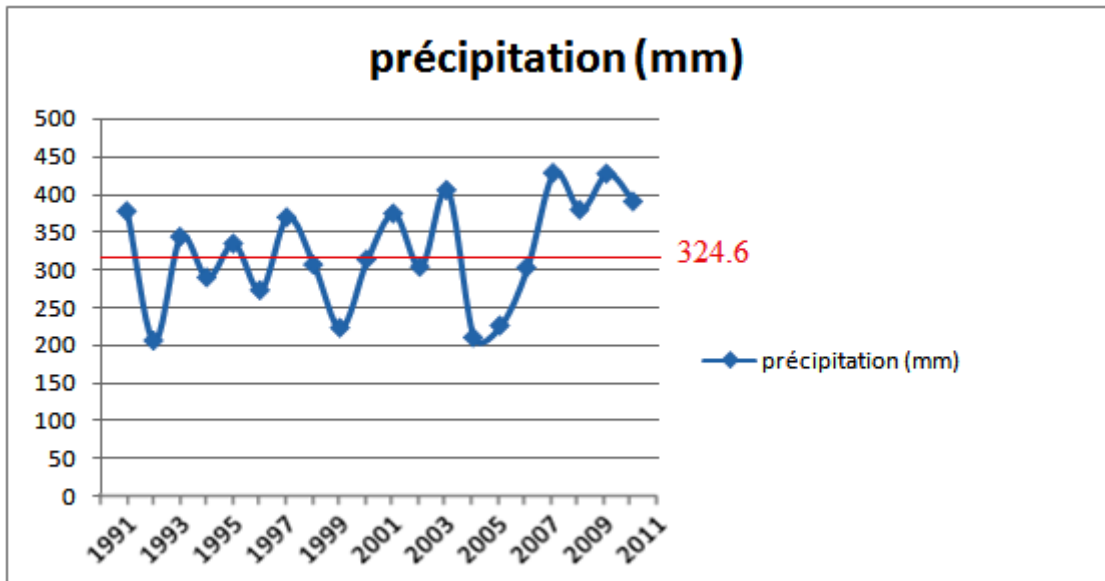


Figure I.12 : Précipitations moyennes annuelles (station de Zenata ; 1991-2011).

Pour la station de Zenata, la moyenne des précipitations interannuelles pour la période (1991-2011) est de 324,6 mm.

b. Précipitations mensuelles

Les moyennes mensuelles de la pluviométrie pendant 20 ans, entre 1991 et 2011, sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau I.2 : valeurs des précipitations moyennes mensuelles de la période 1991-2011 (station de Zenata).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Annuel le
P(mm)	19,92	32,58	44,98	45,8	42,33	39,76	47,34	35,81	29,91	5,81	6,76	7,68	358,68

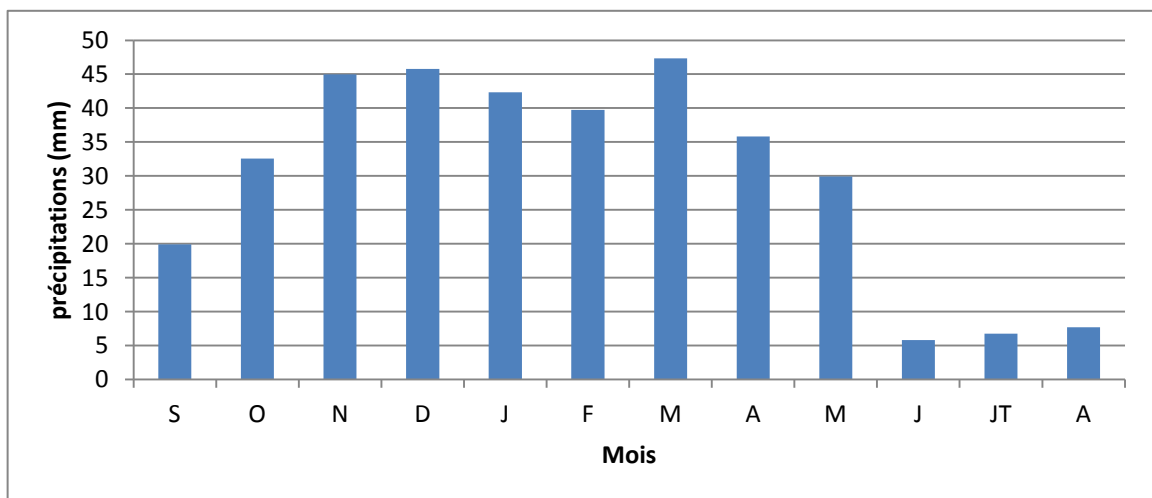


Figure I.13 : précipitations moyennes mensuelles (station de Zenata ; 1991-2011).

L'évolution des précipitations moyennes mensuelles montre que le mois de Mars est le plus humide avec 47,34 mm et le mois de Juin est le plus sec avec 5,81 mm. Toutefois les mois de Novembre et Décembre présentent des maxima pluviométriques secondaires avec respectivement 44,98 et 45,8 mm.

c. Pluviométrie saisonnière

Les valeurs de la répartition des précipitations saisonnières sont marquées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.3 : valeurs des précipitations saisonnières de la période 1991-2011

station	Automne	Hiver	printemps	Eté
Hennaya	97,48	127,89	113,06	20,25

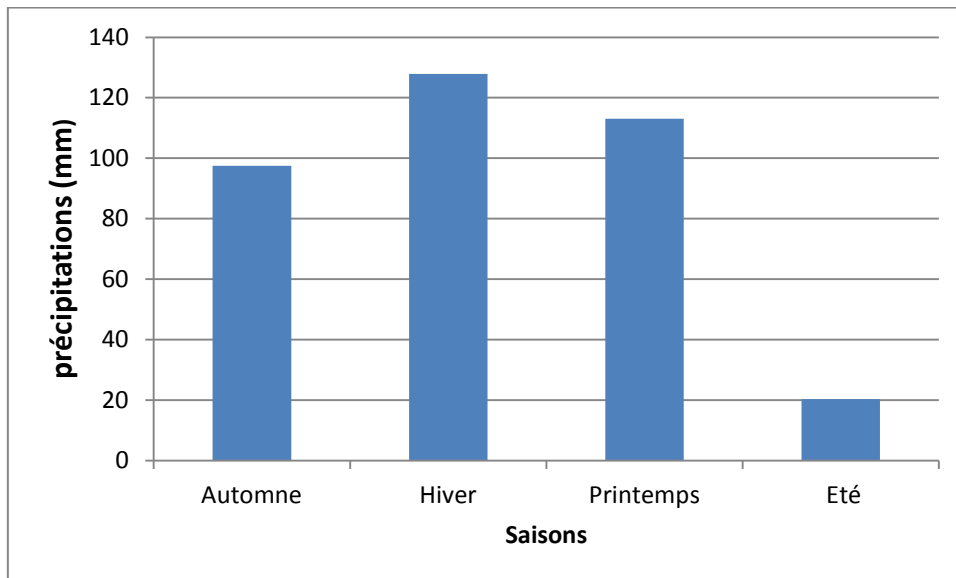


Figure I.14 : Histogramme des précipitations saisonnières pour la période (1991-2011) d'après la station de Zenata.

La représentation de la distribution des précipitations saisonnières sur la figure I.14 montre que l'Hiver et le Printemps sont les saisons les plus humides suivis de l'Automne. Par contre l'Eté accuse un déficit remarquable.

I.4.1.2. Les Températures

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique.

a. Température moyenne mensuelles

Les moyennes mensuelles de la température mesurées pendant la période (1991-2011) sont représentées dans le tableau I.5

Tableau I.4 : Valeurs mensuelles des températures en (°C) à la station Zenata (1991-2011)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	moy
T_M	29,64	25,98	21,12	17,75	16,71	18,59	20,18	22,36	25,52	28,98	31,89	33,54	24,35
T_m	17,38	13,76	9,06	6,75	5,51	6,37	7,61	9,48	12,69	16,35	20,53	20,20	12,14
T_{moy}	23,5	19,87	15,09	12,25	11,11	12,48	13,89	15,92	19,1	22,66	26,21	26,87	18,24

T_M : moyenne mensuelle des températures maximales (°C).

T_m : moyenne mensuelle des températures minimales (°C).

T_{moy} : Température moyenne mensuelle (°C).

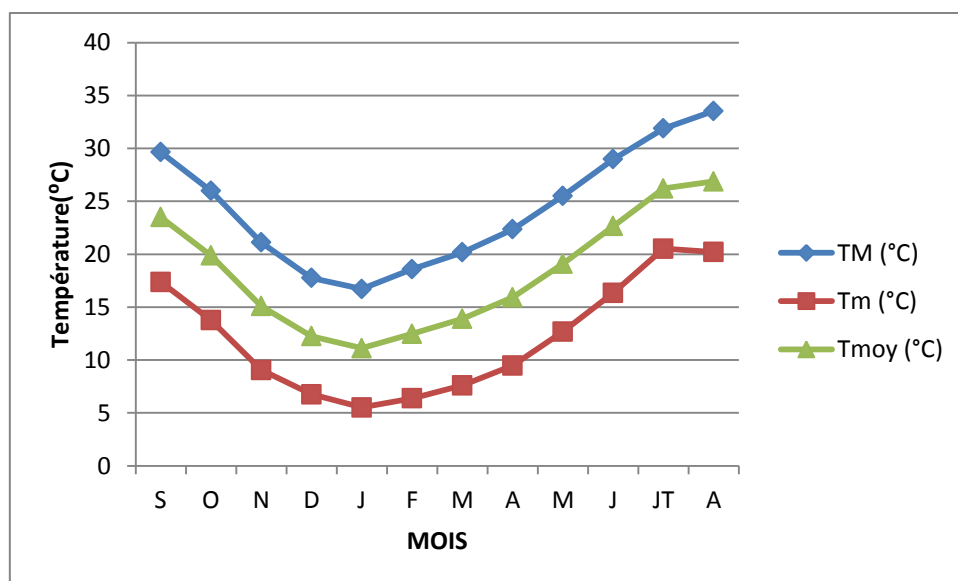


Figure I.15 : températures mensuelles à la station de Zenata (1991-2011).

La courbe de la température mensuelle sur la (figure I.15) montrent que :

- Le mois le plus froid est celui de Janvier avec près de 11°C.
- Le mois le plus chaud est celui d’Août avec presque 27 °C

I.4.2. LES INDICES CLIMATIQUE

L’étude du climat peut être réalisé à partir :

- ✓ des méthodes de Visualisation, des périodes sèches et des périodes humides
- ✓ du calcul des indices climatiques annuels et mensuels permettant à partir des précipitations et températures la détermination du climat.

I.4.2.1. **Indice d’aridité annuel de De Martonne :**

Cet indice est donné par : $I = \frac{P}{T+10}$

Avec : P=précipitation moyennes annuelles (mm).

T=Températures moyenne annuelle (°C).

P= 324,6 mm T=18,24 I= 12,7

La valeur de De Martonne est comprise entre 10 et 20.

Son report sur l’abaque de De Martonne montre que notre région est située en régime semi-aride (figure I.16).

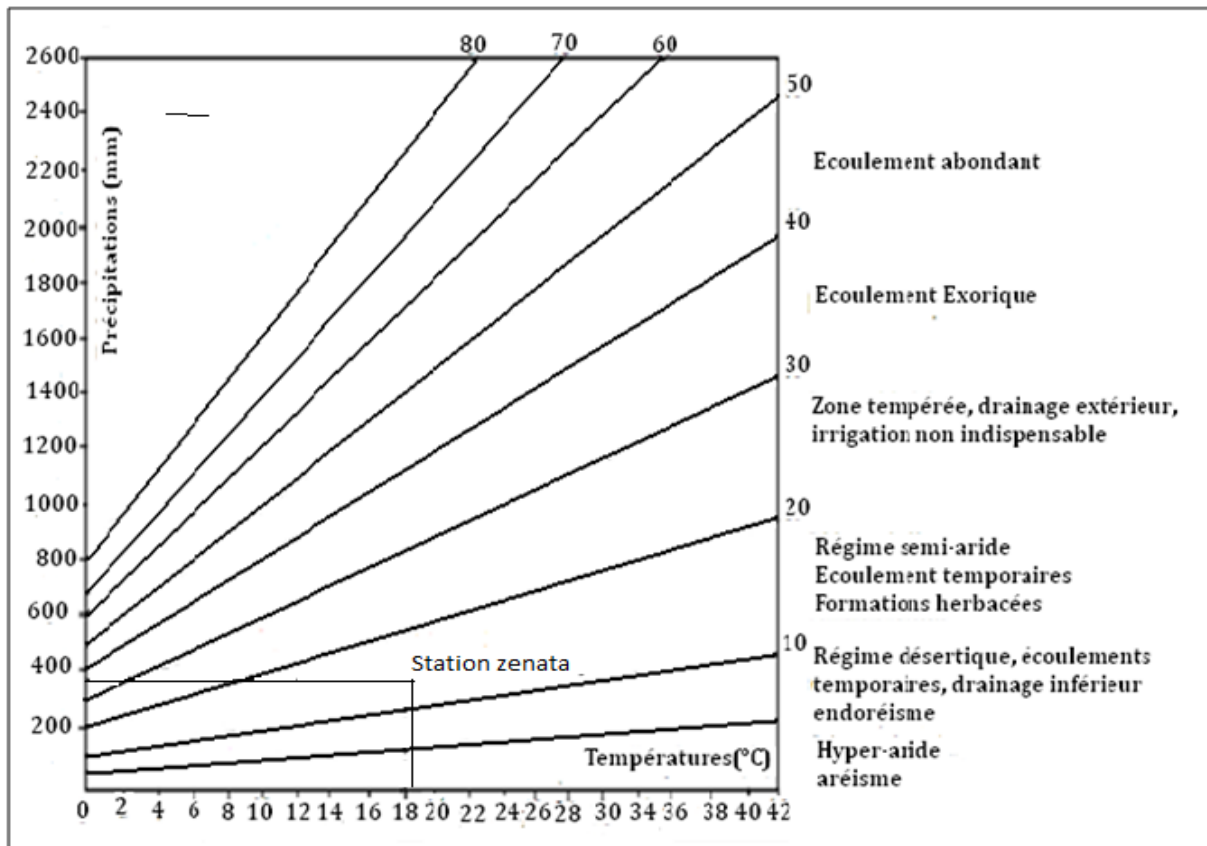


Figure I.16: Abaque d’aridité annuel de De Martonne.

I.4.2.2. Indice d'aridité mensuel de De Martonne :

Cet indice est donné par la relation :

$$i = \frac{12p}{t+10}$$

p : Précipitations moyennes mensuelles (mm)

t : Température moyenne mensuelle (°C).

Tableau I.5 : Valeurs des indices d'aridité mensuels.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
p	19,92	32,58	44,98	45,8	42,33	39,76	47,34	35,81	29,91	5,81	6,76	7,68
t	23,5	19,87	15,09	12,25	11,11	12,48	13,89	15,92	19,1	22,66	26,21	26,87
i	10,7	12	14,29	16,12	16,22	15,95	15,01	13,83	12,35	10,98	9,90	9,73
Type	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	A	A

SA : Semi-aride

A : Aride.

Le calcul des indices d'aridité mensuelle (tableau.I.6) montre que le climat est de type :

- aride : aux mois de, Juillet et Août.
- semi-aride : aux mois de Janvier, Février, Mars, Avril, Novembre, Mai, septembre, octobre et décembre.

I.4.2.3. Quotient pluvio-thermique d'EMBERGER :

La formule du Quotient pluvio-thermique établie par EMBERGER en 1955 est la plus adaptée aux climats méditerranéens.

$$Q_2 = \frac{1000P}{\left(\frac{M+m}{2}\right) \times (M-m)}$$

Q₂ = Quotient pluvio-thermique d'EMBERGER.

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

M : moyennes des températures maximales du mois le plus chaud (°K).

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid (°K).

M-m : Amplitude thermique extrême moyenne (°K).

T (°K) = T (°C) +273.

Q₂ = 43,74

La (figure I.17) montre que le point représentatif sur le climagramme d'EMBERGER correspond à un climat semi-aride à hiver Tempéré.

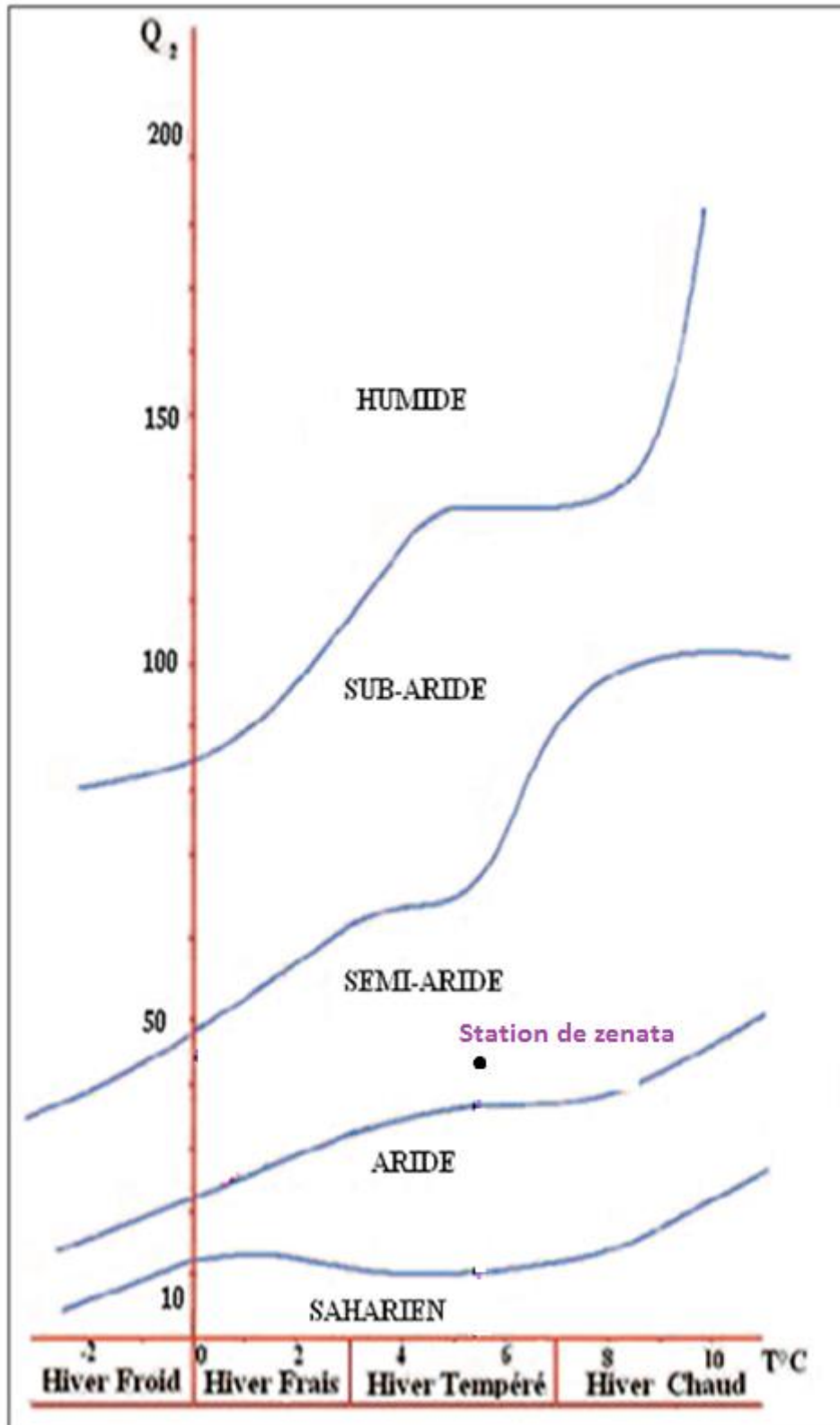


Figure I.17 : Climagramme d'Emberger.

I.4.3. DEFICIT D'ÉCOULEMENT

Cette méthode permet d'obtenir une valeur du déficit d'écoulement en fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations à partir d'un abaque. Le report de P et T sur ce dernier (figure I.18) donne un déficit de 324,6 mm/an.

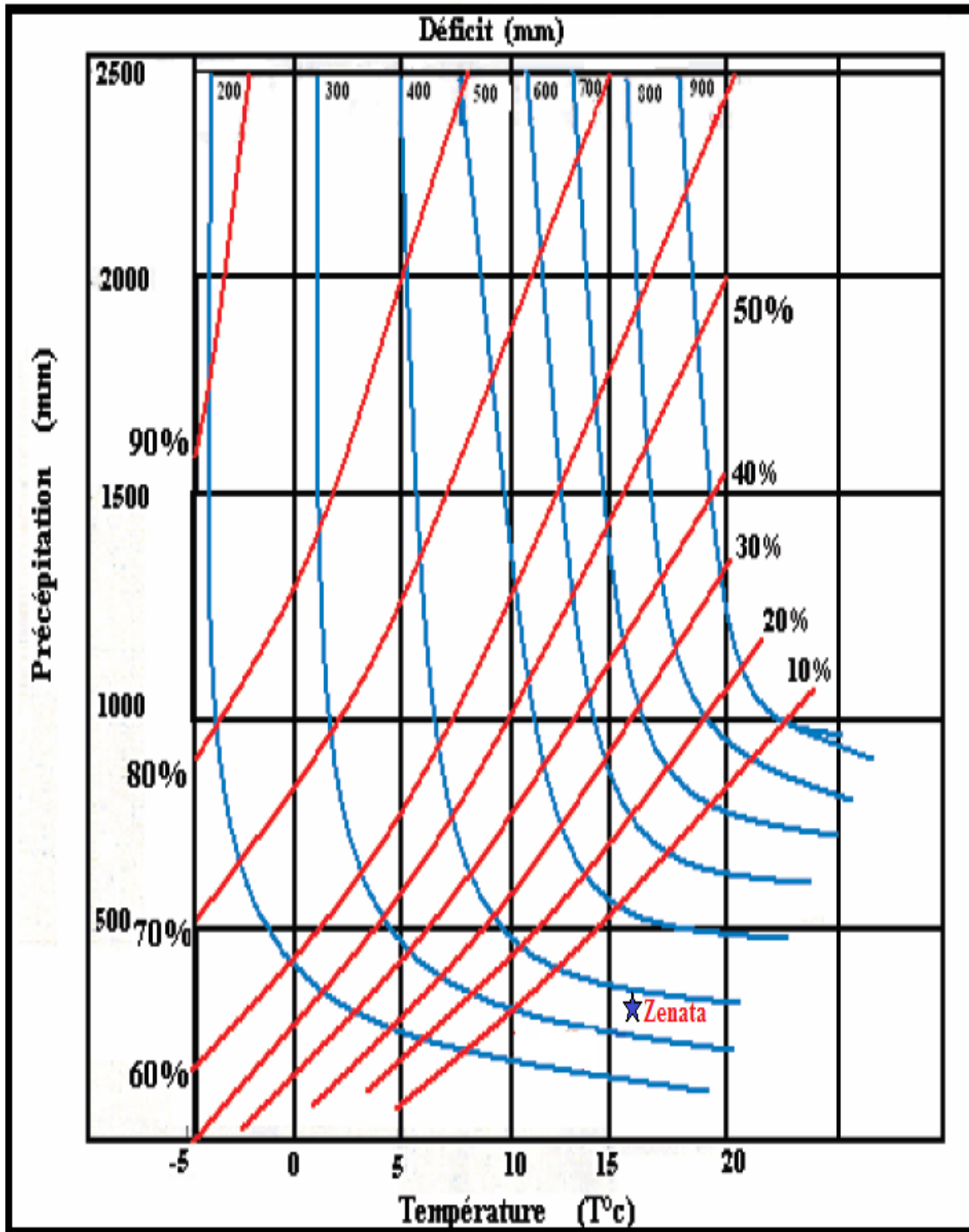


Figure I.18 : Détermination du déficit d'écoulement par la méthode de Wundt.

I.4.4. EVAPOTRANSPIRATION REELLE

On peut la calculer en basant sur la formule de **Turc**.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle (mm/an).

P : précipitations moyennes annuelles (mm/an).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Avec $L = 300 + 25T + 0,05T^3 = 936,11$

Donc : $ETR = 317,26\text{mm/an}$.

I.4.5. EVAPOTRANSPIRATION POTENTIEL

Pour déterminer les valeurs évapotranspiration potentielle, on utilise Méthode de Thornthwaite (figure I.19) :

$$ETP = 1,6 \left(\frac{T_m}{I} 10 \right)^a$$

ETP : évapotranspiration potentielle.

T : température moyenne annuelle en (°C).

I : somme de 12 indices mensuels(i) avec : $i = \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1.514}$.

$$a = \frac{1.6}{100} I + 0.5 \quad \text{avec } a = 1.90$$

Les valeurs obtenues sont corrigées par un coefficient de correction k qui dépend de la latitude.

Tableau 1.6 : Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
ETP Calculée (cm)	108,1	74,2	39,8	24,4	23,3	24,2	39	53,3	85,8	115,5	151,1	190,2
I	1.3	0.98	0.89	0.88	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14
ETP Corrigée (cm)	140,5	72,7	35,4	21,4	20,9	21	40,1	57,5	101,2	135,1	181,3	216,82

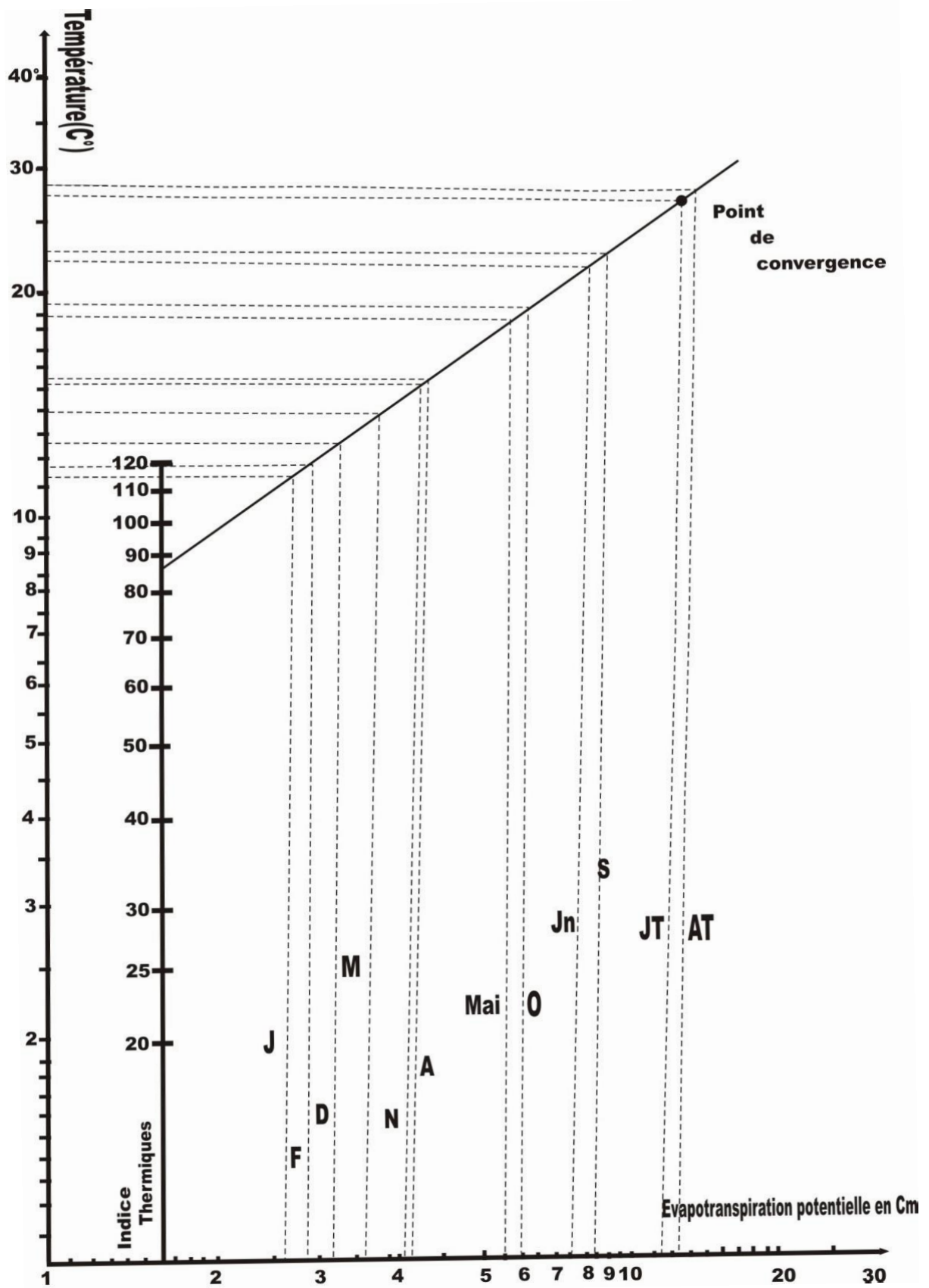


Figure I.19 : Abaque de Thornthwaite

I.5. RESSOURCES EN EAU ET L'ASSAINISSEMENT DES EAUX DANS LA REGION DE SITE ETUDIE

I.4.1. EVOLUTION DE LA POPULATION DE LA COMMUNE D'HENNAYA

L'évaluation de la population nous permet de calculer le débit de rejet.

Le tableau ci après présente l'évolution de la population communale d'Hennaya.

Tableau I.7: Evolution de la population communale entre 1987 et 2008 [RGPH 51987-1998-2008]

DISERSIONS	POPULATION				
	1987	1998	Taux d'accroissement. 87/98	2008	Tx acc. 98/2008
Hennaya-ACL	18809	24688	2,5	26515	0,7
Ain El Hadjar	467	594	2,2	704	1,7
Melilia	896	1170	2,5	1412	1,8
M'Kacem	687	874	2,2	1002	1,4
Taaounia	1049	1385	2,5	1675	1,9
Zone éparsé	1726	1296	-2,5	1380	0,6
Total	24094	30592	2,2	33356	0,9

I.5.2. SCHEMA DE PRINCIPE D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

L'agglomération d'Hennaya est alimentée en eau potable à partir de deux réservoirs l'un au niveau de la zone industrielle, l'autre au niveau du cimetière Chouhada à l'entrée de l'agglomération.

Le réservoir situé au niveau de la zone industriel à une capacité de stockage de 1000 m³.il est alimenté à partir d'un forage dont le débit est de 17 L/s.

Ce même réservoir est alimenté également à partir d'un piquage sur la conduite de CBBO.

Le réservoir situé à proximité du cimetière Chouhada à l'entrée de l'agglomération à une capacité de stockage de 500 m^3 . Il est alimenté à partir d'un piquage sur la conduite de CBBO d'un débit de 20 L/s et également d'un piquage sur la conduite de Sekkak d'un débit de 30 L/s.

Les deux sources (Ain Guillout et Ain Seffah) sont à sec et non exploitables.

Cette ressource est distribuée à travers deux types de réseaux (maillés et ramifiés).

Les volumes mobilisés sont loin d'assurer une dotation satisfaisante (taux de satisfaction 60%). Il est noté que les pertes d'eau non négligeables sont enregistrées au niveau du réseau de Hennaya centre.

L'agglomération de Ain El Hadjar est alimentée à partir d'une source captée d'un débit de 0,1L/s. Cette ressource est stockée dans un réservoir surélevé d'une capacité de 50 m^3 . Elle est répartie à travers un réseau ramifié récent qui assure un taux de branchement de 90%. Cette ressource n'assure qu'un faible taux de satisfaction (60%) soit une dotation moyenne de 70 L/Hab/J.

L'agglomération de Méllilia est alimentée en eau potable à partir d'un piquage sur la conduite de CBBO d'un débit de 21 L/s. Cette eau stockée dans un réservoir semi enterré de 150 m^3 situé à une altitude de 600 m. Elle est ensuite distribuée à travers un réseau ramifié auquel sont branchés les 9/10 du parc logement. Cette ressource assure une dotation moyenne de 100 L/j/Hab, soit un taux de satisfaction de l'ordre de 85%.

L'agglomération de M'Kacem puise un faible débit de 0,6L/s sur le réseau d'AEP de Hennaya (le réservoir situé à proximité du cimetière Chouhada à l'entrée de l'agglomération). Cette ressource est stockée dans un réservoir surélevé de 150 m^3 . Elle est distribuée à travers un réseau ramifié et n'assure qu'une faible dotation de 70 L/j/Hab soit un taux de satisfaction de 60%. Le réseau est sous dimensionné. Il y a lieu de prévoir un réseau maillé pour une meilleure distribution de l'eau potable.

A noter que l'actuel château d'eau ne joue pas le rôle de régulateur en stockant la ressource puisque cette dernière est transférée directement du réservoir vers les consommateurs, en cas de panne, la population est systématiquement privée d'eau.

L'agglomération de Taaounia, bénéficie d'un piquage de 2 L/s effectué sur la conduite de CBBO. Cette ressource est stockée dans un réservoir semi-enterré de 150m³, le réservoir surélevé de 50 m³ dont l'état est vétuste est inexploitable. Le premier réservoir dessert le réseau ramifié du lotissement SEROR mais vient aussi renforcer le réseau de l'ancien noyau qui est desservi par un nouveau réseau réalisé récemment en PEHD. Ce volume mobilisé n'assure qu'une dotation journalière de l'ordre de 60 L/j/Hab.

I.5.2. SCHEMA DE PRINCIPE D'ASSAINISSEMENT

L'agglomération d'Hennaya est assainie par quatre principaux réseaux autonomes de types unitaires ; cette infrastructure d'assainissement assure un taux de raccordement satisfaisant de l'ordre de 100%. Cependant, la totalité des eaux résiduaires sont rejetées sur l'Oued Seffah qui est le principal collecteur des effluents urbains, accentuant ainsi les risques de pollution.

Néanmoins, certains quartiers notamment la cité des 120 logements, Derb Ain El Houtz, la cité de la Gare et de Grabat et la partie Sud de Khemisti sont confrontés à des inondations en raison de la nature des terrains, du sous dimensionnement de certain collecteurs et l'insuffisance des avaloirs et des caniveaux. Le débit d'eau rejeté a été évalué en 80% des consommations, est de l'ordre de 4631,01 m³/J.

La quasi-totalité des habitations de Ain El Hadjar sont raccordées (taux de raccordement 100%) à un réseau de type unitaire. Les effluents domestiques sont rejetés sur une chaaba d'Oued Seffah. Par contre l'agglomération ne dispose d'aucun équipement de drainage des eaux de ruissèlement. Le débit d'eau rejeté est évalué de 6,912 m³/J

L'agglomération de Melilia dispose de deux réseaux d'assainissement de type unitaire et autonome. Le premier draine les eaux usées de l'ancien noyau. Par ailleurs le nouveau lotissement dispose de son propre réseau. Ces deux réseaux assurent un taux de raccordement de 100% et rejettent les effluents sur Oued Boumessoud. Le débit d'eau rejeté est évalué de 1451 ,52 m³/J

L'agglomération de M'Kacem ne dispose pas d'un réseau d'assainissement. Les rejets de ces effluents se font vers un bassin de décantation situé à Drissen en diamètre 400 mm. En outre, l'agglomération est menacée par des inondations en raison de la platitude du site et l'absence de canaux de drainage. Il faut noter qu'une étude du réseau d'assainissement a été effectuée. Le débit d'eau rejeté est évalué de 41,472 m³/J

L'agglomération de Taaounia, dépit d'un taux de raccordement satisfaisant (100%), les réseaux est cependant sous dimensionné et on signale le manque d'avaloirs. Le débit d'eau rejeté est évalué de 138,24 m³/J

C'est ainsi que les problèmes liés à l'assainissement et aux risque d'inondation demeurent entiers. En effet, le bassin de décantation situé à 200 m à l'Est de l'agglomération où viennent se jeter les affluents urbain est quasiment non entretenu. Ceci provoque un débordement des eaux usées qui froment des zones marécageuses aux alentour de l'agglomération accentuant les risques de maladies à transmission hydrique. Par ailleurs, le site actuel de l'agglomération est sujet à des inondations fréquentes pendant la période hivernale. Ces risques d'inondations effectives ont édicté en partie l'orientation et le report de l'urbanisation à l'ouest de la RN.22 sur des sites plus aptes.

I.6. CONCLUSION

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

La plaine fait partie de domaine Tlemcenien et se localise entre le domaine Tellien et les hautes plaines oranaises.

Les formations d'âge Plio-Quaternaire se répartissent en totalité dans la plaine.

Les formations qui peuvent présentent un intérêt hydrogéologique sont :

- Les dolomies de Tlemcen et les calcaires qui leur sont associés
- Les dolomies de Terny
- Les grés tortoniens
- Les conglomérats de la plaine d'Hennaya

Tout le reste de la série joue le rôle d'imperméable.

La tectonique joue un grand rôle dans l'hydrogéologique de la région.

La plaine d'Hennaya possède un climat méditerranéen de type semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux, et un été chaud et sec, influencé par des facteurs géographiques (éloignement de la mer, altitude et orientation des reliefs).

- La température moyenne annuelle qui y règne est de 18°C.
- Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 20 ans (1991 jusqu'à 2011), sont estimées à 324,6 mm. L'évapotranspiration réelle est estimée à 317,26 mm, mobilisant 97,74 % des précipitations.

- L'année 2007-2008 c'est la plus pluvieuse de notre série avec un apport moyenne annuelle de 429 mm, ainsi que le mois de Mars vient en tête des mois pluvieux de cette année avec un apport de 171 mm.
- L'année 2002-2003 c'est la plus chaude de notre série avec une température moyenne annuelle de 19.85°C, ainsi que le mois d'Aout vient en tête des mois le plus chaud de cette année avec un apport de 27°C.
- Absence totale de neige et nombre réduit de gelée.
- Les vents dominant sont ceux de l'Ouest et Nord-ouest.
- Le siroco souffle pendant 4 jours par an.

Chapitre II : Hydrogéologie

II.1. INTRODUCTION

De point de vue hydrogéologique la plaine d'Hennaya domine dans la dépression miocène qui s'étend de la frontière Algéro-Marocaine de l'Ouest jusqu'à Sidi Bel Abbès à l'Est, elle est limitée au Sud par les massifs dolomitiques de Tlemcen qui constitue le principal réservoir des monts de Tlemcen.

Les formations aquifères, tant par leur nature lithologique que par leur extension dans l'espace, occupent une place importante dans notre présente étude, car elles influent sur le fonctionnement hydrogéologique de celles-ci. Ainsi, cette partie a pour but de comprendre l'impact des variations climatiques, dans le temps, et la variation de la lithologie dans l'espace, sur le comportement hydrodynamique de la nappe d'Hennaya.

Les relevés piézométriques, effectués pendant 02 campagnes (01 en hautes eaux et 01 en basses eaux) et la détermination des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (la transmissivité et la perméabilité) renseignent sur les caractéristiques de l'écoulement et le comportement de la nappe, permettent de cerner le risque de pollution et de protéger la nappe aquifère.

II.2. PROPRIÉTÉ AQUIFÈRE DES FORMATIONS

On utilise les sondages qui sont réalisés dans la plaine pour étudier l'aquifère.

En dehors de la nappe profonde des dolomies de Tlemcen, la nappe sus-jacente est représentée par le Mio-Plio-Quaternaire [Medane & Bekadi, 2004].

Dans la région concernée par l'étude, les seules formations susceptibles d'être aquifère dans la nappe Mio-plio-quaternaire sont :

- Les grès du Miocène ;
- Les alluvions Plio-Quaternaire.




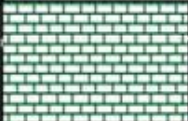

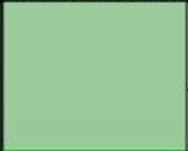

Formation	Epaisseur(m)	Lithostratigraphie	Description	Perméabilité
Quaternaire	?		Croute carapace calcaire, argile	Peu perméable
			Conglomérats	
Tortonien	25		Grès jaune	Perméable
Helvétien	100		Argiles marneuse avec intercalation de bancs de grès	Imperméable
Mionécés inférieur	100		Marnes grises a verdâtres avec intercalation de bancs de grès	Imperméable
Eocène	50		Alternances de calcaire, grès et marnes	Imperméable
Dolomie de Tlemcen	300		Dolomies cristallines grises a patine rousse dans lesquelles on observe des laminites stromatolitique	faible perméabilité de fissure
Grès de Boumediene	500		Grès bruns en gros. Bancs separees par des interlits argileux. Au sommet on trouve quelques passées marneuses et calcaires	faible ou nulle

Figure II.1: Log hydrogéologique de la plaine d'Hennaya [Gouaidia, 2008 ; modifier].

Ces formations sont représentées sous forme de faciès continus ou biseautés latéralement, pour cela nous allons décrire chaque formation à part afin de déterminer la nappe existante [Hayane, 1983].

De bas en haut, on distingue :

➤ **Les grès tortoniens**

Ce sont des grès fissurés jaune avec par endroits de minces poussées marneuses. Les grès sont assez durs, mal limités. Localement ce tortonien peut avoir des faciès différents représentés par des argiles plus ou moins sableuses, ce qui explique la complexité géologique de la ville de Tlemcen. Et c'est justement au niveau de ces smectites ou argiles gonflantes par excellence, qu'un grand nombre de désordre géotechnique de la ville sont enregistré, dues aux

tassements et aux retraits. Gonflement surtout pendant les dernières décennies de sécheresse. L'épaisseur de cette formation varie de 20 à 30 mètres.

➤ **Les conglomérats de la plaine d'Hennaya**

Au Sud de la plaine, des conglomérats surmontent les grés tortoniens avec lesquels ils forment un horizon aquifère commun. Vers le Nord-est, ils représentent la couche aquifère de base et surmontent les marnes helvétiques (figure II.2), qui forment le substratum imperméable de la nappe.

Aux débouche des sources d'Ain Ouehab et Ain Boukoura, l'eau des conglomérats sort par des fissures assez larges. Par leur état caverneux, ils peuvent être pris pour du karst. Ces conglomérats sont surmontés, au Sud, par des travertins [Hayane, 1983].

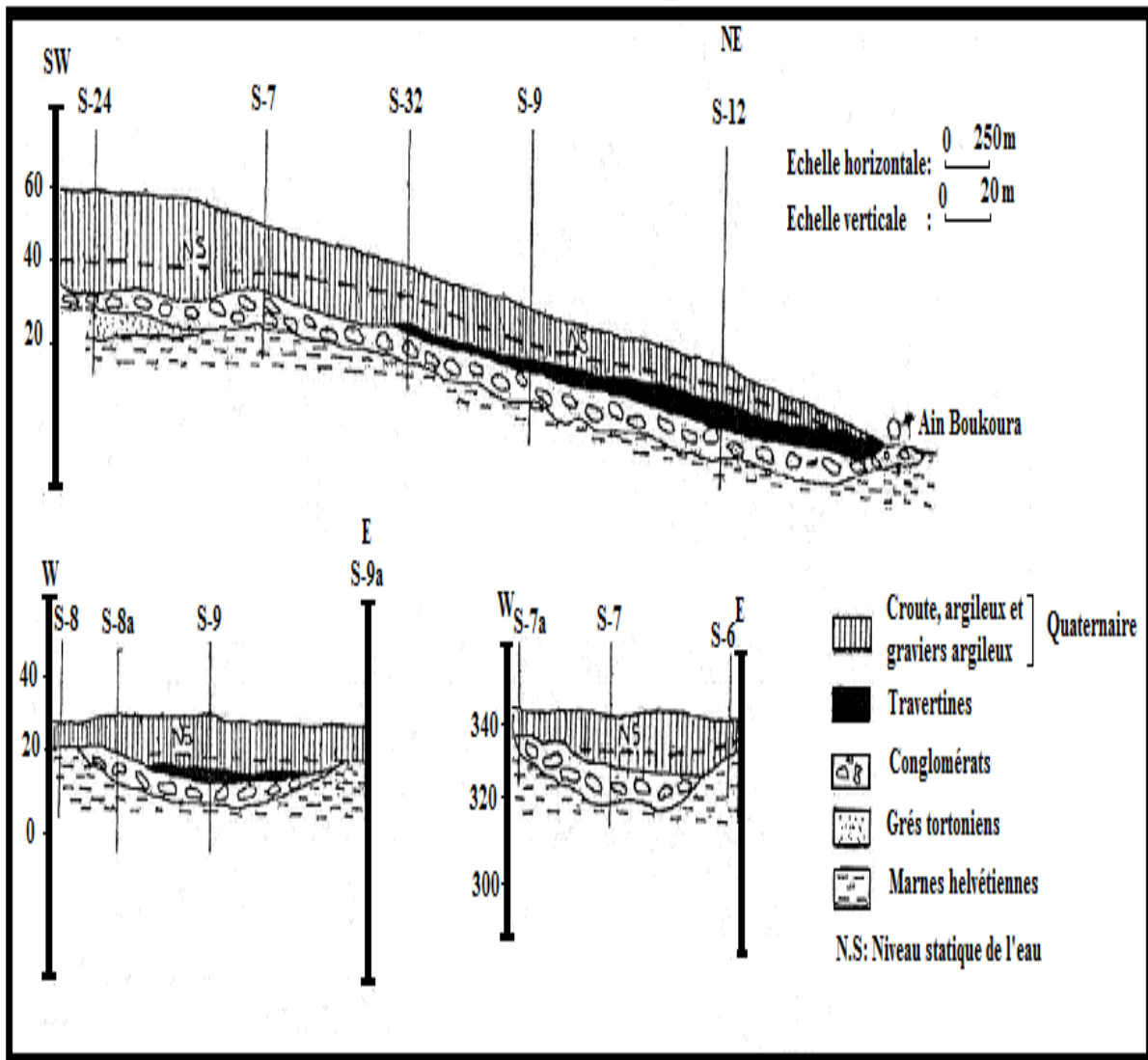


Figure II.2 : Coupe hydrogéologique de la plaine d'Hennaya [Hayane, 1983].

➤ **Les travertins**

Ils constituent des puissants dépôts disposés en terrasses et s'avancent en hautes falaises (plateau de Lalla Setti). Leur épaisseur peut dépasser les 60 mètres. Ces dépôts proviennent de la dissolution interne des massifs calcaires dolomitique, témoignent de l'importance des résurgences.

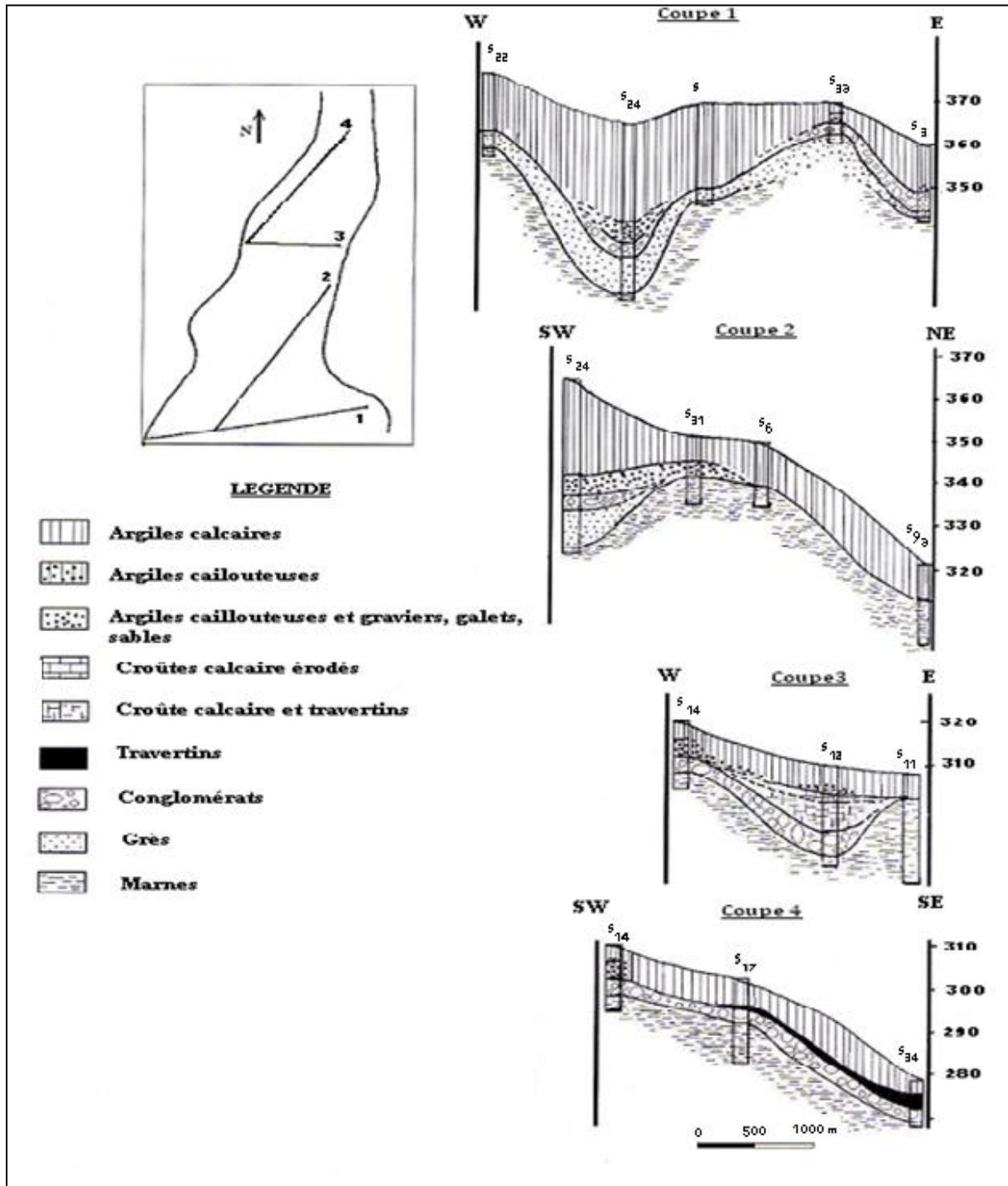


Figure II.3 : Coupe géologique interprétatives à travers la plaine [Baba Hamed et al, 2005].

II.3. LES EMERGENCES

Les sources du Mio-Plio-Quaternaire apparaissent au niveau des points bas des affleurements aquifères des formations conglomératique, gréseuses et alluviales du Miocène et du Plio-Quaternaire.

La plupart des sources constituent des sources pérennes. Ceux sont les exutoires les plus bas des aquifère. Ils sont donc pas le siège de circulations profondes vers les régions basses comme celle de la plaine d’Hennaya.

II.3.1. AIN BOUKOURA

Il s’agit du principal exutoire de la nappe. C’est une source captée qui sert à l’alimentation en eau potable de l’agglomération d’Ain Yousef. Les eaux sortent par trois griffons. Son débit moyen est de l’ordre de 13 L/s (31-01-2011) [A.N.R.H.Tlemcen communication orale].

II.3.2. AIN OUEHAB

De part son importance, c’est la deuxième source de la nappe d’Hennaya. Elle n’est pas captée et a un débit moyen de 6,6 L/s (31-01-2011). Les eaux émergent par cinq griffons dans les fissures des conglomérats au contact des marnes helvétique [A.N.R.H.Tlemcen communication orale].

II.3.3. AIN HENNAYA

Elle émerge des grés tortoniens de la plaine d’Hennaya. C’est une source de débit faible [Medane & Bekadi, 2004].

Le tableau ci-dessous résume les points d’émergence de la plaine d’Hennaya.

Les valeurs de débits, mesurées aux niveaux de ces sources, montrent que la source d’Ain Boukoura constitue le principal exutoire de la nappe d’Hennaya. De par son importance, la source d’Ain Ouahab est la deuxième source de la nappe.

Tableau II.1 : Emergence de la plane d’Hennaya.

Sources	Coordonnées Lambert		Débit moyen (l/s)	Conditions d’émergences
	X	Y		
Ain Boukoura	130.800	198.300	13.0	Emerge par captage
Ain Ouehab	130.850	200.150	6.6	Emerge de contact entre les conglomérats et les marnes helvétiques
Ain Hennaya	128.500	191.750	1.0	Emerge des grés tortoniens de la plaine d’Hennaya

II.4. ROLE DE LA STRUCTURE

La tectonique joue un grand rôle dans l'hydrogéologie de la région d'où l'écoulement des eaux souterraines dans l'aquifère dépend de la densité de fracturation, de la fréquence des interconnexions entre les multiples systèmes et réseaux de fracturation, du sens du prolongement des couches, de la présence ou non de grandes failles drainantes et du degré de karstification dans les massifs carbonatés (figure II.4 et II.5).

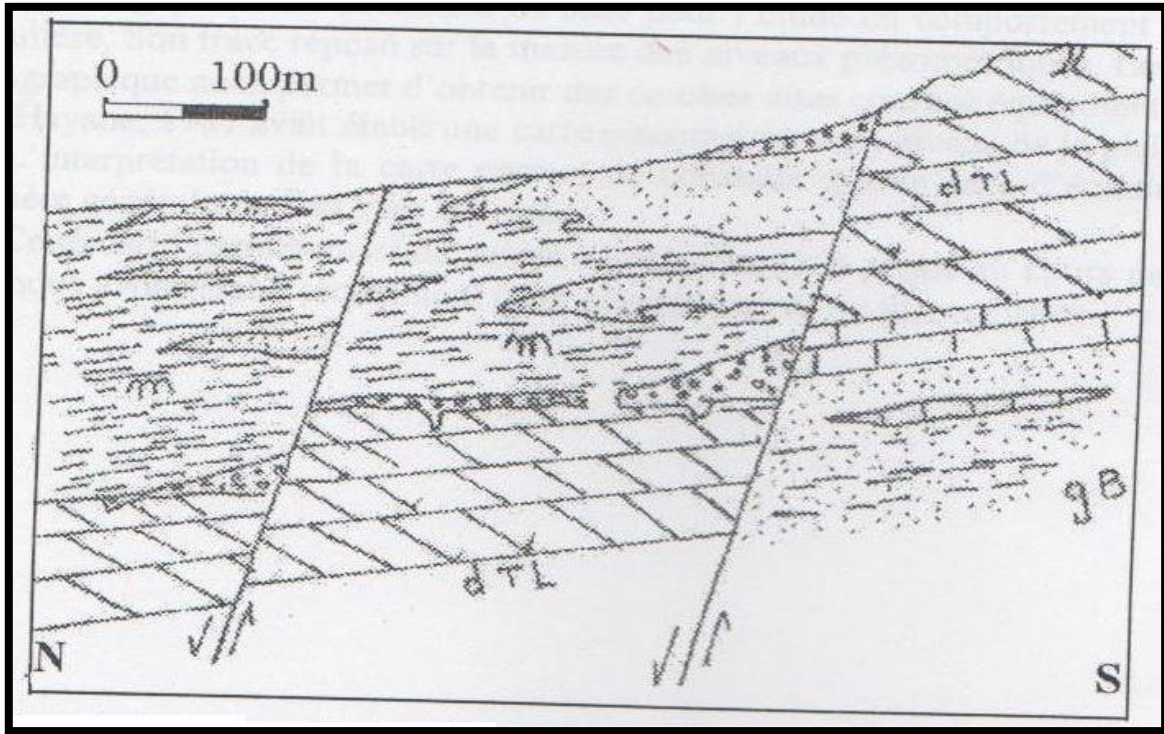


Figure II.4 : la sédimentation miocène le long des piémonts nord des monts de Tlemcen
[Collignon, 1986 in Medane & Bekadi, 2004].

Collignon, (1986) a pensé que les grés et les conglomérats, plus épais au pied des reliefs, peuvent former des aquifère intéressants alimentés latéralement par les dolomies jurassiques. Cela a des conséquences hydrogéologiques importantes. Les grés miocènes n'ont une épaisseur notable qu'après des reliefs. Des que nous nous éloignons de ceux-ci, les marnes miocènes forment un ensemble imperméable d'épaisseur très considérable, plus de 660m, selon les mesures géologiques, sous la plaine d'Hennaya [ENAGEO ; rapports, 1983 et 1984 in collignon, 1986 in Medane & Bekadi, 2004].

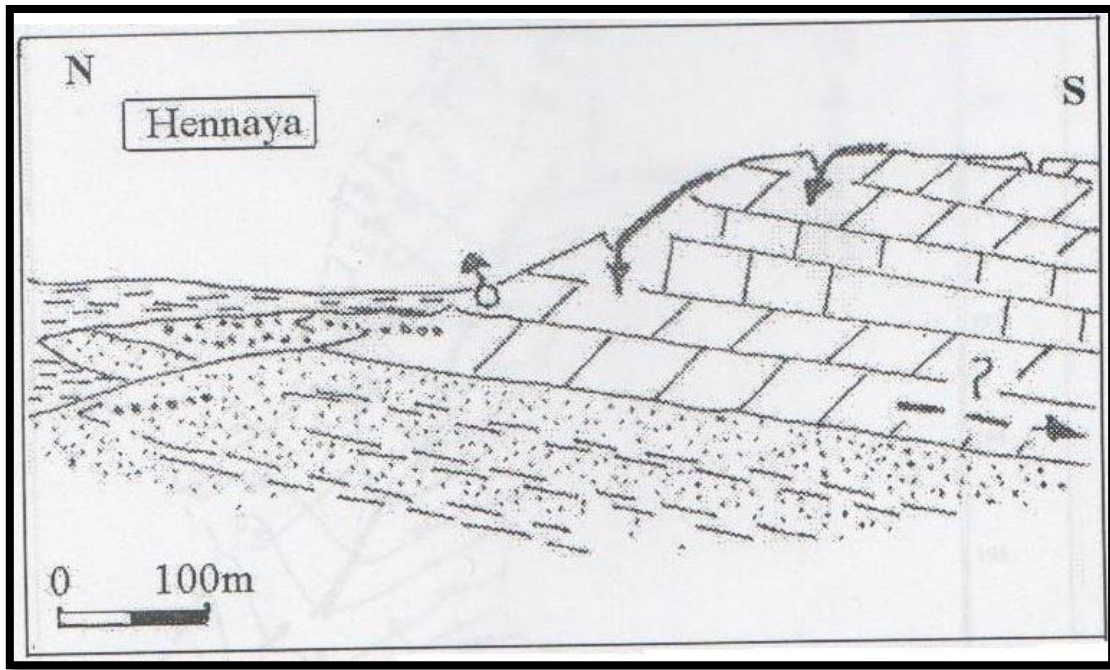


Figure II.5 : structure types sur la marge de Monts de Tlemcen et leurs implications hydrogéologique [Collignon, 1986 in Medane & Bekadi, 2004].

II.5. PIEZOMETRIE

II.5.1. INVENTAIRE DES POINTS D'EAU

Les 74 puits retenus durant les deux campagnes piézométriques sont répartis d'une manière inégale à travers la plaine d'Hennaya. Ils sont pour la plupart des puits domestiques, creusés mécaniquement et construit en brique ou non construit. la plupart des puits, de moyenne profondeur et de diamètre variable de 1 à 2 mètre, équipés généralement d'une pompe. Ils sont destinés à l'irrigation des cultures saisonnières et secondairement à l'alimentation en eau potable.

Dans cet étude nous avons enrichi l'inventaire de 10 puits supplémentaires par rapport à la campagne d'inventaire effectuée en 2011 par ferras.

On note qu'il y a plusieurs puits abandonnés et pourraient constituer des sources de pollution de la nappe (P05, P06, P07, P10, P14, P15, P16, P17, P20, P21, P23, P24, P26, P30, P31, P32, P35, P38, P39, P40, P44, P47).

Pour la réalisation de la cartographie piézométrique, on a choisi un réseau représentatif de toute la nappe, malheureusement, durant les campagnes piézométriques, quelques puits n'ont pas fait l'objet de relevés pour diverses raisons qui sont indépendantes de notre volonté.

Nous signalons que les mesures ont été faites en utilisant une sonde piézométrique de 100 m à double signalisation (sonore et lumineuse).

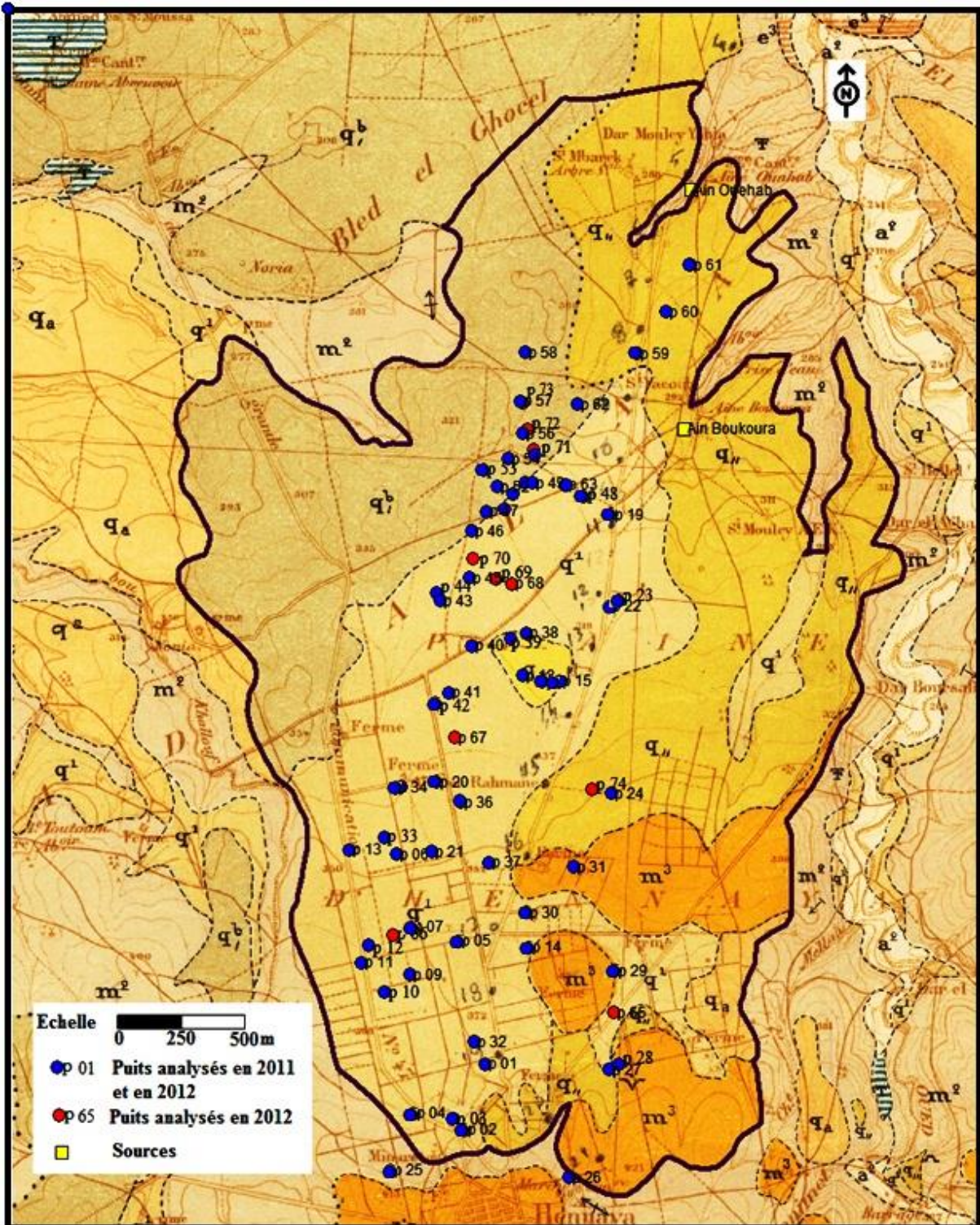


Figure II.6 : Carte d'inventaire des points d'eau de la nappe de la plaine d'Hennaya (extrait de la carte géologique Tlemcen 1/50000).

➤ **Caractéristiques des points d'eau**

Dans le tableau ci-dessous, on a essayé de rassembler les principales caractéristiques des points choisis pour notre étude, et ceci pour faciliter nos conclusions en ce qui suit. Ces caractéristiques représentent une carte d'identité pour chaque puits et source où nous avons montré : Le nom du point d'eau, le nom du propriétaire, la situation, ... etc...

Tableau II.2 : Inventaire des points d'eau de la plaine d'Hennaya.

N° De Puits	Nom de propriétaire	X (m)	Y (m)	Z (m)	Profondeur de puits (m)	Etat de puits	Equipement	La margelle (cm)	Volume du bassin (m ³)	Le temps (h)	Débit (m ³ /h)
p 01	Germoudi	649119,18	3870164,61	371	40	C	P	13	300	20	15
p 03	Ben Ali	648846,6	3869690,81	384	60	C	P	10	-		
p 06	Gaz	648335,78	3871815,17	345	-	C	P	10			
p 09	Lablak	648470,04	3870841,17	358		C	P	10			
p 10	Lablak	648265,69	3870685,41	360		C	P	10			
p 11	Yebbadri	648061	3870907,04	355	30	C	P	60			
p 12	Abd El Djabar	648122,25	3871056,55	353	42	C	P	10	432	3	144
p 13	Belkayed	647940,97	3871818,16	343	44	C	P	10	166,4	4	41,6
p 18	Hemou	649349,84	3873359,89	325		C	P	10			
p 21	Haoulya	648626,16	3871859,04	344		C	P	10			
p 24	Derissi	650108,68	3872459,38	343		C	SE	0			
p 26	Kandousi	649840,98	3869295,84	392	15	C	P	85	48	8	6
p 27	Diaf	650152,82	3870201,89	377	26	C	P	0			
p 28	Khedaoui	650226,39	3870256,29	375	24	C	P	0	160	5	32
p 31	X	649813,09	3871834,78	352		C	SE	20			
p 33	Abd El Djabar	648234,08	3871943,03	343		NC	P	10			
p 35	Abd El Djabar	648362,47	3872366,9	338	40	NC	SE	10			
p 36	Ben Ahmed	648864,35	3872282,29	337	32	C	P	10			
p 37	X	649105,2	3871810,74	344		C	SE	10			
p 38	Mamad	649370,38	3873708,36	320		NC	P	15			
p 39	Mamad	649239,41	3873652,02	321		S	SE	15			
p 40	Ben smail	648920,6	3873564,87	324		NC	P	15			
p 41	Abd El Djabar	648732,5	3873165,31	329		NC	P	40			
p 43	X	648641,1	3873913,06	320	50	NC	SE	15			
p 44	Rebboul	648615,48	3873969,27	319		NC	SE	15			
p 45	X	648878,5	3874117,42	318		NC	SE	5			
p 46	Ben sayah	648891,31	3874501,03	314		NC	SE	15			
p 47	Ben sayah	649006,93	3874672,14	312	40	C	P	15			
p 48	Rahou	649811,8	3874864,69	308		NC	SE	15			

Chapitre II : Hydrogéologie

p 49	Rahou	649389,71	3874936,59	307		NC	S E	15			
p 50	Rahou	649325,24	3874931,82	307		NC	S E	15			
p 51	Rahou	649226,61	3874837,13	308		NC	P	85			
p 52	Rahou	649094,78	3874880,78	309		NC	S E	15			
p 54	Rahou	649182,97	3875118,67	306	20	NC	P	15			
p 55	Rahou	649397,16	3875168,64	304	42	C	P	15	102.4	4	25.6
p 56	Rahou	649299,12	3875333,67	303	28	C	P	20			
p 57	Rahou	649266,32	3875595,68	302		NC	S E	20			
p 58	Ben Askar	649298,87	3875996,31	308	32	C	S E	20			
p 60	X	650461,78	3876426,41	285		C	S E	40			
p 61	X	650653,98	3876823,41	281		C	S E	40			
p 62	X	649742,64	3875608,27	298		C	S E	15			
p 63	Rahou	649656,95	3874941,69	307		C	P	15			
p 64	Belifa	649162,4	3874707,02	309	40	C	P	20			
*p 65	Cheaiibe	650171,71	3870670,79	332	47	C	P	15			
*p 66	X	648319,34	3871150,43	353		C	P	15			
*p 67	X	648795,76	3872803,15	332		C	P	40			
*p 68	X	649232,89	3874098,48	353		C	S E	0			
*p 69	X	649103,15	3874127,35	318		C	S E	0			
*p 70	X	648912,81	387473,6	316		NC	S E	0			
*p71	X	649385,99	3875204,1	304		NC	S E	0			
*p 72	X	649338,11	3875365,9	302		NC	S E	40			
*p 73	X	649293,04	3875580,8	303		C	P	15			
*p 74	X	648319,34	3871150,4	341		C	S E	15			
Ain Boukoura		650641,89	3875483,81	295							
Ain Ouehab		650645,69	3877436,64	272							

C: Construit. NC: Non construit. SE: Sans équipement. P : équipé par une pompe.*P : puits ajouté



Figure II.7 : Puits non construit.



Figure II.8 : Puits construit.

On trouve les puits non construits dans les terrains consolidés, et les puits construits dans les terrains meubles.

➤ **Evolution de la piézométrie**

Le suivi de l'évolution piézométrique de la nappe dans le temps et dans l'espace permet de reconnaître d'une part, la direction générale de l'écoulement et d'autre part d'identifier quelques paramètres hydrodynamiques (gradient hydraulique,...).

Comme les eaux souterraines représentent le moyen de transport des substances minérales, la détermination de leur itinéraire renseigne sur leur minéralisation et l'origine de leur pollution. La cartographie piézométrique a été illustrée à la base des relevés piézométriques des différentes campagnes, par interpolation triangulaire, en utilisant le logiciel Surfer 8 (Golden software, 2002).

• **Carte piézométrique Avril 2012**

L'observation de la morphologie de la carte piézométrique des hautes eaux (avril 2012) permet de constater que l'écoulement souterrain se fait, en général, suivant une direction du Sud vers le Nord (figure II.9).

Dans la zone Sud de la nappe, les courbes isopièzes sont resserrées, indiquant un gradient hydraulique important, de l'ordre de 0.03. Dans les zones centrale et Nord, les courbes se trouvent espacées suite à un gradient hydraulique faible, de l'ordre de 0.011 Car c'est la zone d'accumulation des eaux souterraines. On pense que la variation du gradient hydraulique est due, essentiellement, à l'hétérogénéité de la lithologie.

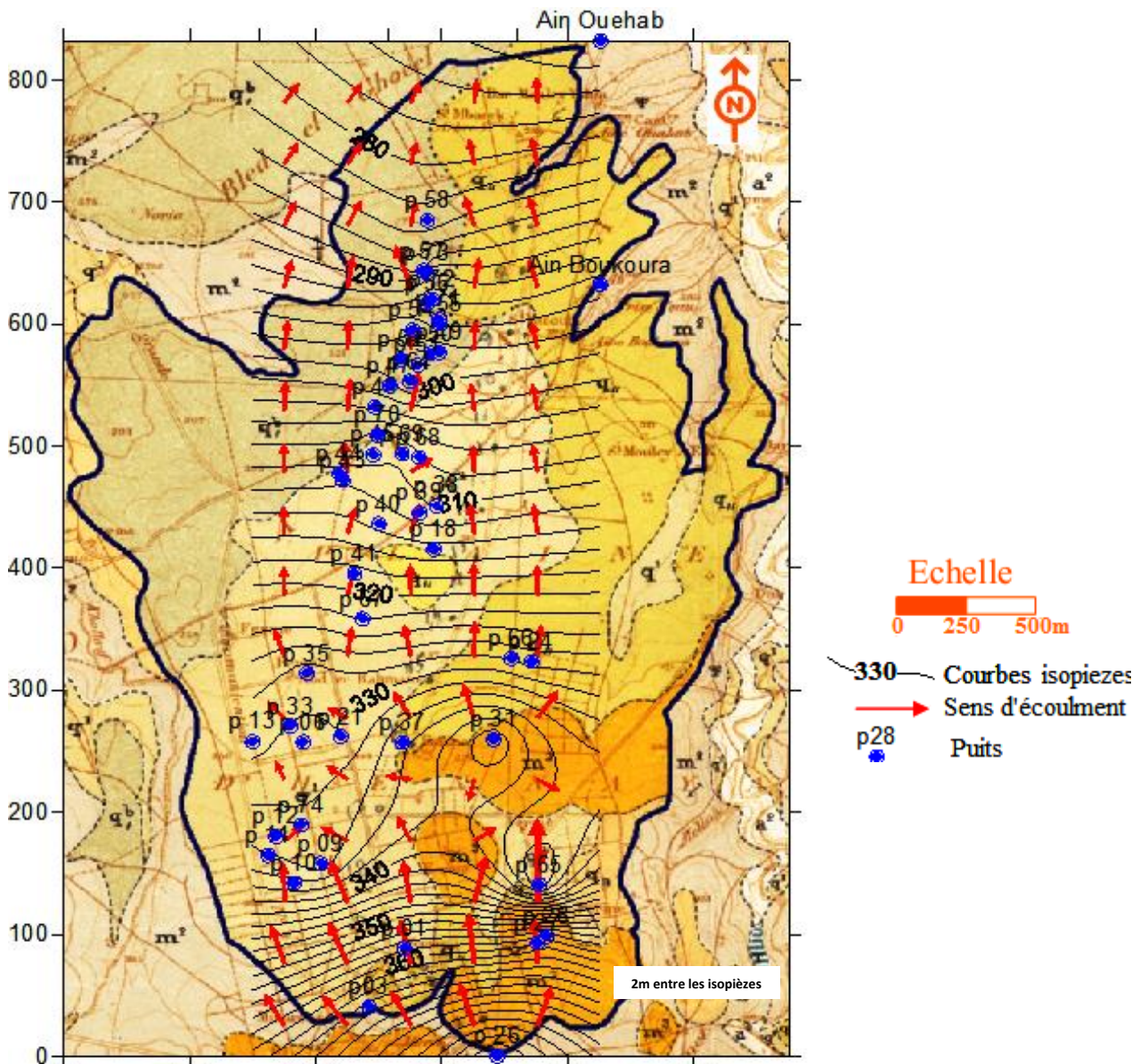


Figure II.9: Carte piézométrique de la nappe d'Hennaya, Avril 2012 (extrait de la carte géologique Tlemcen 1/50000).

• **Carte piézométrique Juin 2012**

Cette carte piézométrique correspond à la période des basses eaux (figure II.10). Elle possède la même morphologie piézométrique que la carte précédente ; ceci est dû à la faible recharge qui n'arrive pas à combler l'exhaure de la nappe.

La carte nous permet de constater que les courbes isopièzes au Sud sont plus rapprochées qu'au Nord surtout dans la partie médiane de la nappe.

Le gradient hydraulique est une fonction inverse de la perméabilité ou transmissivité et l'espacement des courbes isopièzes est en rapport direct avec la perméabilité .le gradient hydraulique, au Sud est de l'ordre 0,039 alors qu'au Nord, il est beaucoup plus faible de l'ordre de $8,9 \times 10^{-3}$.

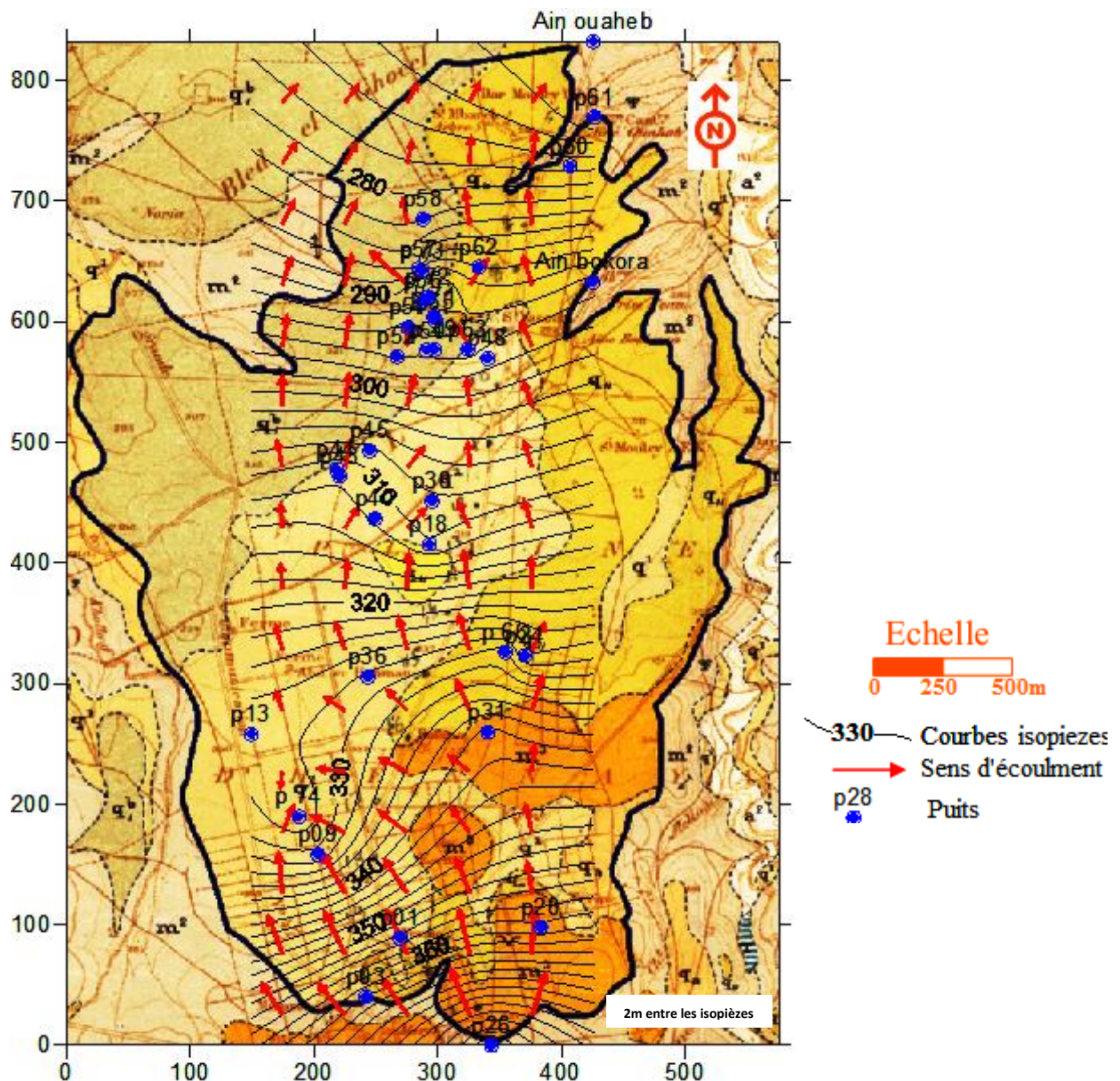


Figure II.10: Carte piézométrique de la nappe d'Hennaya, Juin 2012 (extrait de la carte géologique Tlemcen 1/50000).

Profondeur de la nappe

Nous avons établie deux cartes de la profondeur du niveau piézométrique (carte isobathe, Figure II.11 et II.12) pour avoir une idée sur la profondeur de la nappe par rapport à la surface du sol.

- Entre 6 et 31mètres dans le sud de la nappe ;
- Dans la zone centrale de la nappe le niveau d'eau et presque le même d'une profondeur - moyenne de 10,5 mètres ;
- Entre 7,5 et 25 mètres dans le nord de la nappe à l'Ouest de Ain Boukoura et Ain Ouahab.

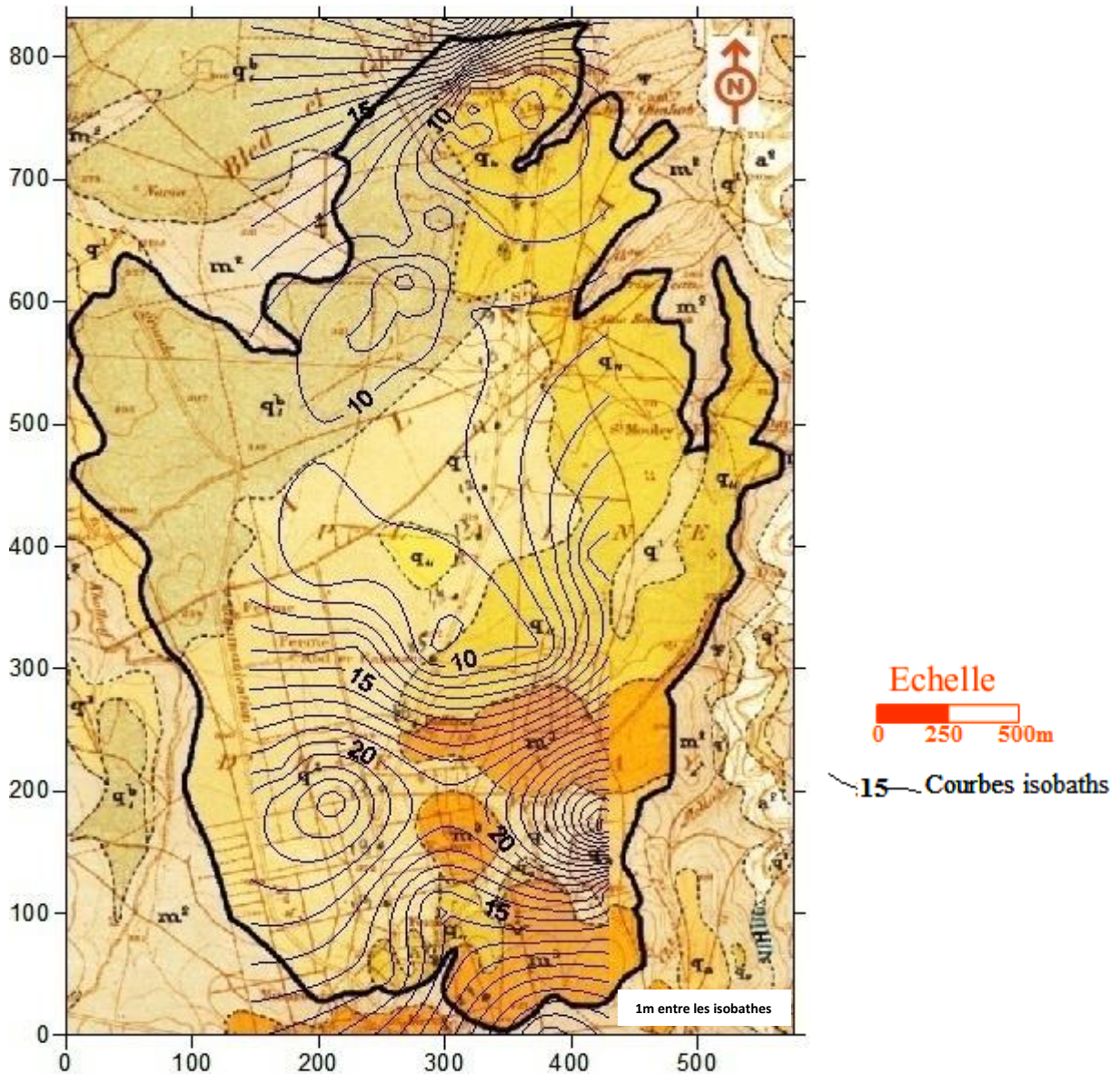


Figure II.11: Carte d'isobathe de la plaine d'Hennaya, Avril 2012 (extrait de la carte géologique Tlemcen 1/50000).

➤ 2eme campagne

-Dans la zone centrale de la nappe le niveau d'eau est presque le même d'une profondeur moyenne de 12,4 mètres ;

-Entre 8,1 et 26,15 mètres dans le nord de la nappe à l'Ouest de Ain Boukoura et Ain Ouahab.

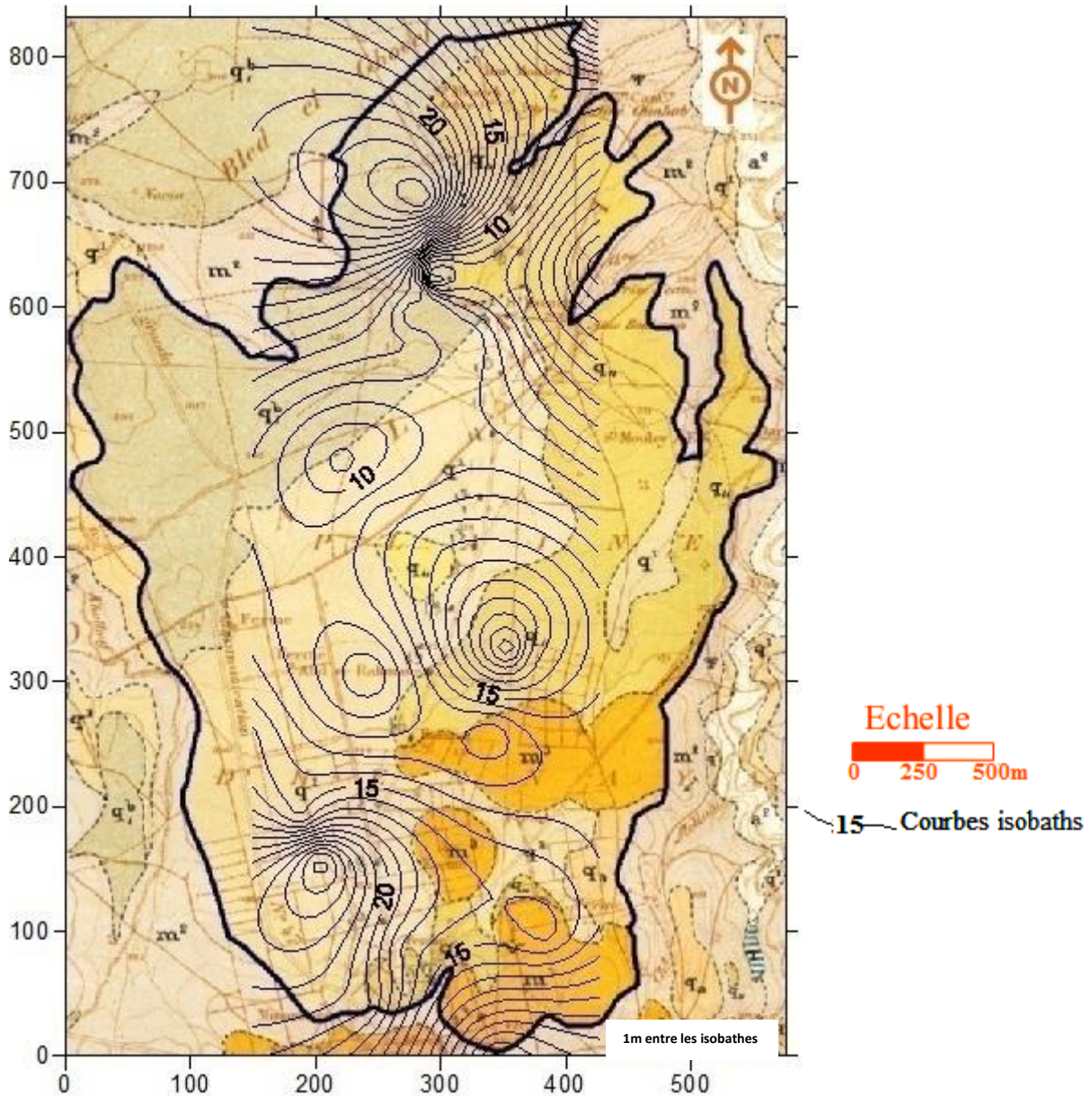


Figure II.12: Carte d'isobathe de la plaine d'Hennaya, Juin 2012 (extrait de la carte géologique Tlemcen 1/50000).

- **Battement de la nappe:**

La comparaison de la piézométrie entre la période de basses eaux et celle de hautes eaux a permis de dresser une carte de battement de la nappe pour les années 2012, (Figures II.13).

Cette opération a montré que les fluctuations les plus importantes se manifestent au Nord de la nappe ou les puits sont très rapprochés et peuvent atteindre 3,5 m. Au centre et le Sud de la nappe, celles-ci varient entre 0 et 1,8 m.

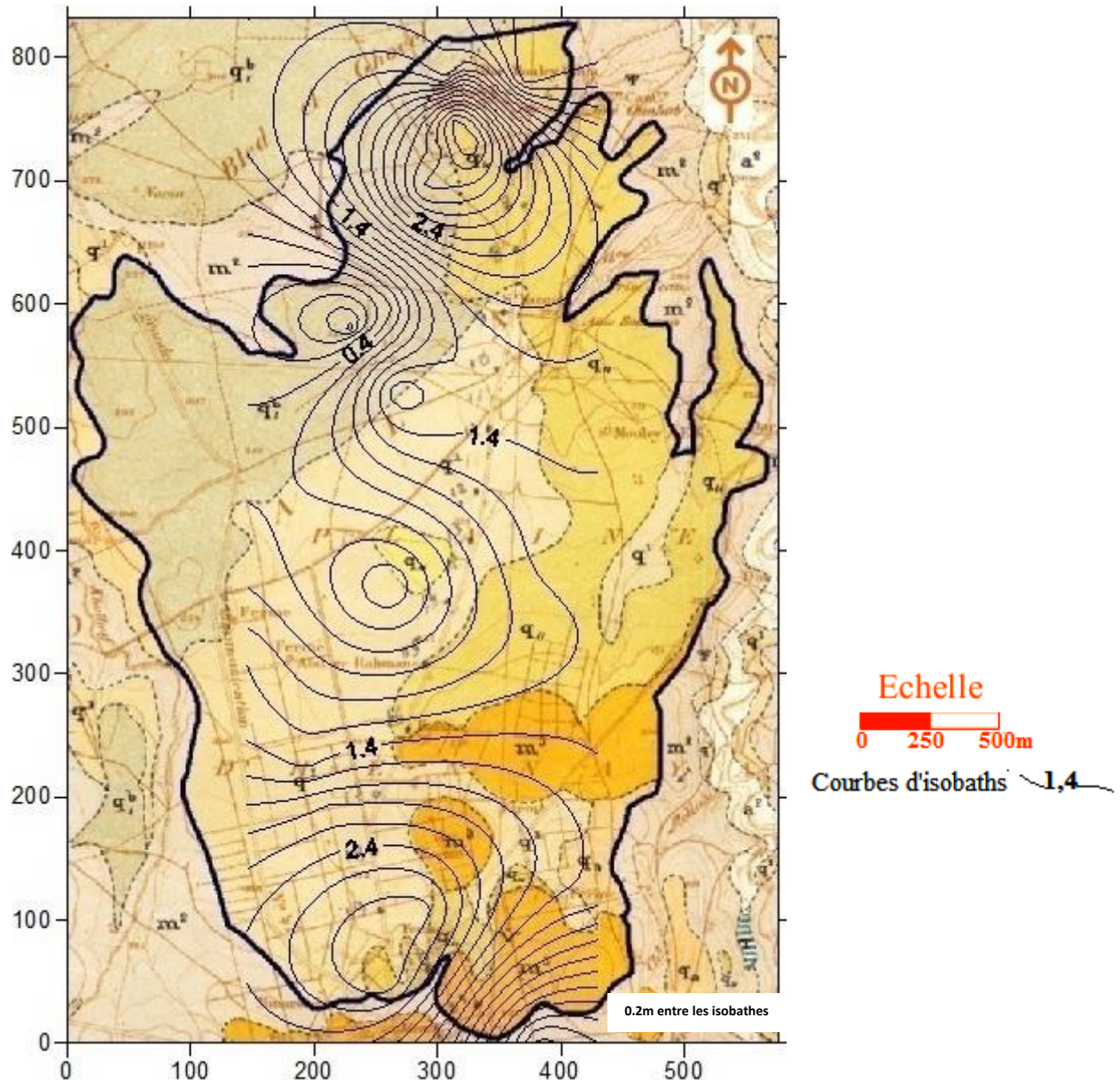


Figure II.13: Carte de battement de la nappe d'Hennaya en (m) durant l'année 2012.

➤ Anciennes données

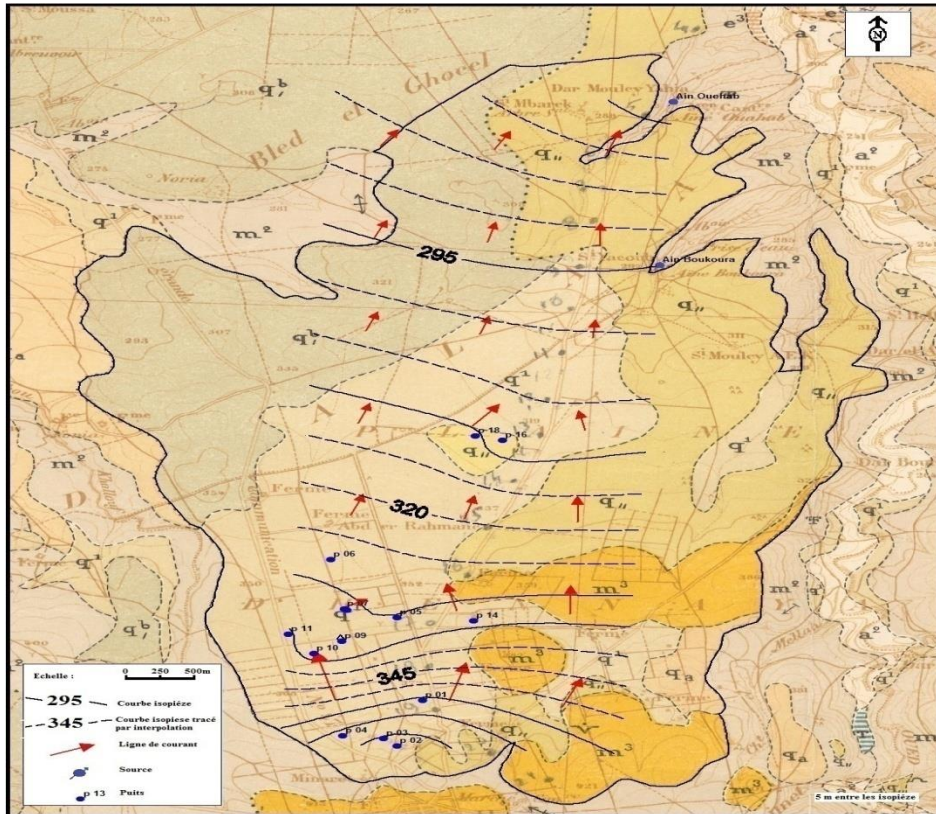


Figure II.14: Carte piézométrique de la nappe d'Hennaya, Mars 2011 (extrait de la carte géologique Tlemcen 1/50000) [Ferras Hechmi, 2011].

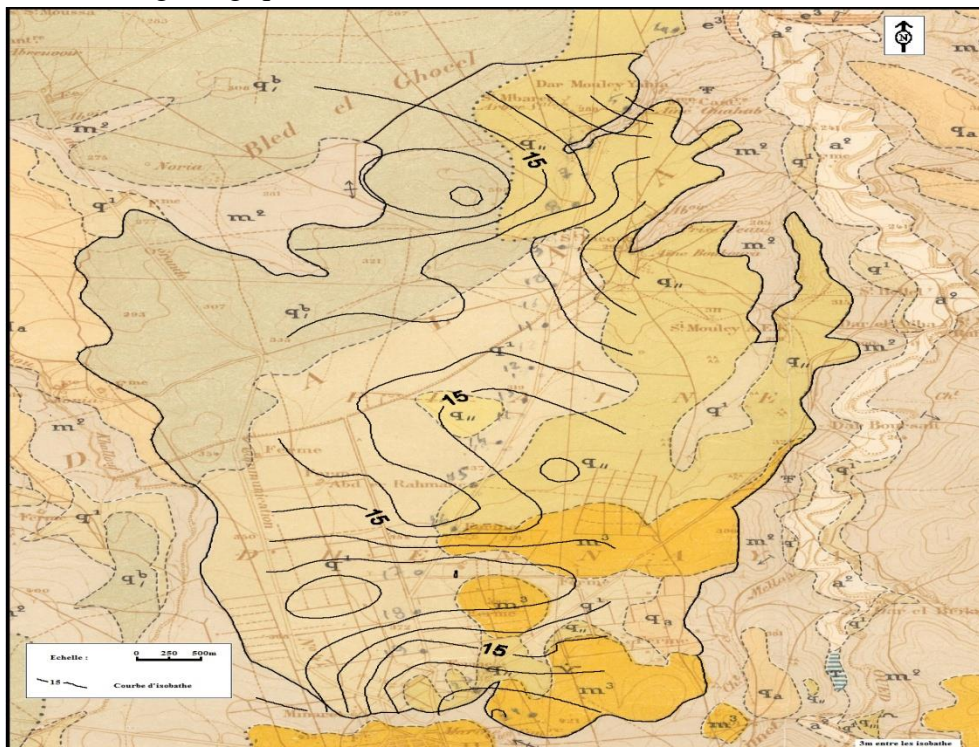


Figure II.15 : Carte d'isobathe de la plaine d'Hennaya (Juin 2011) (extrait de la carte géologique Tlemcen 1/50000) [Ferras Hechmi, 2011].

II.6 CONCLUSION

L'étude hydrogéologique nous a conduits à un ensemble de conclusion :

- L'écoulement souterrain se fait, en général, de Sud vers le Nord.
- L'allure générale des courbes piézométriques est restée constante lors des 02campagnes d'observations.
- L'évolution de la piézométrie dépend des conditions climatiques, qui influent sur le battement de la nappe par la recharge durant la période de hautes eaux et l'évaporation pendant la période des basses eaux. La lithologie de la nappe régit l'écoulement, et ce en influant sur la vitesse de circulation.
- Le niveau piézométrique présente une évolution régulière, caractérisée par une baisse durant la période des basses eaux sous l'effet de l'évaporation, et une remontée pendant la période de hautes eaux, suite à la recharge de la nappe. On signale l'évolution irrégulière de quelques puits, qui sont surexploités à des fins d'irrigation.
- La comparaison entre les cartes piézométrique de 2012 et celle de 2011 nous fait remarquer que le sens d'écoulement reste le même, alors qu'on remarque d'après les cartes isobathes une baisse de la nappe en 2012 dans le Sud-Ouest et le Nord-Ouest par rapport au même mois en 2011 (juin).

Chapitre III : Hydrochimie

III.1. INTRODUCTION

L'étude hydrochimique des eaux souterraines permet d'une part de confirmer les résultats de la prospection hydrogéologique d'où les sels dissous sont des marqueurs naturels qui permettent de caractériser un aquifère ou d'en préciser les facteurs d'écoulements et d'autre part de connaître la qualité des eaux.

La qualité des eaux de la nappe a pu être précisée à partir des puits étudiés, on note bien que l'hétérogénéité lithologique de l'aquifère joue un rôle très important, sans doute, sur les variations des caractères chimiques de ces eaux.

Dans cette optique, les prélèvements ont été réalisés en deux campagnes (avril et juin 2012) sur 30 échantillons. Les résultats qui vont suivre reflètent donc l'évolution du chimisme de l'eau de la nappe au cours des deux saisons.

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées au laboratoire du centre vétérinaire de la ville de Tlemcen.

Elles sont représentées dans le tableau III.1 et III.2 (exprimées en mg/L et meq/L) et concernant le paramètre (l'ion majeur) : NO_3^- ainsi que les mesures de la conductivité.

- **Norme de potabilité**

La qualité de l'eau de consommation est appréciée sur la base des normes de potabilité définies par la réglementation algérienne.

Les normes définies par la réglementation algérienne (N.A 6360 en 1992) (Tableau 1 d'annexe III), ont été inspirées des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) relatives aux eaux et des normes prescrites par les directives de la communauté Européenne (CEE).

III.2. MOYENS ET METHODES D'ANALYSE

III.2.1. CAMPAGNES DE PELEVEMENTS

Deux campagnes de prélèvements ont été effectuées sur l'ensemble de la zone d'étude. La première a été réalisée en avril 2012 et la seconde en juin 2012. Sur la base des résultats déjà obtenus par Ferras 2011, nous avons opté pour le choix de quelques points d'eaux particulièrement intéressants pour le contrôle de la qualité de leur eaux. Les points d'eau sélectionnés sont au nombre de 30 dont deux sources.

III.2.2. ECHANTILLONNAGE

Le réseau d'échantillonnage choisi a permis d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale et temporelle de la qualité des eaux souterraines de la nappe étudiée. Ce réseau couvre la totalité de la plaine de l'amont vers l'aval. Il se compose des points d'eau cités plus haut et représentés dans la figure III.1.

Les échantillons d'eau prélevés sont stockés dans des flacons de 1,5 L bien nettoyés avec l'eau à analyser. Seules des analyses physico-chimiques ont été effectuées.

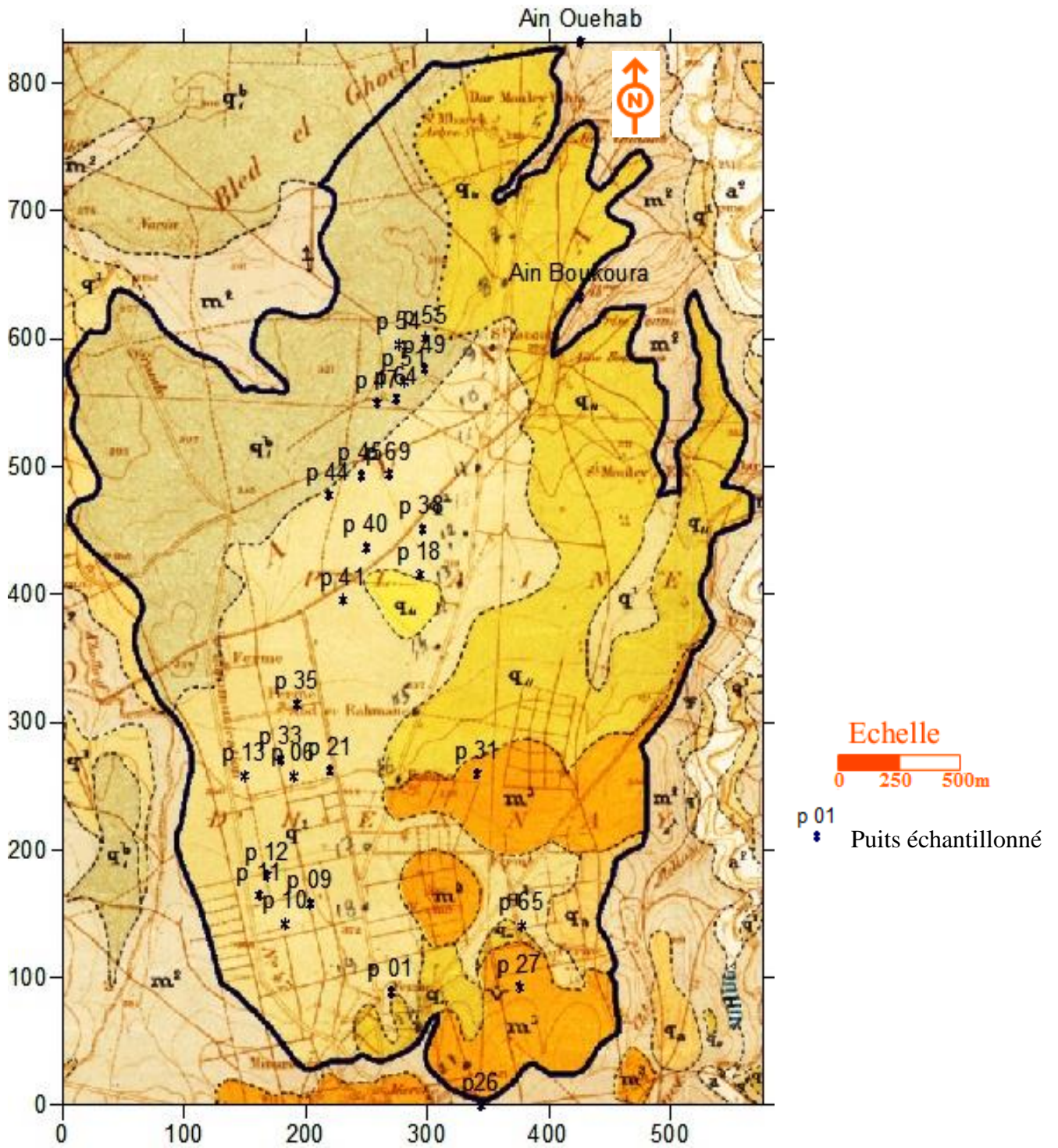


Figure III.1 : Plan de situation du réseau des puits échantillonnés.

III.2.3. METHODE DE TRAVAIL

III.2.3.1. Mesures *in situ*

Trois paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique et température de l'eau) ont été mesurés *in situ*, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un pH mètre, conductivimètre.

III.3. INTERPRETAION DES RESULTATS DES ANALYSES

III.3.1. PARAMETRES PHYSIQUES

a. Température

La température de l'eau [°C] est un paramètre d'une grande utilité pour le diagnostic hydrogéologique. Elle est nécessaire pour déterminer les équilibres chimiques entre les diverses espèces en présence (ions, molécules non dissociées, gaz, solides). On peut en déduire des informations sur la profondeur de l'écoulement souterrain, le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère, son origine et la présence d'éventuelles pollutions ou influences humaines.

La température de l'eau a été mesurée sur le terrain. Elle fluctue entre 18 et 19 °C au cours des deux campagnes.

b. pH

Le pH caractérise l'acidité ou la basicité d'une solution aqueuse ($\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$, $[\text{H}_3\text{O}^+]$ étant exprimé en moles par litre). Il s'agit d'un paramètre capital pour le calcul des équilibres thermodynamiques, mais délicat à mesurer et sensible à de nombreux phénomènes comme les variations de température, le dégazage, l'oxydation, la précipitation de composés insolubles, etc. Si le pH n'est pas mesuré au moment du prélèvement et sur le site même de l'émergence, la valeur obtenue ultérieurement en laboratoire risque de perdre en signification.

Les mesures de pH montrent que tous les puits se trouvent dans l'intervalle de norme de potabilité.

Le pH varié entre 6,81 et 8, 20.

On note aussi que le changement des facteurs climatique n'influe pas sur la valeur de pH (figure III.2).

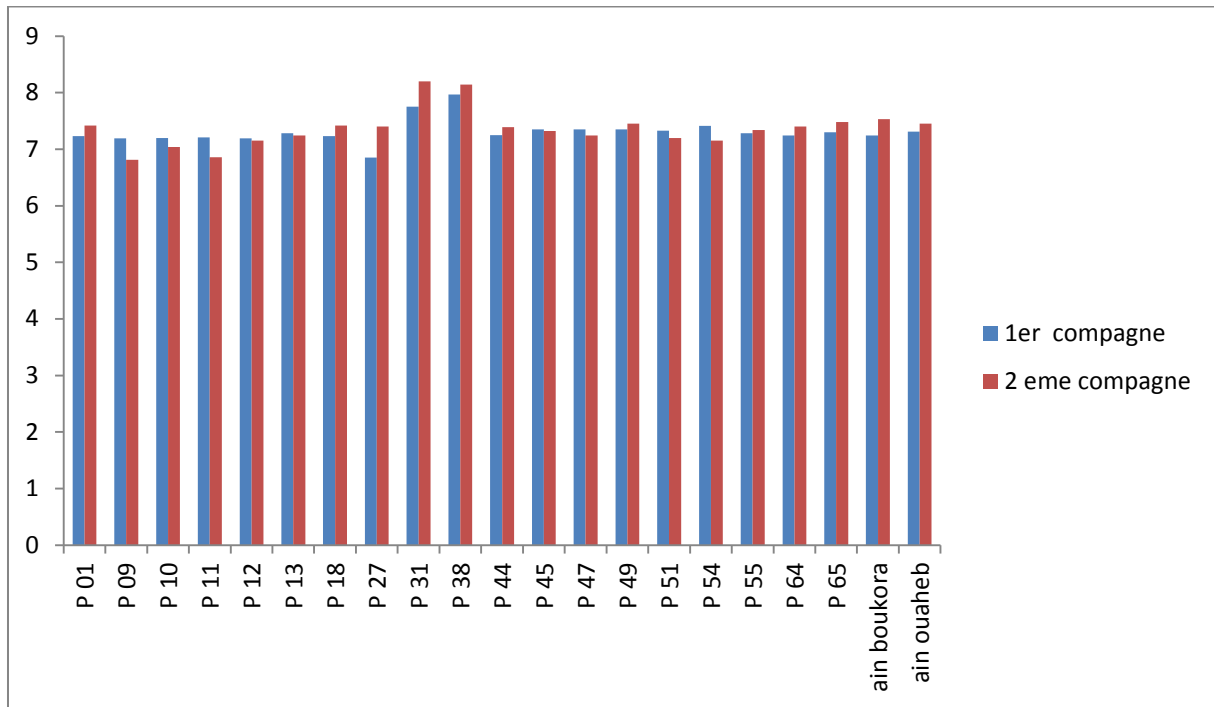


Figure III.2 : la variation de pH pendant les deux campagnes.

c. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique [$\mu\text{S}/\text{cm}$ à une température de référence] permet d'évaluer la minéralisation globale d'une eau du fait que les ions présents rendent celle-ci électriquement conductrice.

La conductivité a été mesurée sur le terrain à l'aide d'un conductivimètre. Les résultats obtenus permettent de dire que l'eau a une conductivité comprise entre 1258 et 4200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

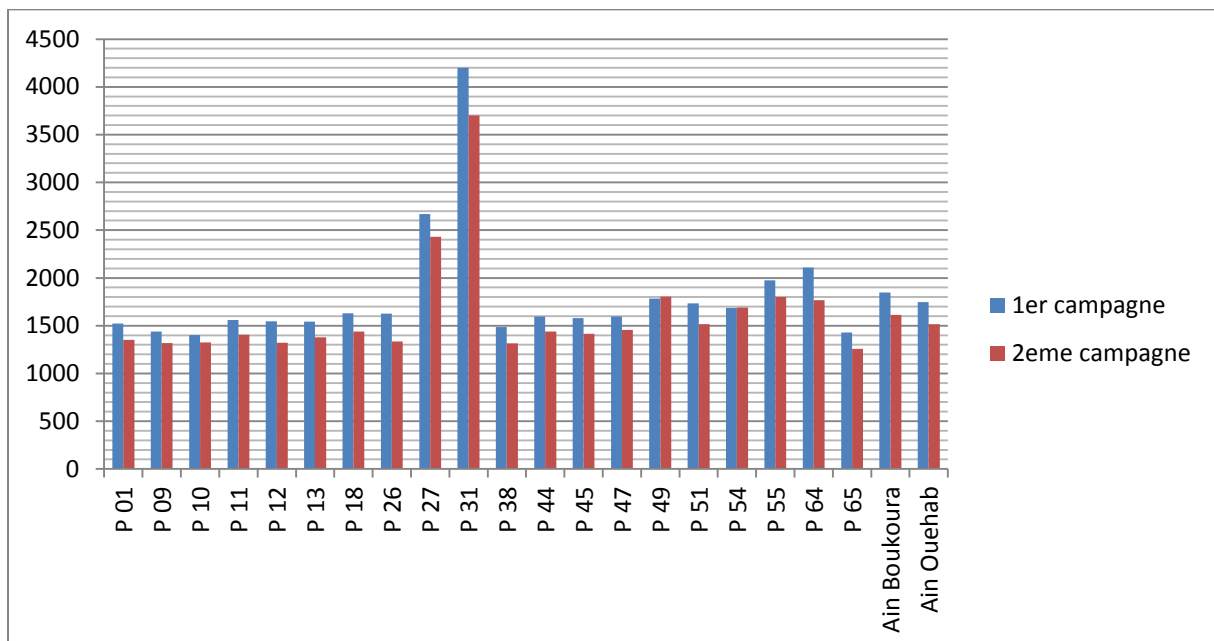


Figure III.3 : la variation de la conductivité pendant les deux campagnes.

Tableau III.1 : Les paramètres physiques mesurés sur le site pour la 1er campagne

N° de puits	Date de prélèvement	PH	CE (µS/cm)	T eau (°C)
P 01	03/04/2012	7.23	1522	18
P 06	03/04/2012	7.26	1445	18
P 09	05/04/2012	7.19	1438	18
P 10	05/04/2012	7.20	1403	18
P 11	05/04/2012	7.21	1561	18
P 12	05/04/2012	7.19	1546	18
P 13	05/04/2012	7.28	1544	18
P 18	03/04/2012	7.23	1629	18
P 21	03/04/2012	7.36	1633	18
P 26	03/04/2012	7.35	1626	18
P 27	03/04/2012	6.85	2670	19
P 31	03/04/2012	7.75	4200	18
P 33	03/04/2012	7.41	1485	18
P 35	03/04/2012	7.25	1490	18
P 38	03/04/2012	7.97	1486	18
P 40	03/04/2012	7.36	1482	18
P 41	03/04/2012	7.25	1521	18
P 44	04/04/2012	7.25	1595	18
P 45	04/04/2012	7.35	1581	18
P 47	04/04/2012	7.35	1596	18
P 49	04/04/2012	7.35	1784	18
P 51	04/04/2012	7.33	1733	18
P 54	04/04/2012	7.41	1687	18
P 55	04/04/2012	7.28	1974	18
P 64	04/04/2012	7.24	2110	18
P 65	03/04/2012	7.30	1430	18
P 69	04/04/2012	7.35	1605	18
Ain Boukoura	04/04/2012	7.24	1846	18
Ain Ouehab	04/04/2012	7.31	1747	18

Tableau III.2 : Les paramètres physiques mesurés sur le site pour la 2 eme campagne

N° de puits	Date de prélèvement	PH	CE (µS/cm)	T eau (°C)
P 01	08/06/2012	7.42	1352	19
P 09	08/06/2012	6.81	1317	19
P 10	08/06/2012	7.04	1324	19
P 11	08/06/2012	6.86	1406	19
P 12	08/06/2012	7.15	1320	19
P 13	08/06/2012	7.24	1379	19
P 18	08/06/2012	7.42	1439	19
P 26	08/06/2012	7.41	1336	19
P 27	08/06/2012	7.40	2430	19
P 31	08/06/2012	8.20	3700	19
P 38	08/06/2012	8.14	1316	19
P 44	08/06/2012	7.39	1438	19
P 45	08/06/2012	7.32	1415	19
P 47	08/06/2012	7.24	1455	19
P 49	08/06/2012	7.45	1804	19
P 51	08/06/2012	7.20	1517	19
P 54	08/06/2012	7.15	1690	19
P 55	08/06/2012	7.34	1802	19
P 64	08/06/2012	7.40	1768	19
P 65	08/06/2012	7.48	1258	19
P 70	08/06/2012	7.24	1455	19
Ain Boukoura	08/06/2012	7.53	1613	19
Ain Ouehab	08/06/2012	7.45	1515	19

III.3.2. PARAMETRE CHIMIQUE

Voyant les campagnes de 2011, nous jugé qu'il est intéressant de suivre l'évolution de nitrates.

La figure IV.5 montre que les ions nitrates n'évoluent pas de la même manière pendant toute la période d'observation. Cependant, on peut dire que lors de la campagne de hautes eaux, les teneurs enregistrées sont plus élevées que lors de la campagne de basses eaux.

On signale que la campagne du mois d'Avril a connu l'enregistrement des teneurs les plus élevées, car elle coïncide en pleine saison agricole

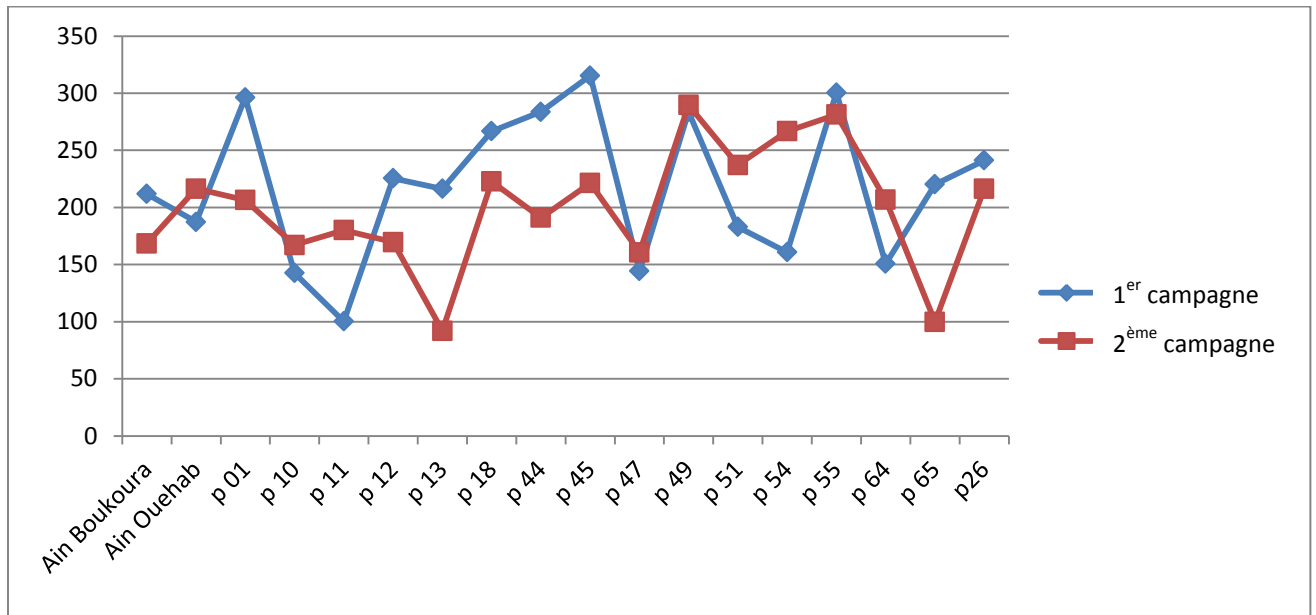


Figure III.4 : Evolution des nitrates en fonction du temps dans la nappe d'Hennaya.

III.3.3. CARTOGRAPHIE HYDROCHIMIQUE

Les eaux souterraines contiennent toujours des sels dissous qui leur confèrent les caractéristiques du milieu dont elles sont issues. Ces sels peuvent également provenir de phénomènes exogènes qui ont contribué à des modifications de la chimie du milieu, parmi lesquels on note l'évaporation et le lessivage.

On a procédé à l'établissement de la cartographie hydrochimique. La répartition de concentration dépend de plusieurs facteurs tels que la lithologie, l'état hydrodynamique de la nappe (les profondeurs de la surface piézométrique, la vitesse d'écoulement) et les conditions climatiques (une température élevée provoque l'évaporation et les précipitations engendrent le lessivage et la dissolution des roches).

Dans notre présente étude, on va cartographier des éléments chimiques dominants caractérisant les faciès chimique qui présentent une influence sur la qualité des eaux.

➤ **carte iso teneur de la conductivité**

Les valeurs de la conductivité électrique montrent que tous les puits ne dépassent pas la norme recommandée relative à la potabilité des eaux (2880 $\mu\text{S}/\text{cm}$), à part le puits numéro 31 pendant les deux périodes de prélèvement.

Les valeurs minimales sont enregistrées au Nord et au Sud-Ouest de la nappe.

La valeur maximale est de l'ordre de 4200 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), on la rencontre dans la zone des grès tortoniens, au Sud-Est de la nappe.

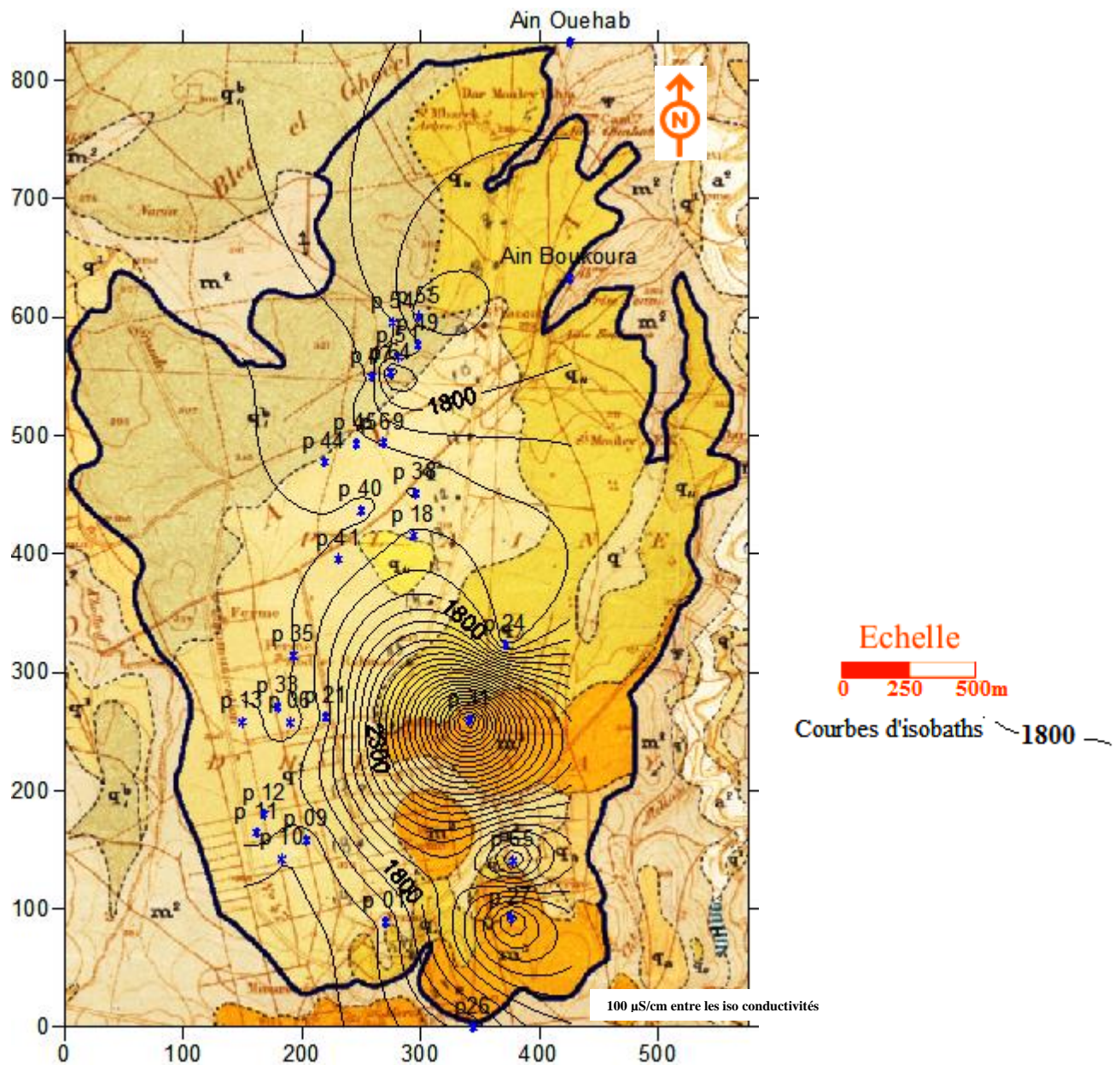


Figure III.5 : Carte d'iso conductivité (campagne Avril 2012) (extrait de la carte géologique 1/50000).

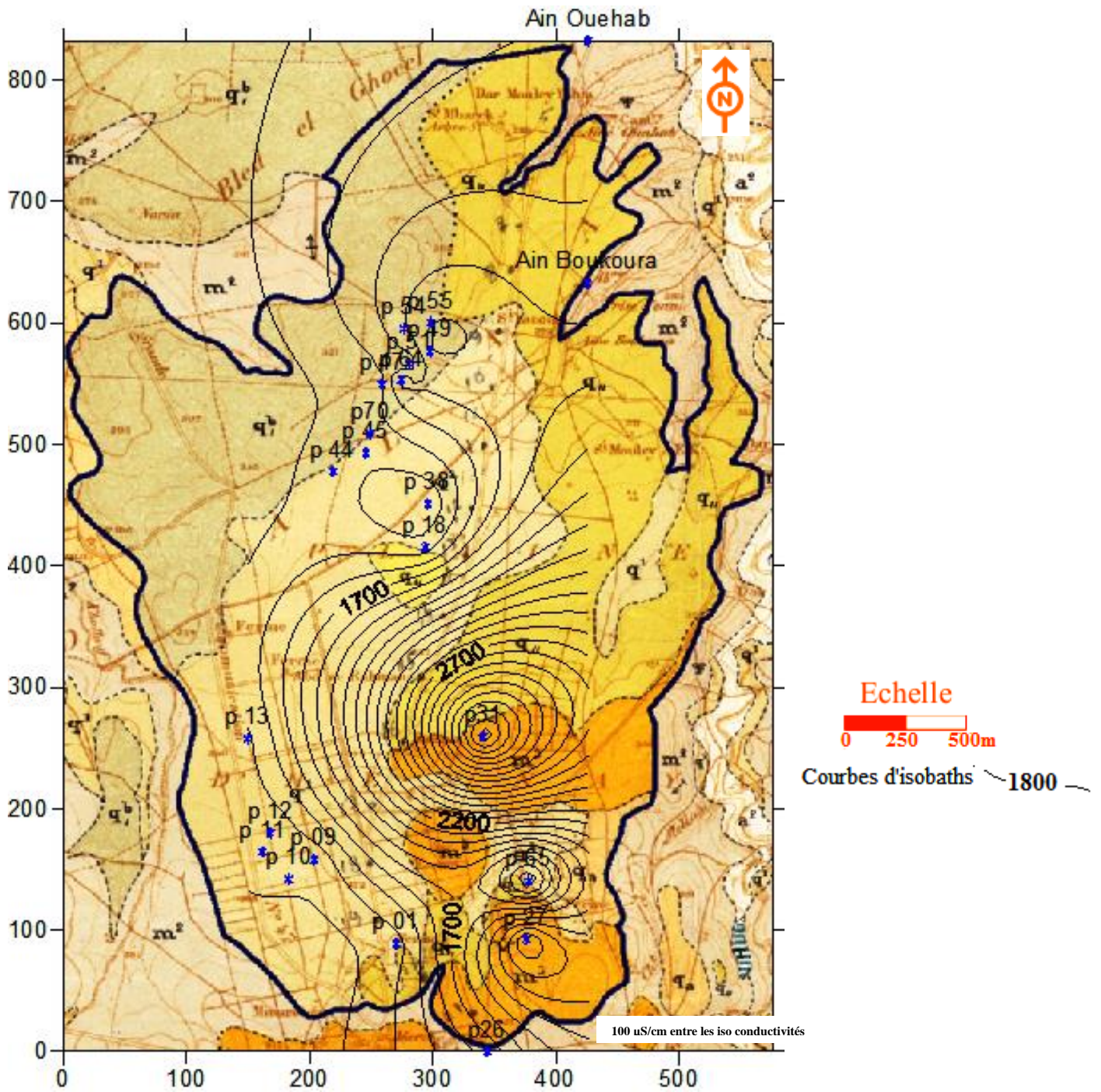


Figure III.6 : Carte d'iso conductivité (campagne Juin 2012) (extrait de la carte géologique 1/50000).

➤ Carte iso teneur de nitrates NO_3^-

L'observation des cartes de nitrates montre que les teneurs sont important au centre et au Nord de la nappe qui varie entre 160 et 315 mg/L dans les deux campagnes de prélèvement.

Les concentrations de nitrates mesurées dépassent la concentration maximale admissible (50 mg/L).

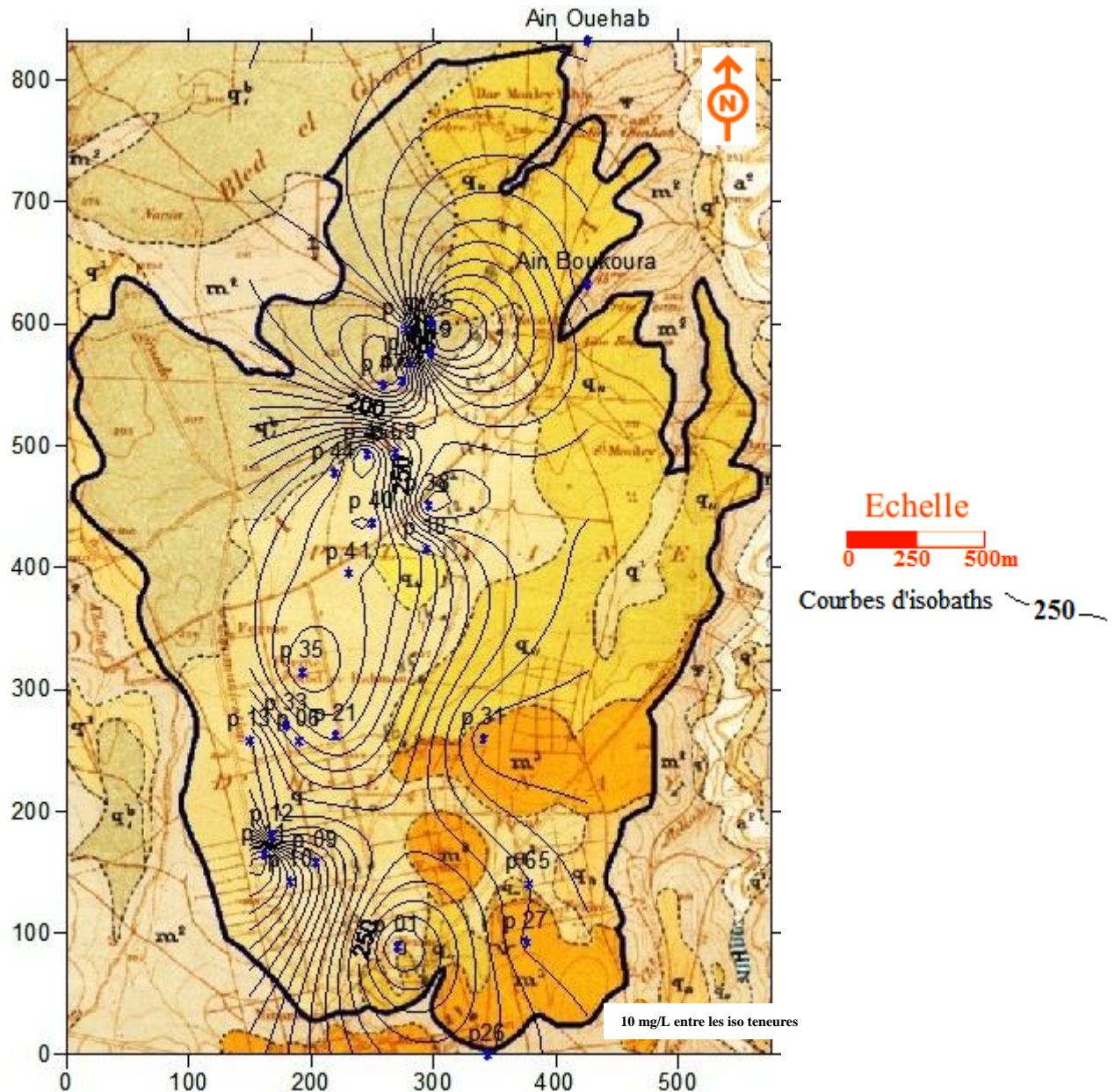


Figure III.7: Carte d'iso teneur en NO_3^- (campagne Avril 2012) (extrait de la carte géologique 1/50000).

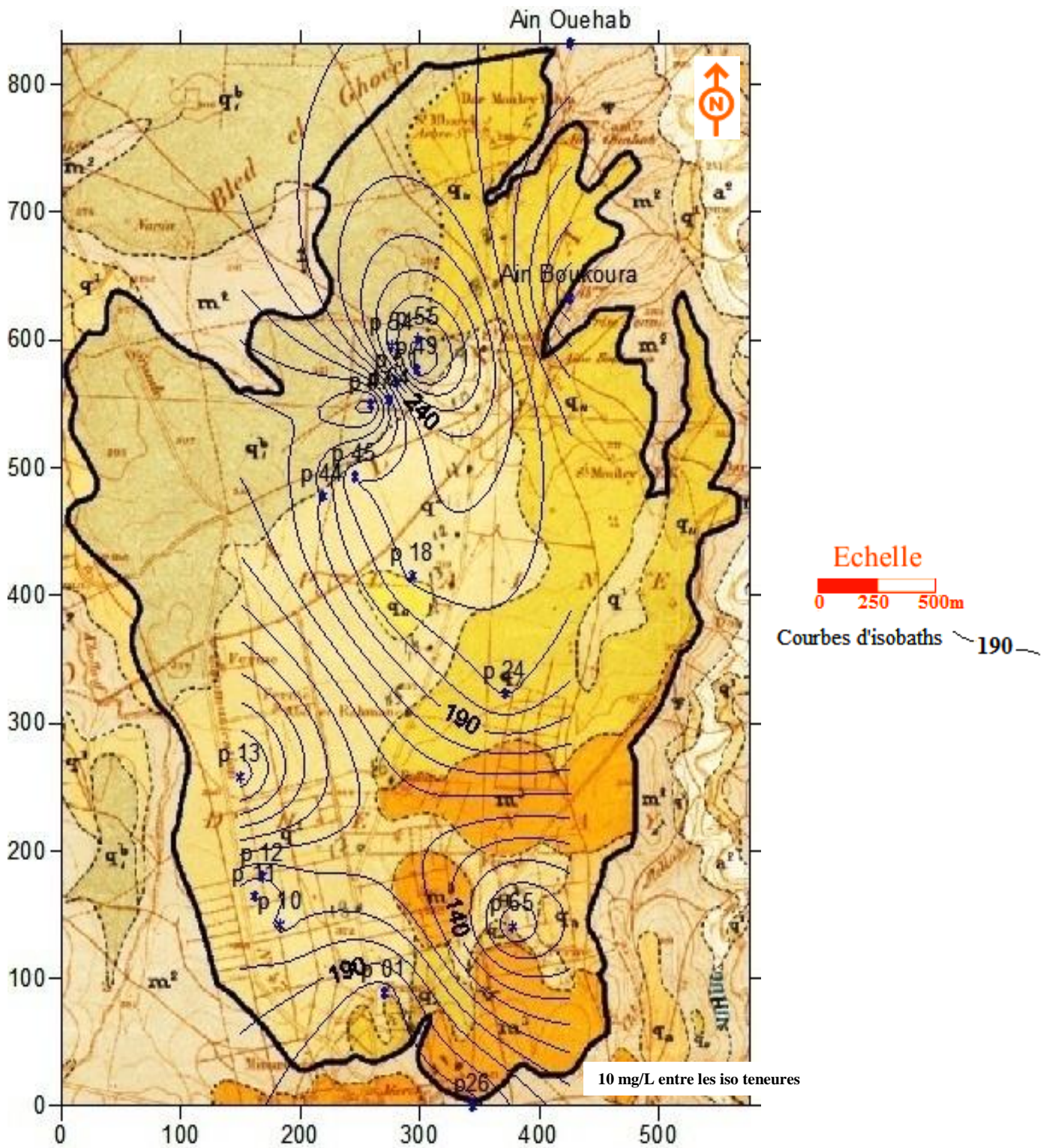


Figure III.8 : Carte d'iso teneur en NO_3^- (campagne Juin 2012) (extrait de la carte géologique 1/50000).

III.4 CONCLUSION

D'après l'étude des résultats obtenus à partir des analyses physico-chimique réalisés sur 30 échantillons au niveau de la nappe Mio-plio-quaternaire de la plaine d'Hennaya, on peut dire que ces eaux sont :

- D'une température de 18°C pour la première campagne et de 19°C pour la deuxième campagne.
- à conductivité aux normes de potabilité a part le puits 31.
- D'un pH qui varie de 6,81 à 8, 20.
- Très riches en NO₃ avec des teneurs qui varient de 160 à 315 mg/L.

Les valeurs de la conductivité et de nitrate sont très élevées par rapport aux normes algériennes de potabilité alors que la température et le pH sont acceptables.

Comparant nos résultats avec ceux obtenus par ferras en 2011 on peut dire que la température, le pH et la conductivité n'ont pas beaucoup changé. Par contre les valeurs de nitrate trouvées en 2011 sont nettement plus élevées que celles que nous avons obtenues.

Chapitre IV : L'impact de l'activité agricole sur la plaine d'Hennaya

IV.1. INTRODUCTION

Les activités humaines passées ou présentes, en particulier les activités industrielles, mais aussi agricoles et domestiques, libèrent dans l'environnement des produits et des substances potentiellement dangereux, appelés contaminants ou polluants. Ces derniers sont rejetés vers les milieux naturels (eau et sol). Leur présence, notamment dans les eaux souterraines, pose un problème transdisciplinaire à l'interface des écosystèmes et des ressources hydriques.

La région d'Hennaya a connu durant ces dernières années une certaine expansion économique et particulièrement agricole, après l'application du Programme National de Développement de l'Agriculture en (PNDA) en 2000 et celui du Fond National pour la Régulation du Développement Agricole (FNRDA) en 2001. Ceci a, d'une part, augmenté la demande en eau et a, d'autre part exposé les ressources en eau à différentes pollutions résultant de l'activité agricole.

La présente étude vise donc à délimiter les zones contaminées et à déterminer l'origine de ces contaminants dans l'aquifère Mio-Plio-Quaternaire, car le contrôle de cette contamination passe par une bonne connaissance des sources de contaminants et des conditions hydrodynamiques et lithologiques de la nappe, qui influent sur leur mobilité.

IV.2. LES PRINCIPALES SOURCES DE POLLUTION

Durant nos sorties sur terrain, on a pu faire un inventaire des différentes sources de pollution, qui se résument comme suit:

- L'élevage des animaux (ovins, bovins et volailles), qui produit une certaine quantité d'azote ;
- Les cultures maraîchères et céréalières, qui utilisent d'importantes quantités de fertilisants sous forme de fumier ou d'engrais en site [Granstar (Bouillie Bordelaise Vallès), Mestixone (Herbicide), Antracol 70 WP, Picador 20% SL) ;

- Les rejets urbains d'eaux usées domestiques, qui sont déversés dans la plaine, sans traitement préalable;
- Les décharges ménagères sauvages.

Ce recensement nous a permis de choisir un réseau d'une trentaine de puits pour le suivi de l'évolution de ce type de pollution. Le choix de ce réseau de surveillance s'est fait à l'aide de critères lithologiques et hydrodynamiques.

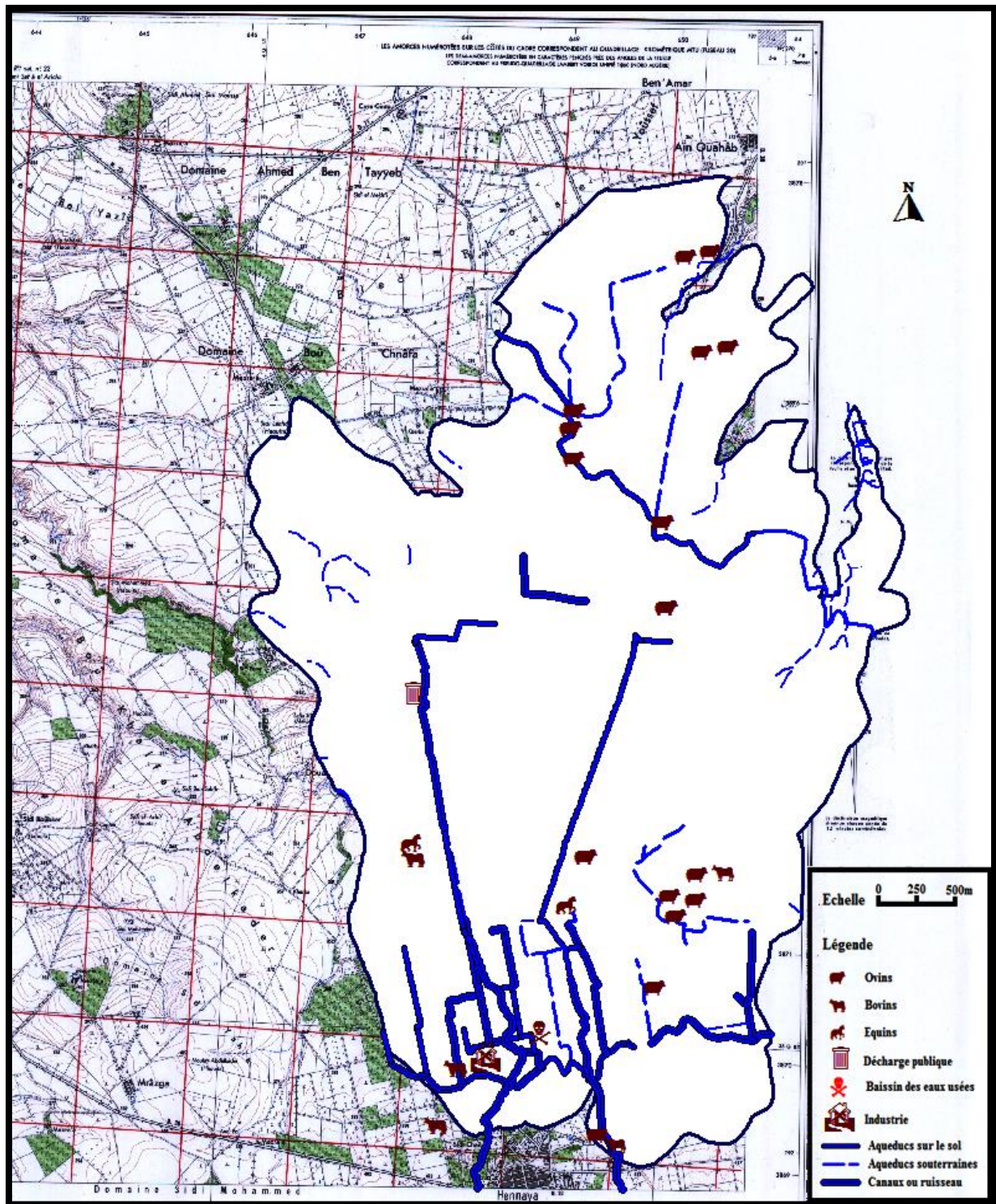


Figure IV.1 : Inventaire des sources de pollutions, dans la plaine d'Hennaya

IV.3. OCCUPATION DU SOL

La plaine d'Hennaya recèle le potentiel en sol à haute valeur agricole. Bénéficiant d'une infrastructure d'irrigation, cette zone est le domaine de l'arboriculture irriguée et les cultures maraichères en comptant sur une surface de 726 Ha.

La surface des céréales emblavées est 2770 Ha en plaine. Le rendement est de l'ordre de 15 Qx/Ha.

Les cultures fourragères occupent une surface de 146 Ha dont 543 Ha de vesce avoine. La production globale est évaluée à 36575 Qx.

La part de la superficie occupée par les légumes secs est de 350 Ha. Le rendement moyen de toute espèce confondue est de 6 Qx/Ha. Le potentiel viticole de la commune occupe une superficie de 270 Ha de nouveaux vergers de vigne de table à travers la plaine avec un rendement de 32 Qx/Ha. Ceci explique le système cultural intensif basé sur l'assolement binaire céréales, légume secs, céréales fourrage [PDAU HENNAYA].

Le périmètre de Hennaya s'étend sur 912 hectares est irrigué à partir des eaux épurées de la station d'épuration (STEP) de Ain Hout, Chetouane Tlemcen, compte 480 ha de terres réservées aux agrumes, 190 ha à l'arboriculture, 142 ha à la céréaliculture et légumes secs en plus de 100 ha de cultures saisonniers contribuera à l'irrigation de 150 ha de superficies agricoles à Ain El Hout.

La recherche de meilleurs rendements et d'une plus grande régularité dans la production conduit à élargir les zones d'irrigation dans la plaine d'Hennaya. C'est ainsi qu'on a assisté à une progression des surfaces irriguées.

Dans ce contexte, le projet de l'ONID a été créé, il consiste à réutiliser les eaux usées épurées issues de la STEP d'Ain El Hout pour l'irrigation du périmètre d'Hennaya.

La situation du périmètre durant le mois de septembre 2012 est : le volume distribué égale à 85 400 m³, avec une superficie irriguée de 150 Ha, le nombre de bénéficiaire est de 87, les cultures irriguées sont l'arboriculture (oliviers, agrumes), ainsi que le nombre des exploitant agricole sont 15 exploitant agricole collectif (EAC) ,13 exploitant agricole individuelle (EAI) et 17 prive [ONID].

Les caractéristiques du périmètre sont :

- Un réservoir tampon d'une capacité de : 9300 m³ ;
- La superficie équipée : 912 Ha;
- Nombre de bornes installées : 102 avec 138 prise;
- Nombre d'exploitant théorique : 212;
- L'irrigation se fait par secteur en rotation;
- Culture irriguées : oliviers, agrume, pommier ;
- Le périmètre comprend deux étages et présente un réseau de conduites en PVC ramifié de différents diamètres sous pression ;
- Le système et le mode d'irrigation sont gravitaire.

Dans la figure IV.2, nous avons montré les différentes cultures occupant le sol. Ce travail a pu être réalisé grâce à de nombreuses sorties sur le terrain que nous avons effectuées tout le long de la préparation de ce mémoire. La cartographie effectuée a pu être finalisée grâce à l'utilisation de Google Earth.

IV.4. LES CLASSES DE PROFONDEUR DES SOLS ET LEURS CARACTERISTIQUES

Les classes d'aptitude des sols à l'irrigation et au drainage conformément aux normes préconisées par F.A.O basées sur la nature et l'intensité des contraintes existantes suivantes : profondeur du sol, porosité, perméabilité, salinité, drainage, calcaire actif ont été identifiées.

On peut résumer les caractéristiques du sol dans le tableau suivant :

Tableau IV.1 : caractéristiques du sol de la plaine d'Hennaya.

Désignation	Caractéristiques (aptitude à l'irrigation, profondeur, topographie, nature du sol, structure)	Aptitudes culturales
Classe 1	Bonne profondeur (>80 cm) Irrigué ou irrigable Formation de dépôt d'alluvion Non calcaire Structure meuble et poreuse Bonne infiltration	Tous les type de culture en sec ou en irrigué
Classe 2	Profondeur moyenne (40-80 cm) Irrigué ou irrigable Sol rouge méditerranéen Reposant sur des encroutements calcaires Texture argilo-limoneuse à structure équilibrée	Arboriculture Culture maraichère en irrigué
Classe 3	Profondeur moyenne a faible (<40 cm) Contraintes topographique pente > 12% Sol formé de marne et de gré tendre	Céréaliculture et légumes secs sur faible pente Vigne et arboriculture rustique sur moyenne et forte pente
Classe 4	Forte contrainte topographique Pente raide Sol rocheux	Reboisement Elevages hors sol Construction d'habitat rural

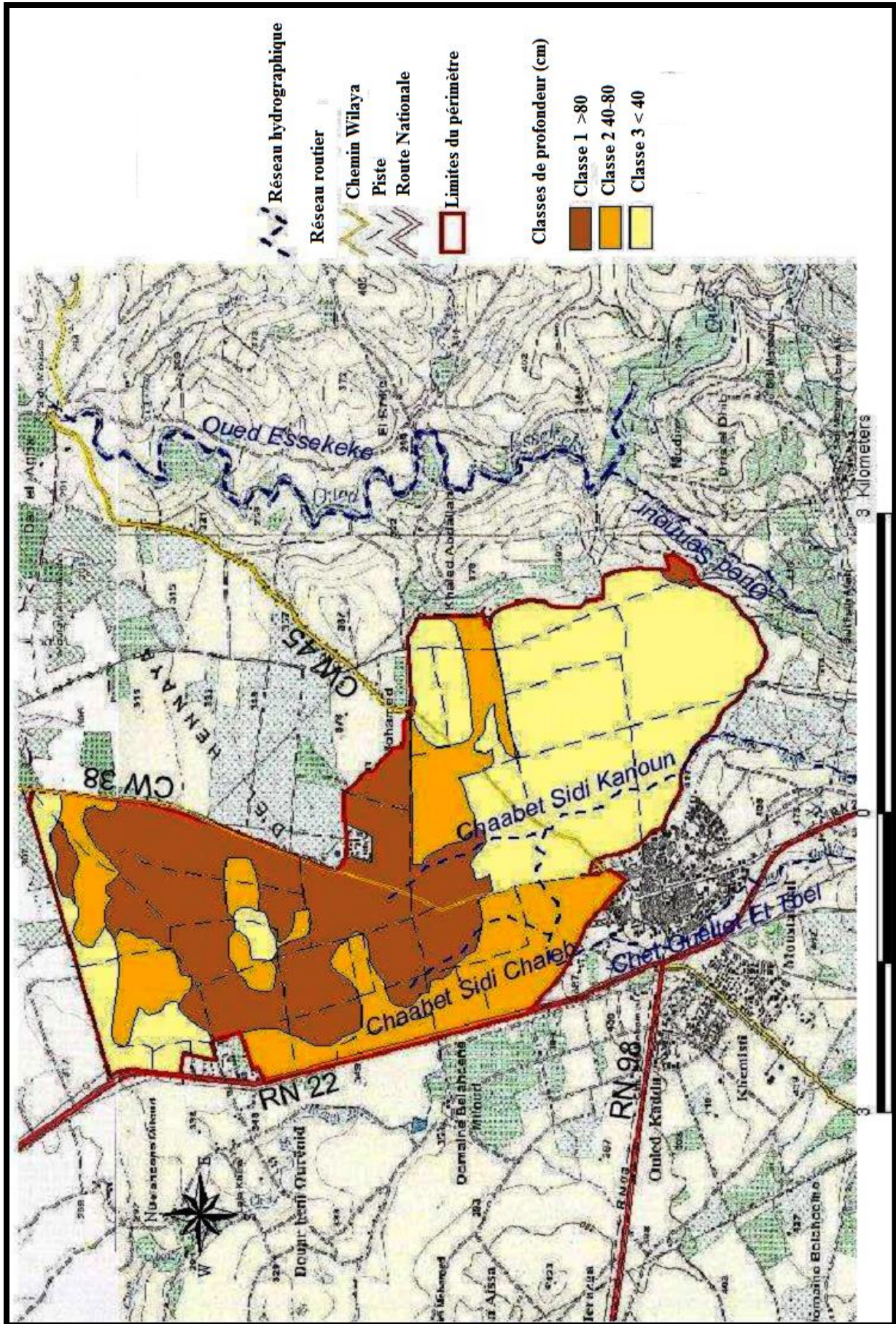


Figure IV.3 : Classe de profondeurs des sols de périmètre [1].

IV.5. IMPACT DE L'ACTIVITE AGRICOLE SUR LES EAUX SOUTERRAINES

IV.5.1. PRODUCTION DES NUTRIMENTS

L'azote est l'élément nutritif le plus déficient dans les systèmes de production agricole. La croissance de la plupart des cultures exige l'apport d'azote, particulièrement les variétés modernes à haut rendement. Les sources d'azote pour ces cultures peuvent être :

- La présence de nitrates dans les nappes liée en particulier à certaines activités agricoles de type intensif (céréales, maïs, etc...).
- La matière organique du sol par la minéralisation ;
- Les amendements organiques comme le fumier et les autres déchets ;
- Les engrais azotés.

Ces derniers donnent naissance aux nitrates par les processus de nitrification qui correspondent à l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal en azote nitrique NO_3^- (figure IV.4). Les étapes successives de la nitrification se font par l'intermédiaire de deux familles de bactéries principalement présentes dans les sols : Nitrosomonas pour la nitritation (transformation de NH_4^+ en NO_2^-) et Nitrobacter pour la nitratisation (transformation de NO_2^- en NO_3^-).

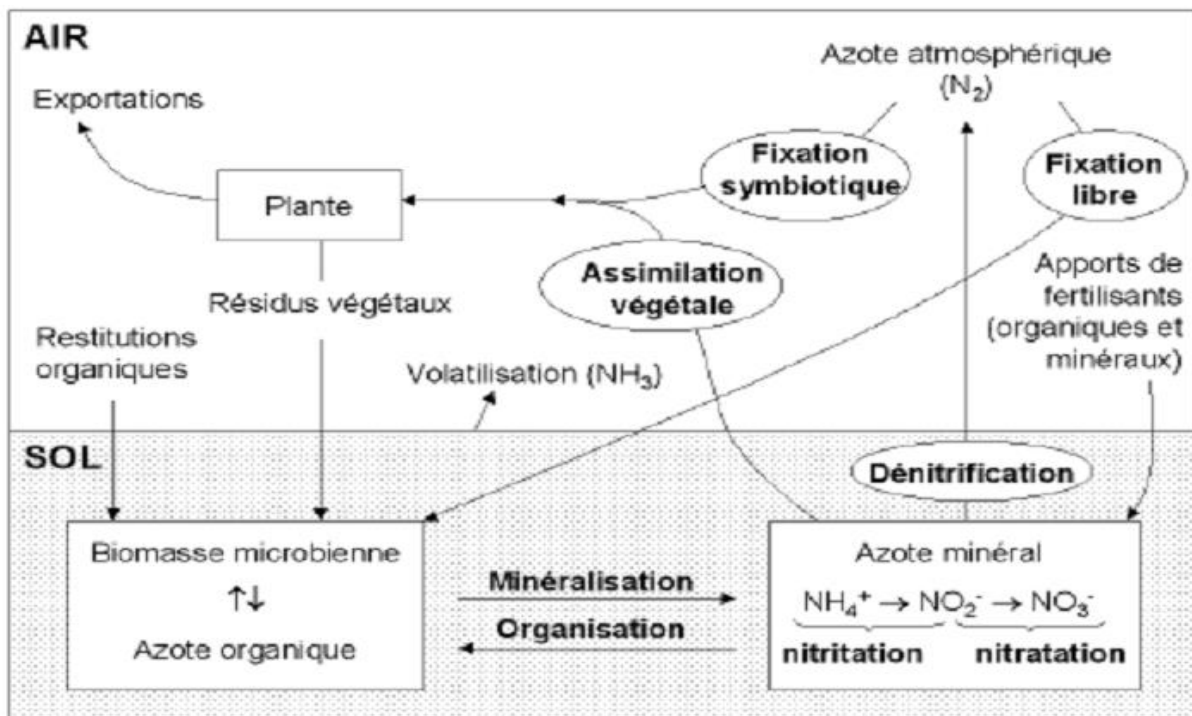


Figure VI.4 : Cycle de l'azote dans le sol, [Recous et al. 1997].

IV.6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

De l'ensemble des éléments d'information donnés et traités précédemment il peut être conclu que :

- Le périmètre de Hennaya est situé sur des terrasses anciennes de l'oued Sikkak ;
- La superficie estimée est de plus de 912 ha ;
- La majorité des parcelles sont occupées par des oliviers et des agrumes et céréales ;
- La structure globale du réseau d'irrigation (apport d'eau aux parcelles) est disponible ;

Les différents points abordés le long de ce chapitre ont fait état de la pollution de la nappe souterraine d'Hennaya, mais il était difficile d'évaluer l'importance de cette pollution. Notre approche a permis de préciser l'importance de ce problème et de préciser son origine. Ainsi, la nappe superficielle du Mio-Plio-Quaternaire semble être fortement contaminée par des nutriments d'origine agricole, suite à l'utilisation de fertilisants plus que nécessaire pour les plantes. D'autre part, les rejets urbains, déversés sans aucun traitement préalable dans le réseau hydrographique, sont une source importante de pollution.

L'activité agricole vivrière soumise aux aléas climatiques : l'occupation actuelle du sol n'est pas toujours adaptée aux aptitudes pédoclimatiques des différents espaces qui demeurent mal valorisés.

Alors suite à notre travail on cite quelques recommandations pour traiter ces problèmes et améliorer la qualité des eaux souterraines dans le futur :

- Faire des campagnes d'échantillonnage régulier aux endroits les plus touchés par la pollution
- Arrêter la décharge publique
- fermer tout les puits abandonnés
- Installer un réseau de piézomètres à travers la nappe, pour contrôler la fluctuation de la surface piézométrique, pour prendre les mesures de gestion conservatoires et appropriées de la nappe.
- Arrêter le déversement direct des rejets urbains et industriels au niveau de la plaine.

CONCLUSION GÉNÉRALE

La méthodologie adoptée dans ce travail de recherche a été appliquée à la nappe de la plaine d'Hennaya, qui est caractérisée par un relief relativement plat. Le secteur d'étude qui couvre une superficie d'environ 28 Km² recèle des ressources en eau relativement importantes, et dispose d'une base de données considérable et variée, acquise durant plusieurs décennies à travers les travaux de prospection, de suivi et d'exploitation.

Les ressources souterraines de la nappe Mio-plio- quartenaire de la plaine d'Hennaya sont très sollicitées pour satisfaire les besoins, notamment domestique et agricoles. Elle constitue un facteur déterminant pour le développement économique et social, mais le climat sec et l'exploitation intensive a engendré une baisse importante du niveau piézométrique et des débits des sources à l'exutoire, a rendu urgent le recours à une gestion appropriée de la ressource en eau aussi bien sur le plan quantitatif que qualitatif afin de préserver le milieu naturel. Ceci nécessite au préalable une bonne connaissance du fonctionnement de cette nappe.

La synthèse géologique a permis de dire que la plaine d'Hennaya correspond à une dépression Mio-plio- quartenaire, limitée par des formations mésozoïques constituées essentiellement par des les terrains karstiques du jurassique supérieur qui forme une zone haute. Les terrains tertiaires qui occupent la dépression, sont représentés par des formations marneuses qui constituent le substratum de la nappe.

La plaine d'Hennaya est soumise à un climat méditerranéen de type semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec. L'étude climatologique de la région sur la période allant (1991-2011) montre que la moyenne annuelle des précipitations de la station de Zenata est de 360 mm/ans avec une température moyenne annuelle de 18°C.

L'étude hydrogéologique nous a permis de préciser la nature du réservoir constitué principalement par les conglomérats d'Hennaya. L'observation des cartes montre que l'écoulement souterrain se fait, en général, de Sud vers le Nord pendant les deux compagnes. Le niveau piézométrique présente une évolution régulière, caractérisée par une baisse durant

la période des basses eaux sous l'effet de l'évaporation et l'utilisation de l'eau de la nappe pour l'irrigation.

L'étude hydrogéochimique a été réalisée afin de caractériser la qualité des eaux souterraines, donc les facteurs naturels et anthropiques qui influent sur cette qualité. Plusieurs modes et outils d'interprétation ont été utilisés (cartographie, diagrammes, statistiques, informatique, etc.). Les résultats d'analyses effectuées montrent que les eaux de puits et de sources étudiées sont non potables.

L'Etude de l'impact de l'activité agricole sur la nappe d'Hennaya nous a permis de dire que la majorité des causes de la pollution des eaux souterraine sont probablement d'origine agricole due a l'utilisation intensive des fertilisants et des engrais ainsi que l'irrigation par les eaux usées.

BIBLIOGRAPHIE

AMRAOUI F. (2005) : Contribution a la connaissance des aquifères karstique : cas du lias de la plaine du saïs et du causse moyen atlasique tabulaire (Maroc), Thèse de doctorat d'état, université des Sciences et Technique du Langue doc (USTL ; Montpellier ; France).

BABA HAMED K., BOUANANI A., TERFOUS A. & BEKKOUCHE A., 2005: Modèle transitoire de la nappe des alluvions de la plaine d'Hennaya (Tlemcen, NW-Algérie-), Revue semestrielle scientifique et technique, journal de l'eau et de l'environnement, Université de Tlemcen.

BENEST M. (1985) : Evolution de la plate forme de l'Ouest algérien et du Nord-Est marocain au cours du jurassique supérieur et du début du Crétacé. Stratigraphie milieu de dépôt et dynamique sédimentaire. Thèse doctorat. Documents Lab. Geol. Univ. Lyon. Fasc. I.N°95 367p. 107. Fig.

BESSEDIK., 1995 : essai de modalisation d'une nappe application à la nappe d'Hennaya et sur banc d'essai. Mémoire d'ingénieur, Université de Tlemcen.

BOUANANI A. (2004) : Hydrologie, transport solide et modélisation étude de quelque sous bassins de la Tafna (NW-Algérie), Thèse de doctorat d'état, université de Tlemcen.

BRICHA S., OUNINE K., OULKHEIR S., EL HALOUI N. et ATTARASSI B., (2007) : Etude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc).Laboratoire de biologie et santé, Équipe de microbiologie appliquée, Département de biologie, Faculté des sciences, Université Ibn Tofail, Kénitra Maroc
biologie, Faculté des sciences, Université IbnTofaïl, BP133,14000 Kénitra, Maroc.

COLLIGNON B. (1986) : Hydrogéologie appliquée aux aquifères karstiques des Monts de Tlemcen. Algérie. Thèse doct. Hydrogéol, Univ. Avignon, 1986, 282p.

Tome I : Hydrogéologie régionale.

Tome II : les forages hydrauliques dans les roches karstiques.

FERRAS H. (2011) : Etude de l'impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines : cas de la plaine d'Hennaya, Mémoire de master, université de Tlemcen.

GHODBANE M. (2009) : Etudes de la contamination des eaux souterraines de la zone Nord de Chemora par les nitrates –Est Algérien-, Mémoire de magistère, Université de Batna.

GOUAIDIA L., (2008) : Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico – chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est Algérien. Thèse de doctorat, Université d'Annaba.

GUARDIA P. (1975) : Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie occidentale. Relation structurales et paléogéographiques entre le Tell externe et l'avant pays atlasique. Thèse Sci. Univ. Nice.

HAYANES. M., (1983) : Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'oued Sikkak (région de Tlemcen). Thèse de doctorat, Université d'Oran.

KHALDI A. (2005) : Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida" ,Thèse de doctorat d'état, Université d'Oran.

KRASIMIR P. (2011) : Etude d'aménagement hydro-agricole du périmètre Tafna-Isser-Hennaya, Université d' Architecture, Construction et Géodésie Centre d'édition de l'Université (UACG) Hristo Smirnenski, Sofia Bulgarie.

MEDANE K. & BAKADI Z., (2004) : Étude hydrogéologique de la plaine d'Hennaya (Tlemcen, Algérie nord occidentale). Mémoire d'ingénieur, Université de Tlemcen.

P.D.A.U : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme. Révision du PDAU d'Hennaya-phase finale, dar el handassa page 10, 11, 12, 13,14 et 22 (Tlemcen).

RABIET M. (2006) : Contamination de la ressource en eau par les eaux usées dans un bassin versant méditerranéen apport des éléments majeurs, traces et terres rares. Thèse de doctorat, Université Montpellier II.

RODIER J. (2009) : L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Dunod, 9^{ème} édition – Paris.

WEBIOGRAPHIE

[1] :<http://www.google.fr/#hl=fr&output=search&client=psyab&q=Projet+d%E2%80%99utilisation+des+eaux+us%C3%A9es+trait>.

Consulté le : 23/09/2012.

[2] :http://mohammedgadiri.blogspot.com/2009_12_01_archive.html.

Consulté le : 17/10/2012.

Google Earth:

<http://Google\Google Earth\client\googleearth.exe>"

Consulté le : 03/05/2012.

http://www.tutiempo.net/clima/Tlemcen_Zenata/605310.htm

Consulté le : 07/07/2012.

Manuel d'utilisation de *Surfer8*(help of surfer).

Manuel d'utilisation de *MapInfo*(help of MapInfo).

LISTE DES ABREVIATIONS ET DES PARAMETRES

- A.N.R.H. : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- C.E. : Conductivité électrique ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)
- D.R.H.W : Direction des ressources en eau de la wilaya de Tlemcen
- EAC : exploitant agricole collectif
- EAI : exploitant agricole individuelle
- E.T.P. : Evapotranspiration potentielle (mm)
- E.T.R. : Evapotranspiration Réelle (mm)
- F.N.R.D.A : Fonds National pour la Régulation du Développement Agricole
- I : Indice d'aridité
- N.A : Normes Algérien
- O.N.A : Office National d'Assainissement
- O.N.I.D. : Office National d'Irrigation et du Drainage
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- O.M.S : l'Organisation Mondiale de santé
- P.D.A.U. : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
- P.N.D.A : Programme National de Développement de l'Agriculture
- S.A.R. : Sodium Absorption Ratio
- S.I.G. : Système d'Information Géographique
- S.T.E.P. : Station d'Épuration
- Z.H.U.N : zones d'habitat urbain nouveau
- T_M : moyenne mensuelle des températures maximales
- T_m : moyenne mensuelle des températures minimales
- T_{moy} : Température moyenne mensuelle
- T: Température ($^{\circ}\text{C}$)
- P : Précipitation (mm)

mm : millimètre

meq: Milliéquivalent

cm: centimètre

°C: Degrés Celsius

°K: Degrés Kelvin

h: heure

μS: Microsiemens par centimètre

P: puits

S: Source

pH : potentielle d'Hydrogène

mg : milligramme

L: Litre

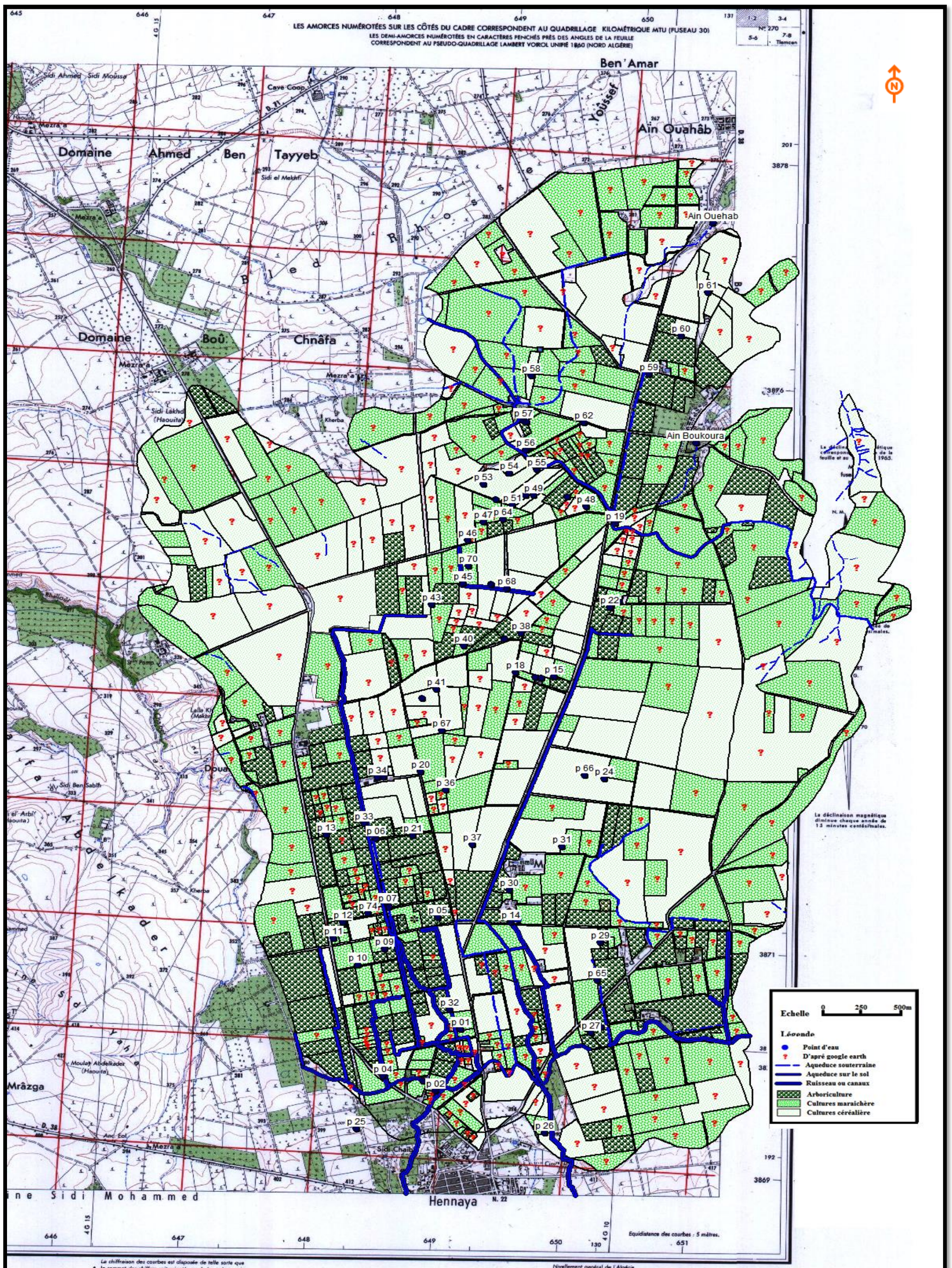


Figure IV. 2: Plan d'occupation des sols

Annexe

Annexe I : CONTEXTE GENERAL

Tableau 1 : INVENTAIRE DES SONDAGES MECANIQUES REALISES SUR LA PLAINE D’HENNAYA PAR TECHNOEXPORTSTROY(1971).

NUMERO D'INVENTAIRE	COORDONNEES LAMBERT			COUPE STRATIGRAPHIQUE ET CARACTERISTIQUES
	X (Km)	Y (Km)	Z (m)	
S ₁	127.600	193.250	322	Profondeur : 31m. de 0 à 24m. croûte calcaire et argiles caillouteuses (quaternaire)/ De 24 à 31m. : grès tortoniens fissurés. Eau dans les grès.
S _{1a}	127.375	192.175	394.	Profondeur : 25m. Croûte calcaire et argiles de 0 à 12m. de 12 0 25m. : marnes serravaliennes. Sondage stérile.
S ₂₂	127	192.75	377.	Profondeur: 20m. Débute par des alluvions quaternaires (Argile, argiles sablonneuses). De 14 à 20m. : Grès tortoniens. Eau dans les grès.
S ₂₈	128.45	191.525	405.	Profondeur: 20m.de 0 à 10m. argiles, argiles sablonneuses et graviers (Quaternaire). De 10 à 17 m. grès tortoniens fortement fissures. De 17 à 20m. : Marnes serravaliennes. Eau dans les grés.
S ₃₀	129.6	192.75	390.	Profondeur: 20m. De 0 à 9.3m. Argiles caillouteuses(Quaternaire).De 9.3 à 20m. : grès tortoniens. Eau dans les grès.
S ₃	131	193.75	360.	Profondeur: 16.5m. De 0 à 10.7m. : argiles et argiles caillouteuses (Quaternaire). De 10.7 à 15m. : Conglomérats (Pliocène ?). De 15m. à 16.5m. : grès tortoniens. Eau dans les grès et les conglomérats.
S ₂₄	128.15	193.4	365.	Profondeur : 40m. De 0 à 27.1m. : croûte calcaire, argiles caillouteuses, graviers, galets et sables argileux(Quaternaire). De 27.1m à 30.4m. : conglomérat (Pliocène ?). De 30 à 40m. : grès tortoniens. Eau dans les conglomérats et les grès.
S _{7a}	127.65	194.875	345.	Profondeur : 15.1m. De 0 à 5.6 m: argiles caillouteuses(Quaternaire). De 5.6m.à 9.1m. : conglomérats (Pliocène ?). De 9.1 à 15.1m. : marnes serravaliennes. Eau dans les conglomérats.
S ₆	129.075	195.05	348.	Profondeur : 15.25m. De 0 à 10.8m. : argiles caillouteuses(Quaternaire).De 10.8 à 15.25. : marnes serravaliennes. Sondage stérile.
S ₃₄	130.4	199.925	275.	Profondeur : 10.9m. De 0 à 3m. : argiles. De 6.5m. : travertins. De 6.5à 9.8m. : conglomérats. De 9.8 à 10.9m. : marnes. Eau (serravalien).Eau dans les conglomérats.
S _{19b}	130.7	201.75	260.	Profondeur : 15.2m. De 0 à 5.1m. : argiles caillouteuses (Quaternaire).De 5.1 à 11.5m. : conglomérats(Pliocène).De 11.5 à 15.2m. Marnes (serravalien).Eau dans les conglomérats.
S _{21a}	130.25	202.45	260.	Profondeur : 15.2m. De 0 à 11.8m. : argiles caillouteuses (Quaternaire).De 11.8 à 15.2m. : marnes serravaliennes. Sondage stérile.

S ₃₃	129.05	203.475	240.	Profondeur : 8.3m. De 0 à 1m. : argiles (Quaternaire).De 1 à 5m. : conglomérats De 5 à 8.3m. : marnes (serravalien). Eau dans les conglomérats.
S _{8a}	128.4	196.45	326.	Profondeur : 22.8m. De 0 à 8.8m. : argiles (quaternaire).De 8.8 à 13.7m : conglomérat. De 13.7 à 22.8m. : marnes serravalien. Eau dans les conglomérats.
S ₁₄	128.575	197.45	320.	Profondeur : 15.2m. De 0 à 8 m: argiles caillouteuses (Quaternaire).De 8 à 12m. : conglomérats (Pliocène ?).De 12 à 15.2m. : marnes serravalien. Eau dans les conglomérats.
S ₂₅	128.24	192.6	360m.	Profondeur : 25.6m. De 0 à 20.6m. : croûte calcaire, argiles et argiles caillouteuses. De 20.6 à 25.6m. : grès tortonien. Eau dans les grès.
S ₁₇	129.3	198.5	302.	Profondeur : 19.6m. De 0 à 5.1m. : argiles et argiles caillouteuses (Quaternaire).De 5.1 à 6.1m. : Travertins. De 6.1 à 9.7m. : conglomérats (Pliocène ?).De 9.7 à 19.6m. : marnes serravaliennes. Eau dans les travertins et les conglomérats.
S ₂	128.9	193.4	370.	Profondeur : 23.5m. De 0 à 19.6 : argiles caillouteuse (Quaternaire).De 19.6 à 23.5m. : grès tortonien. Sondage stérile.
S _{3a}	130.15	193.6	370.	Profondeur : 9.8m. De 0 à 4.8 : argiles et argiles caillouteuse (Quaternaire).De 4.8 à 7m. : conglomérats et 7 à 9.8m. : grès tortonien. Eau dans les grès et conglomérats.
S ₃₁	129.00	194.3	352.	Profondeur : 16m. De 0 à 9.8m. : argiles et argiles caillouteuses (Quaternaire).De 9.8 à 16m. : marnes serravaliennes. Eau dans les quaternaire.
S ₄	131	195.65	352.	Profondeur : 15.5m. De 0 à 6.2m. : argile quaternaire. De 6.2 à 15.5m. : marnes helvétiques. Sondage stérile.
S ₇	128.25	194.875	345.	Profondeur : 27m. De 0 à 17m. : argiles à concrétions calcaires, argiles à graviers (quaternaire).De 17.à 25m. : conglomérats (Pliocène ?).De 25 à 27m. : marnes de l' serravalien. Eau dans les conglomérats.
S ₁₀	131.15	196.35	322.	Profondeur : 15.4m. De 0 à 4.4m. : argiles(Quaternaire).De 4.4 à 15.4m : marne serravaliennes. Sondage stérile.
S ₁₁	130.8	197.4	308.	Profondeur : 25m. De 0 à 6m. : argiles caillouteuse (Quaternaire).De 6 à 25m. : marnes serravaliennes. Sondage stérile.
S ₃₆	131.075	201.45	260.	Profondeur : 10m. De 0 à 6.5m. : argiles caillouteuses (quaternaire).De 6.5 à 10m. : marnes de l' serravalien Sondage stérile.
S _{19a}	130.175	200.175	278.	Profondeur : 15m. De 0 à 8 m. argiles caillouteuses (Quaternaire).De 8 à 15m. : marnes serravaliennes. Sondage stérile.
S ₁₅	127.075	197.825	298.	Profondeur : 15.3m. De 0 à 5m. : argiles caillouteuses (Quaternaire) .De 5 à 15.3m. : marnes serravalien. Sondage stérile.

S ₁₆	126.65	198.875	278.	Profondeur : 30.5m. De 0 à 7m. : argiles caillouteuses (Quaternaire). De 7 à 30.5m. : marnes serravaliennes Sondage stérile.
S ₂₆	126.175	200.25	272.	Profondeur : 17.2m. : De 0 à 9.5m. : argiles caillouteuses(Quaternaire). De 9.5 à 15.2m. : grès tortoniens. Sondage stérile.
S ₃₂	128.55	195.75	325.	Profondeur : 24m. De 0 à 13.3m. ; argiles Quaternaire. De 13.3 à 14.7m. : Travertins et de 14.7 à 20.4m. : conglomérats. De 20.4 à 24m ; marnes serravaliennes. Eau dans les conglomérats et les travertins.
S ₁₂	130	197.3	310.	Profondeur : 24.2m. : De 0 à 8.4m. : Croûte calcaire et argiles caillouteuses(Quaternaire). De 8.4 à 15.2 m. Travertins. De 15.2 à 21.5 m. conglomérats. De 21.5 à 24.2m. : marne de l' serravalien. Eau dans les travertins et les conglomérats.
S _{14a}	128.625	197.625	315.	Profondeur : 15m. De 0 à 4.7m. : argiles caillouteuses (Quaternaire). De 4.7 à 15 m. marnes serravalien. Sondage stérile.
S	130.75	199.35	270.	Profondeur : 12.2 m. De 0 à 8.8 m. Croûte calcaire et argile. De 8.8 à 9.8m. : conglomérats. De 9.8 à 10.9 m. marnes serravalien. Eau dans les conglomérats.

Tableau 2 : les précipitations mensuelles (mm), station de Zenata (1991-2011).

Années	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
1991-1992	3	28	26	21	9	18	99	52	91	27	4	0
1992-1993	1	14	21	16	2	69	30	50	55	0	0	2
1993-1994	8	14	83	29	81	54	4	41	19	0	4	7
1994-1995	26	10	18	62	88	46	171	31	0,7	2,3	0	0
1995-1996	16	11	15	51	58	78	56	22	27	1	0	0
1996-1997	32	19	0	38	107	0	0	47	10	4	2	14
1997-1998	44	29	42	45	29	35	47	26	65	1	2	5
1998-1999	9	2	48	5	76	74	90	0	0	3	0	0
1999-2000	14	17	60	75	0	0	11	22	24	0	0	0
2000-2001	5	70	69	26	70	55	11	5	2	0	0	1
2001-2002	15	18	139	25	3	4	15	72	39	0	0	45
2002-2003	0	19	49	23	78	79	16	19	17	2	2	0
2003-2004	53	28	66	27	53	8	1	2	9	33	47	75
2004-2005	22	57	44	11	0	1	0	0	24	10	23	14
2005-2006	18	13	8	24	37	53	22	8	36	3	1	3
2006-2007	12	55	92	4	16	22	33	59	9	0	0	1
2007-2008	32	108	13	35	18	27	16	73	105	2	0	0
2008-2009	97	2	44	7	112	44	19	12	41	2	0	0
2009-2010	5	61	28	17	55	36	69	24	42	14	63	14
2010-2011	3	47	62	58	26	30	38	69	28	27	0	3

Tableau 3 : Les températures mensuelles (°C), station de Zenata (1991-2011).

Années	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
1991-1992	24.6	17.2	13.5	10.7	8.9	10.9	12.1	15.5	18.6	19.4	24.5	26.7
1992-1993	22.9	17.6	13.7	11.7	8.8	10.2	13.8	15.3	17.4	21.4	24.9	25.7
1993-1994	21	17.6	14.2	11.1	10	11.4	13.5	14.7	19.4	17.9	28.2	27.8
1994-1995	22.2	19.4	15.5	11.5	10.9	12.9	13.6	15.2	19.9	21.5	25.2	26.2
1995-1996	21.5	19.9	17	14.3	15.6	10.8	12.8	15.4	17.8	22.9	24.9	24.2
1996-1997	20.3	17.4	15.1	13.3	12.2	12.2	13.6	16.7	19	22.3	23.3	24.6
1997-1998	23.1	20.4	16	12.4	11.5	12.7	13.8	15.1	17.3	22.8	25.7	26.5
1998-1999	23.6	17.6	14.4	10.3	10.7	9.9	13.1	15.2	19.8	22.9	25.7	26.6
1999-2000	22.9	20.5	13.1	10.9	8.7	12.5	13.7	15.5	19.6	23.9	25.8	26.2
2000-2001	23	17.6	14.1	12.9	11.8	11.5	15.7	15.7	18.3	24.1	25.6	26.5
2001-2002	22.9	21.3	13.2	10.8	10.2	11.7	14.2	15.4	18.6	22.7	25.2	24.8
2002-2003	22.6	18.7	15.4	12.9	9.7	10.4	13.9	15	18.8	24.4	26.8	27
2003-2004	23,8	20,4	12,8	10,4	11,2	12,3	12,6	14,4	16,7	23,2	26,2	27
2004-2005	22	19,5	17,2	10,7	7,3	8,3	12,8	15	20	23,4	26,1	26
2005-2006	23	20,7	16,5	11,4	9,3	10,5	14,2	17	20	22,4	27	26
2006-2007	22,7	18,6	13,6	10,6	10,4	13,3	12,7	14,4	19,1	22,2	25,5	26
2007-2008	23,4	19,3	12,4	9,7	11	12,3	13,7	17	18	22,7	26,5	26,6
2008-2009	22,1	20	17	13,8	10,3	10,6	13	14,4	19,5	23,8	27,6	26
2009-2010	23,7	18,3	14,2	12,8	12,1	13,6	13,7	16,3	18,7	22,2	26,6	27
2010-2011	23,3	19,3	14,8	10,5	10,8	10,6	13,3	17,5	20	23,4	26,3	27,2

Annexe II : HYDROGEOLOGIE



Photo01:Ain Ouehab (01/06/2012).



Photo02 : Ain Boukoura (01/06/2012).



Photo 03 : Sonde a double signalisation
(01/06/2012).



Photo 04 : mesure de niveau piézométrique
(01/06/2012).



Photo 05 : bassin d'irrigation (01/06/2012).



Photo 06 :pompe (01/06/2012).

Annexe III : HYDROCHIMIE

Tableau 1 : Norme algérienne (NA 6360-1992) de potabilité des eaux de consommation.

Paramètres	Unité	Niveau guide	Concentration Maximale admissible
pH	-	6,5 à 8,5	-
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20 °C	-	2880
Th	mg/L Ca CO ₃	100	500
Ca ²⁺	mg/L	75	200
Mg ²⁺	mg/L	-	150
Na ⁺	mg/L	-	200
K ⁺	mg/L	-	20
SO ₄ ²⁻	mg/L	200	400
Cl ⁻	mg/L	200	500
NO ₃ ⁻	mg/L	-	50
NO ₂ ⁻	mg/L	-	0,2
NH ₄	mg/L	0,05	0,5
O ₂	mg/L	5	8
Turbidité	Ntu	1	5
Résidu sec 105 °C	mg/L	-	2000

Annexe IV :



Photo 01 : Culture céréalières (01/06/2012). Photo 02 : Culture maraichères (01/06/2012).



Photo 03 : Arboricultures(les Oranges)
(01/06/2012).



Photo 04 : canalisation d'irrigation
(01/06/2012).



Photo 05 : borne d'irrigation (01/06/2012).



Photo 06 :



Photo 08 : Elevage (Ovins)(01/06/2012).



Photo 07: Elevage (Bovins) (01/06/2012).



Photo 09 : Décharge publique (01/06/2012).



Photo 10: fertilisants (01/06/2012).



Photo 11 : Rejet des eaux usée (01/06/2012).



Photo 11 : Bassin des eaux usée (puits01)
(01/06/2012).

Les hongrés utilisés à la plaine d'Hennaya (01/06/2012).

