

UNIVERSITE CADI AYYAD

Faculté des Sciences et Techniques

Marrakech

Agence de Bassin

Hydraulique de Tensift

MEMOIRE FIN D'ETUDES

Licence en Sciences et Techniques

« Eau et Environnement »

Synthèse hydrogéologique du bassin du Haouz central, région de Marrakech, Maroc

Réalisées par :

- BENCHARDA SALMA
- FRIOU ASMA

Encadré par :

- Mr .JALAL MOUSTADRAF
- Mr. Mourad Jadoud

Soutenu le 26 Juin 2014 devant le jury :

- Pr .Mohammed Jaffal (FST Marrakech)
- Pr. Jalal Moustadraf (FST Marrakech)

Année universitaire 2013/2014

Dédicace

A nos parents

Qu'aucune dédicace ne serait exprimé à juste valeur tout l'amour,
le

Respect et le dévouement que nous portons envers eux.

A nos enseignants & professeurs

Pour leur patience, dévouement et sacrifice.

A nos amis & frères

A citer un grand remerciement et gratitude envers notre ami Ali

Haissoune, pour son aide et son sacrifice.

Et à tous ceux qui ont rendu ce rapport finalement réalisable.

Remerciements

Nous tenons à remercier dans un premier temps, toute l'équipe pédagogique de la Faculté des sciences et Techniques, et les intervenants professionnels responsables de la formation Eau et environnement, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

On remercie en premier lieu Monsieur Jalal Moustadraf, notre encadrant à la faculté des Sciences et Techniques, pour ses soutiens, ses conseils, ses corrections et sa patience.

Nous adressons nos profonds remerciements à Monsieur Mourad Jadoud, notre encadrant à l'Agence de Bassin Hydraulique Tensift l Haouz, pour son temps, son encadrement, et ses conseils.

Nos remerciements sont destinés aux membres du jury, Monsieur Mohammed Jaffal, pour avoir acceptés de juger notre travail.

Par ailleurs, la réalisation de ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien moral et effectif de nos familles. On remercie donc nos parents pour leur appui et leur soutien durant toutes nos années d'étude.

On ne remercie également toute personne qui a aidé de manière directe ou indirecte à la réalisation de ce mémoire.

Nos amis et nos frères pour leur encouragement et leur soutien moral. Nous leur exprimons toutes nos vifs remerciements.

Table des matières

Introduction Générale :.....	9
Méthodologie de travail.....	10
Représentation de l'ABHT	10
Chapitre I:Contexte générale de la zone d'étude.....	14

I.	Contexte géologique, hydrologique et climatologique de la zone d'étude :	14
1.	Cadre géologique :	14
1.1-	La lithologie et formation géologique de Haouz :	14
❖	La coupe Géologique de l'Haouz central :	15
1.2-	Structure de plaine de Haouz central :	16
2.	-Cadre pédologique :	16
3.	Cadre géographique :	18
3.1-	Situation de secteur d'étude :	18
4.	Cadre hydrologique :	19
4.1-	Climatologie :	19
4.2-	Température :	19
4.3-	Pluie:	20
4.4-	Evaporation :	22
4.5-	Humidité :	23
4.6-	Végétation :	24
5.	Cadre hydrogéologique :	24
5.1-	Les eaux de surfaces :	24
5.2-	Les eaux souterraines :	25
	Chapitre II: Analyse des données de la nappe Haouz central.....	30
I.	-Les points d'eau au niveau de l'Haouz central :	29
1-	Piézométrie de la nappe:	30
2-	Piézomètre de Contrôles	33
3-	Carte mur de l'aquifère :	36
II.	-Caractéristiques hydrodynamique de la nappe :	37
1	-La transmissivité :	37
2-	La conductivité hydraulique.....	39
III.	Les caractéristiques physico - chimiques de la nappe :	40
1.	La conductivité électrique :	40
2.	pH :	43
3.	O2 dissous dans l'eau :	45
	Conclusion générale.....	48

Références générales.....49

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des nappes de Tensift dans le bassin hydraulique Tensift (ABHT, 2013).....	13
Figure 2 : Carte géologique simplifiée du Haouz (D’après la carte 1/500000de Marrakech).....	16
Figure 3 : Coupe géologique schématique du la plaine de l’Haouz Central.....	16
Figure 4 : Carte pédologique du Haouz de Marrakech (Direction de l’agriculture du commerce et des forêts 1951).....	18
Figure 5 : Situation géographique du Haouz Central (Abourida ,2007).....	19
Figure 6: Variation des températures interannuelles mensuelles (°C) à la station Lalla Takerkoust.....	20
Figure 7 : variation mensuelle de précipitation à la station de MARRAKECH (1970-2012).....	21
Figure 8 : variation mensuelle de précipitation à la station TAHANOUT (1968-2010).....	22
Figure 9 : variation mensuelle de précipitation à la station de TAKERKOUST (1963-2010).....	23
Figure 10 : variation mensuelle de précipitation à la station AGHBALOU (1968-2011).....	23
Figure 11 : variation mensuelle d’évaporation de station Lalla takerkoust (1994-2011).....	24
Figure 12 : Variation mensuelle de l’humidité de station LALLA Takerkoust (1994-2011).....	24
Figure 13 : Carte hydrologique des affluents d’Oued Tensift (ABHT, 2006).....	26
Figure 14 : Localisation de la zone d’étude dans la nappe du Haouz.....	28
Figure 15 : carte géographique des points d’eau réalisés dans l’Haouz central.....	30
Figure16 : carte piézométrique de la nappe l’Haouz central (2002).....	32
Figure17 : carte piézométrique de la nappe l’Haouz (2007).....	32
Figure18 : carte piézométrique de la nappe l’Haouz (2014).....	33
Figure 19 : Répartition des piézomètres de contrôle dans la zone d’étude.....	34
Figure 20 : le contrôle de piézomètre dans certaine région de l’Haouz central.....	34
Figure 21 : Carte représente la profondeur de substratum en m.....	36
Figure 22 : Répartition géographique de transmissivité dans la zone d’étude (1963-1997).....	38
Figure 23 : Répartition de conductivité Hydraulique de la zone d’étude (1963-1997).....	39
Figure 24 : Répartition géographique de conductivité électrique dans Haouz central en été 2010....	40

Figure 25 : représentation graphique de conductivité électrique en été2010 et en hiver 2014.....43
Figure 26 : représentation graphique de PH en été2010 et en hiver 2014.....44
Figure 27 : représentation graphique d'O2 dissout en été2010 et en hiver 2014.....45

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Variation des moyennes des températures interannuelles mensuelles maximales, minimales et moyennes à la station l'alla takerkoust.....	21
Tableau 2 : caractéristiques des bassins versants des oueds de Haouz central (Abourida 2007)...	25
Tableau 3 : Valeurs statistiques de transmissivité.....	38
Tableau 4 : Valeurs statistiques de conductivité hydraulique.....	40
Tableau 5 : Les normes de qualité des eaux souterraines.....	41
Tableau 6 : Grille simplifiée pour les eaux souterraines.....	44
Tableau 7 : Valeurs statistiques de pH	44
Tableau 8 : Valeurs statistiques d'O2 dissout.....	45

Introduction Générale :

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de notre projet de fin d'études, en vue de l'obtention du diplôme de licence en sciences et techniques Eau et Environnement à la faculté des sciences et techniques de Marrakech. Ce travail de recherche s'est déroulé au sein de l'Agence du bassin hydraulique de Tensift (ABHT) du 10 Mai au 15 juin 2014.

Le choix de cet établissement est motivé par quatre raisons essentielles :

- L'ambition de s'initier aux activités pratiques et explorer le domaine professionnel sur la base des connaissances théoriques et des compétences acquises pendant les trois ans de la formation ;
- L'Amélioration de notre savoir faire ;
- L'acquisition de nouvelles compétences ;
- La connaissance des divers méthodes et actions visés à la gestion des ressources en eau dans le Haouz.

Le plaine de Haouz, notamment sa partie centrale connaît une rareté d'un élément vital constitue une préoccupation à l'échelle mondiale c'est « L'EAU », ce phénomène due à la fois à la surexploitation de la nappe lié soit par l'alimentation en eau potable, touristique soit à l'utilisation intensive de ressources souterraines par le secteur agricole, ainsi leur rareté résulte par la sécheresse due au climat aride et semi aride de la région qui limite les apports de l'eau superficielles pour alimenter la nappe.

L'objectif de ce travail est de réaliser une synthèse des données à partir des points d'eau captant la nappe du Haouz Central. Le but est d'établir des cartes relatives aux données piézométriques, paramètres hydrodynamiques (Transmissivité et perméabilité), données hydro chimiques (Conductivité électrique) et les données géométriques : cotes du substratum, et ce à partir des données des points d'eau recueillis par l'ABHT au niveau de la nappe du Haouz principalement dans sa partie centrale.

Notre stage au sein de l'ABHT a pour l'objectif d'établir les cartes piézométriques, Transmissivité, Conductivité, de profondeur et la perméabilité a partir de base des données recueillis par l'ABHT au niveau de la nappe l' Haouz principalement dans sa partie centrale.

-La première partie consacrée à la présentation du contexte général de la région l'Haouz centrale à savoir les cadres géologique, géographique, hydrologique, hydrogéologique

-La deuxième partie est réservée à la réalisation des différentes cartes piézométrique, transmissivité, conductivité, profondeur et perméabilité pour le but de l'étude de la nappe.

Méthodologie de travail

Dans l'objectif de synthétiser des données à partir des forages réalisés dans la nappe du Haouz, en particulier dans le Haouz Central, La présente étude a été réalisée selon la démarche méthodologique suivante :

• Collecte des données :

L'analyse de la documentation analytique existante (rapports de thèses, études antérieures,...) puis en la collecte des données existantes archivées dans les services techniques spécialisés. Les études et monographies relatives à la géologie, l'hydrogéologie et les ressources en eau dans la région ont été collectées et exploitées.

Les données points d'eau ont été puisées dans les fichiers **IRE** auprès de l'Agences du Bassin Hydraulique de Tensift (ABHT) ainsi que dans les thèses soutenues à l'Université Cadi Ayyad de Marrakech (UCAM)

• Etablissement des cartes et des graphes :

Ces données ont été traitées, corrigées et mises en base de données SIG pour les besoins de la présente étude ; Les cartes ont été réalisées par les logiciels Surfer et Arc Gis, et les graphes par le logiciel tableur Excel au niveau desquels on utilise les données géologiques et hydrogéologiques disponibles.

Représentation de l'ABHT

L'ABHT constitue un espace de concertation au service de l'eau. Elle permet

D'assurer une gestion intégrée des ressources en eau pour un développement durable du bassin hydraulique du Tensift.

Sa création a pour objectifs :

- _ La planification cohérente à l'échelle du bassin hydraulique.
- _ La protection et conservation quantitative et qualitative des ressources en eau.
- _ L'utilisation rationnelle et optimale de l'eau.

Elle s'intéresse qu'au bassin Tensift-Ksob-Igouzoulen qui s'étend sur une superficie de l'ordre de 24 800 km² et qui peut être subdivisée en quatre domaines géographiques

Différenciés :

- ❖ Le Haut Atlas au sud.
- ❖ La plaine du Haouz et le bassin de Mejjate au centre.
- ❖ Les Jbilet au nord.
- ❖ Le bassin d'Essaouira-Chichoua à l'ouest.

Les partenaires de l'agence du bassin hydraulique sont représentés par l'ensemble des acteurs intervenants dans le secteur de l'eau notamment :

- Les services centraux, régionaux et provinciaux des secteurs de :
 - ❖ l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement
 - ❖ l'Intérieur
 - ❖ la Santé
 - ❖ Finances
 - ❖ l'Agriculture, des Eaux et Forêt, Tourisme, etc.

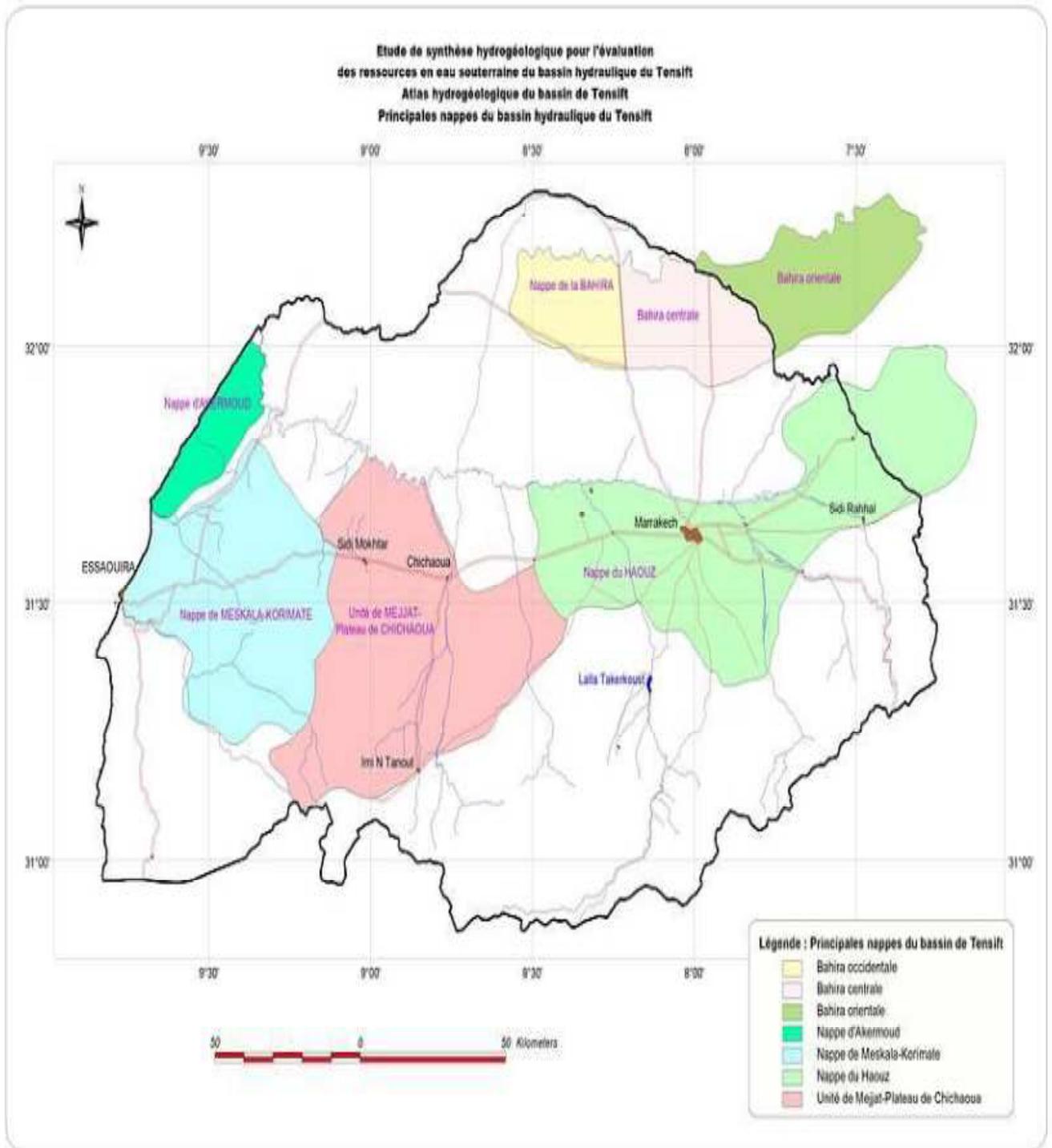


Figure 1 : Localisation des nappes dans le bassin hydraulique Tensift (ABHT, 2013)

Chapitre 1 :
contexte générale
de la zone d'étude

I. Contexte géologique, hydrologique et climatologique de la zone d'étude :

1. Cadre géologique :

1.1 -La lithologie et formation géologique de Haouz :

Le Haouz est un vaste bassin d'effondrement, entre le Haut Atlas au sud et les Jbillets au nord, hérité par des mouvements tectoniques tertiaires. Cet affaissement est dû au plissement Atlasique qui a par ailleurs surélevé la chaîne des Jbillets.

Du bas vers le haut on rencontre les formations géologiques suivantes :

Le socle formé par des schistes et des quartzites d'âge Primaire. Ces formations apparaissent le long d'Oued Tensift caractérisé par une faible profondeur vers le nord.

Des formations silt-argileuse et calcaire-marneuses d'âge Jurassique.

Des formations marneuses, gréseuses et conglomérats plus au moins cimentés d'âge miocène.

Des formations d'âge Quaternaire reposent sur les formations précédentes et affleurent sur des grandes étendues. Ces formations se sont formées par des apports issus d'érosion de la chaîne Atlasique. Elles sont constituées essentiellement par des limons croûteux, calcaire avec des marnes gréseuses, argile et conglomérat.

Les formations d'âge Quaternaire sont remaniées avec les formations pliocènes,

à l'amont de la plaine où on rencontre des cailloutis qui forment les cônes de déjection actuels, tandis que à l'aval il ya dépôt des sédiments limoneux.

Le passage de la plaine vers les hauts sommets se fait graduellement. La pente, très faible et régulière de l'ordre de 1% dans la plaine, s'infléchit brusquement pour atteindre progressivement des valeurs très élevées. (Abourida, 2007)

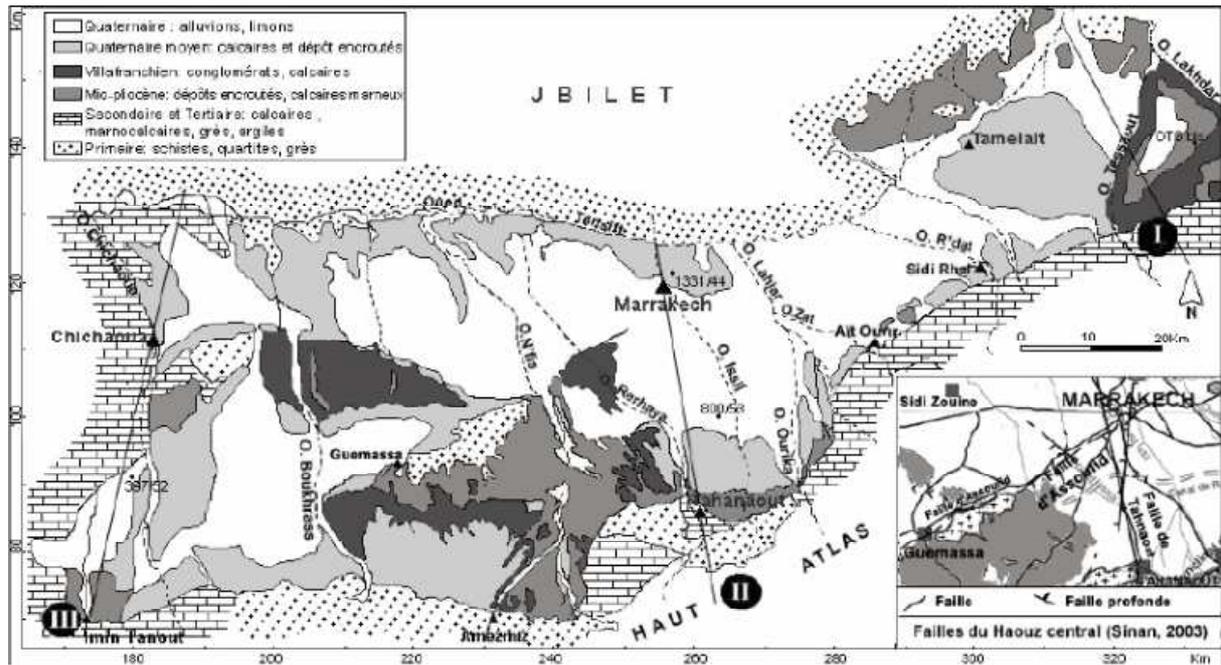


Figure 2 : Carte géologique simplifiée du Haouz (D'après la carte 1/500000 De Marrakech).

❖ **Coupe Géologique de l'Haouz central :**

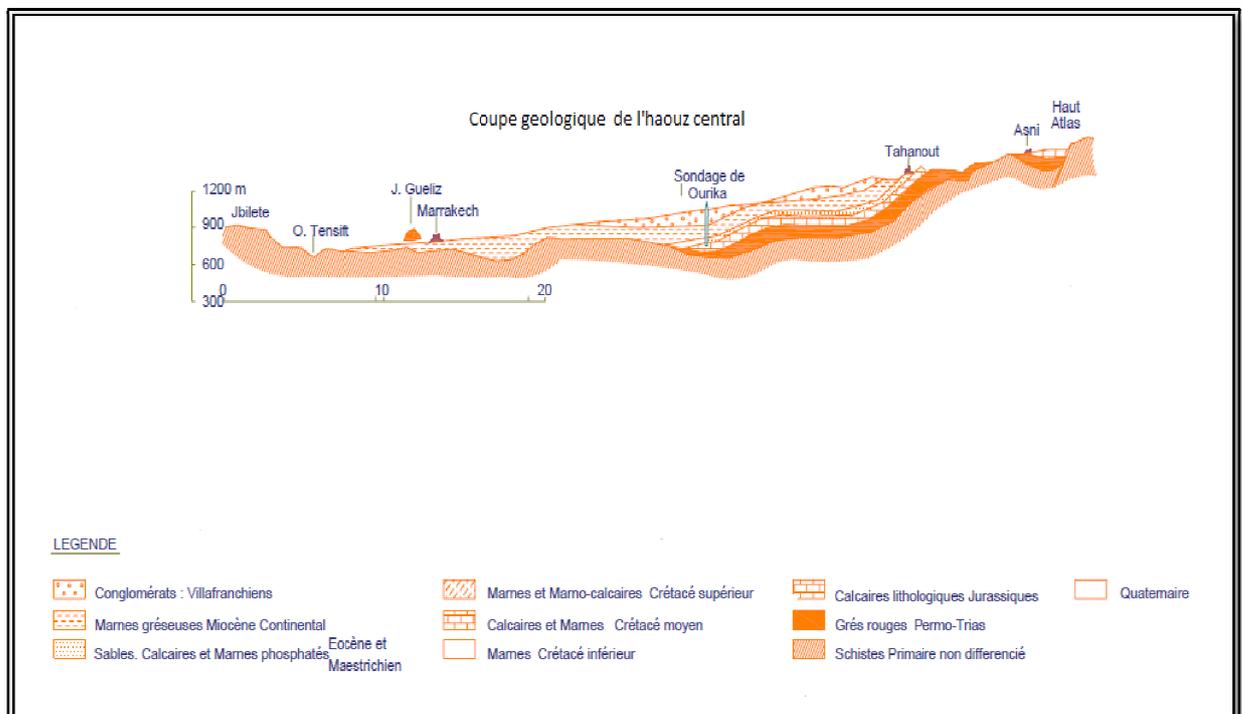


Figure 3 : Coupe géologique schématique de la plaine de l'Haouz Central. (R.AMBROUGGI et J.THUILLE., (1975))

Le Haouz de Marrakech doit être considéré comme un bassin de sédimentation modérément subsidient Avant-fosse d'origine tectonique dans laquelle se sont accumulées au Tertiaire (Néogène) et au Quaternaire, d'abondantes formations détritiques continentales et fluviales, issues du démantèlement des chaînes Atlasiques

1.2- Structure de plaine de Haouz central :

L'Haouz central caractérisé par la présence de 3 failles : la première est celle de Tahanaout de direction Nord-Sud qui s'étend de Tahanaout au sud au Marrakech au nord et qui a entraîné un soulèvement de compartiment d'Ouest (horst et guemassa) et l'abaissement de celui de l'EST. La deuxième faille est celle de l'ASSOUFID de direction SW-NE et qui passe au nord de guemassa jusqu'à Marrakech elle a entraîné la remontée du socle primaire dans le compartiment sud (horst et Guemessa) et l'effondrement de compartiment nord. Enfin la faille de N'fis de direction SE-NW détectée ente oued N'fis au NW et l'intersection de faille Assoufid avec oued Baja, elle a entraîné le soulèvement de compartiment NE et la remontée de celui de SW. (Abourida, 2007)

2-Cadre pédologique :

La dernière étude pédologique fut réalisée en 1951, au niveau de toute la plaine du Haouz. Elle a révélé la présence de quatre types de sol de différente nature : Rouge, gris, Châtain et bruns. Leur texture est généralement limono-argileuse, limoneuse et limono-sableuse.

Dans le Haouz central le sol est constitué essentiellement par : des sables fins, des limons roses et de argiles rouges. Ils sont généralement pauvres en matière organique naturelle surtout dans les terrains cultivés. (Abourida, 2007)

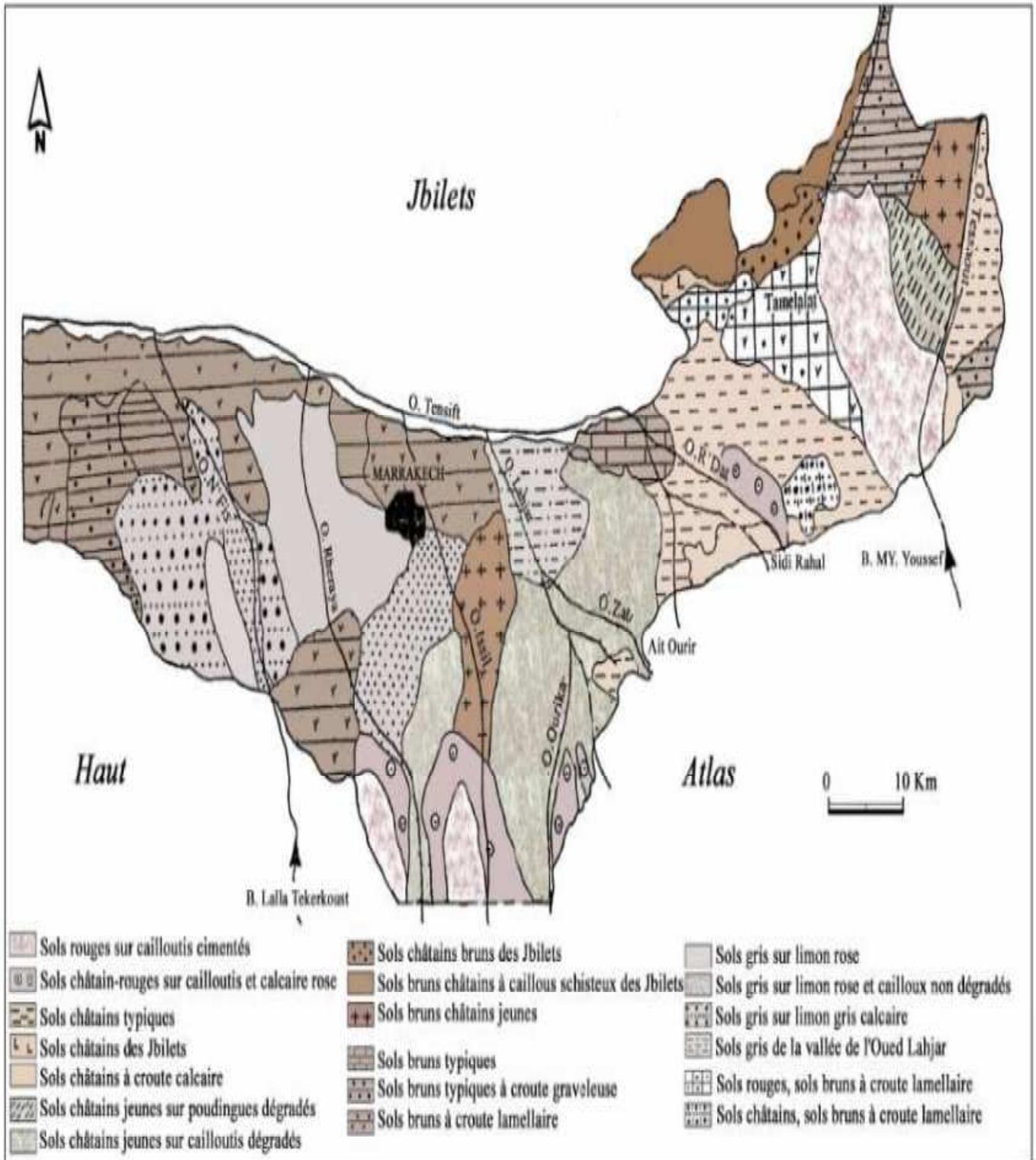


Figure 4: Carte pédologique du Haouz de Marrakech (Direction de l'agriculture du commerce et des forêts 1951).

3 .Cadre géographique :

3.1-Situation de secteur d'étude :

Le Haouz central est un vaste couloir sous forme de plaines, de superficie estimée à 48600 ha. Il est délimité au nord par les Jbillels, au sud par les chaînes montagneuses du Haut Atlas, et par Oued R'Dat à l'est et Oued N'fis à l'ouest (Abourida 2007). Son allongement est en parallèle avec le couloir synclinal de la Bahira orientée Est Ouest.

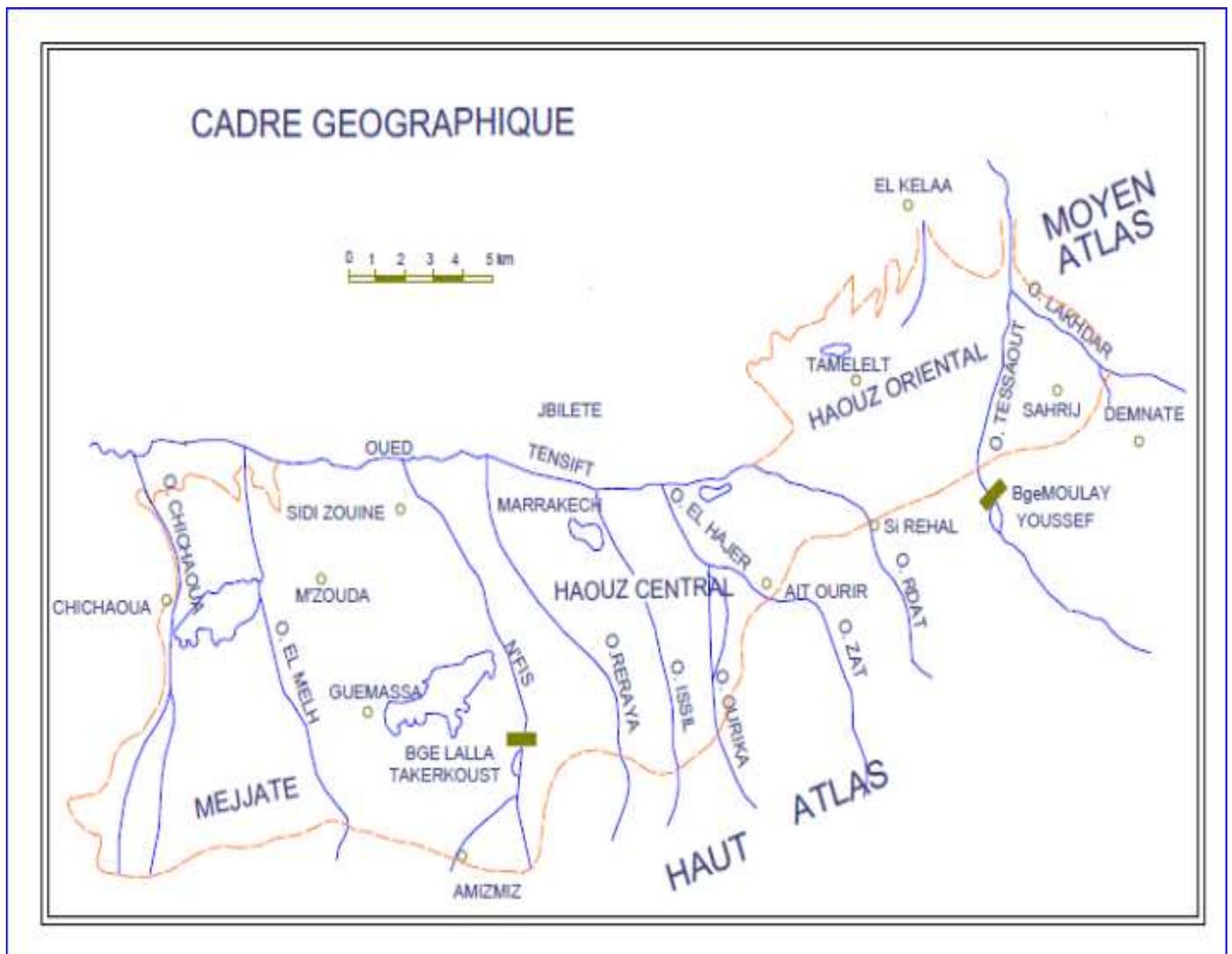


Figure5 : Situation géographique du Haouz Central. (R.AMBROUGGI

Et J.THUILLE., (1975),)

4. Cadre hydrologique :

4.1-Climatologie :

Le climat du Haouz central similaire à celui de la plaine du Haouz, est un climat chaud et sec de type continental, classé aride à semi aride. Généralement il est caractérisé par :

4.2-Température :

Les données de la température selon la période 1994/2011 dans la station Lalla Takerkoust montrent que :

Une température moyennement élevée, avec d'importants écarts journaliers et mensuels. La moyenne maximale (mois de Juillet) est de l'ordre de 35°C, et la moyenne minimale (mois de Janvier) est de l'ordre de 8°C.

On constate alors que les mois les plus chauds sont : Juin, Juillet, Aout et Septembre par contre les mois les plus froids sont : Décembre, Janvier et Février (tab .1et fig. . 6)

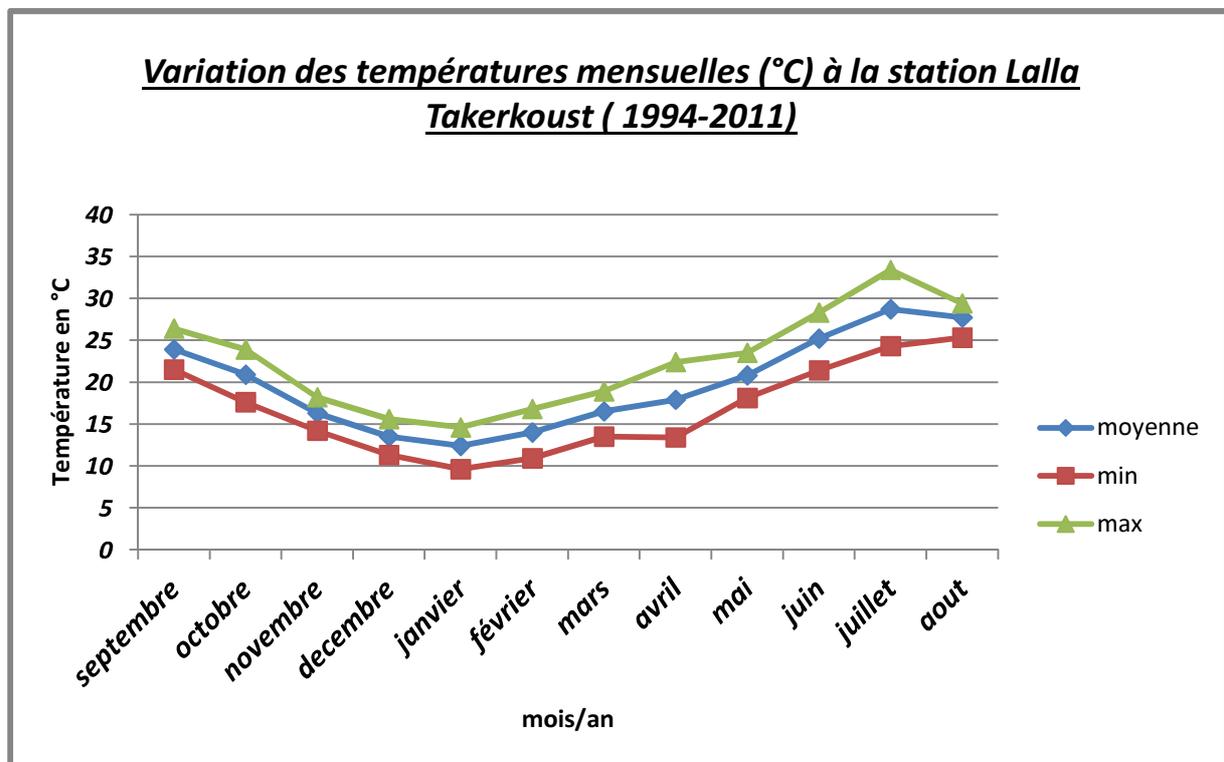


Figure 6: Variation des températures interannuelles mensuelles (°C) à la station Lalla Takerkoust

Tableau 1 : Variation des moyennes des températures interannuelles mensuelles maximales, minimales et moyennes à la station lalla takerkoust

	Moyenne	Min	Max
September	23,9	21,5	26,4
October	20,9	17,6	23,9
Novembre	16,3	14,2	18,2
Décembre	13,5	11,3	15,6
Janvier	12,4	9,6	14,6
Février	14	10,9	16,8
Mars	16,5	13,5	18,9
Avril	17,9	13,4	22,4
Mai	20,8	18,1	23,5
Juin	25,2	21,4	28,3
Juillet	28,7	24,3	33,4
Aout	27,7	25,3	29,4

4.3-Pluie:

❖ La station de Marrakech :

Dans cette station on remarque que les précipitations mensuelles sont irrégulières (fig.7) le mois Mars connu des précipitations exceptionnelles dépassent 250 mm par contre les mois Aout et Juillet ses valeurs maximales sont de l'ordre de 10 mm. Alors on déduire l'existence d'une saison pluvieuse allant de Novembre à Avril, avec un maximum en Mars.

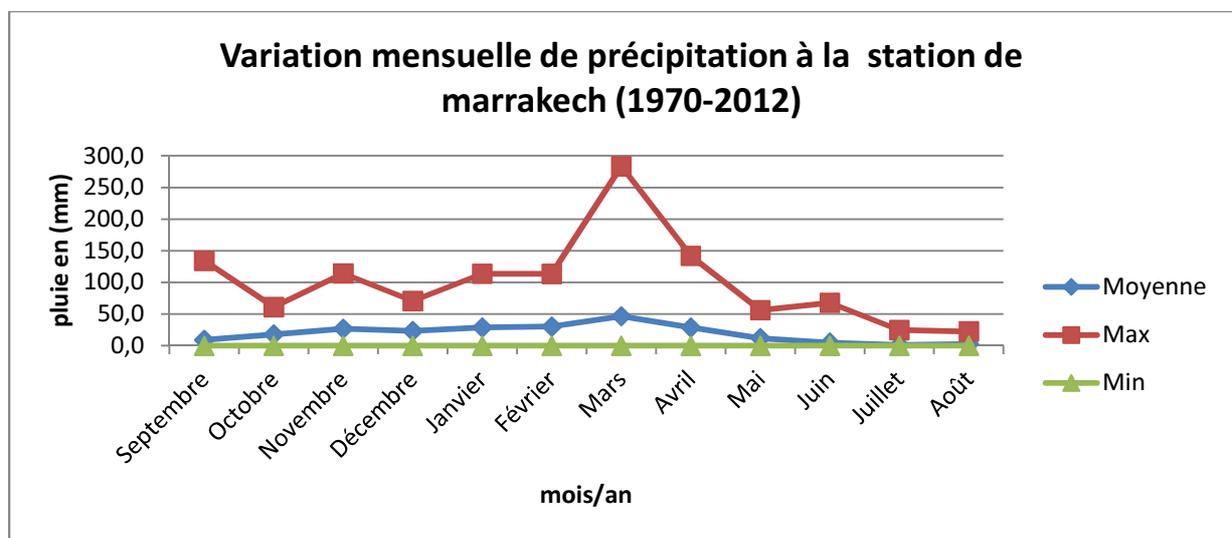


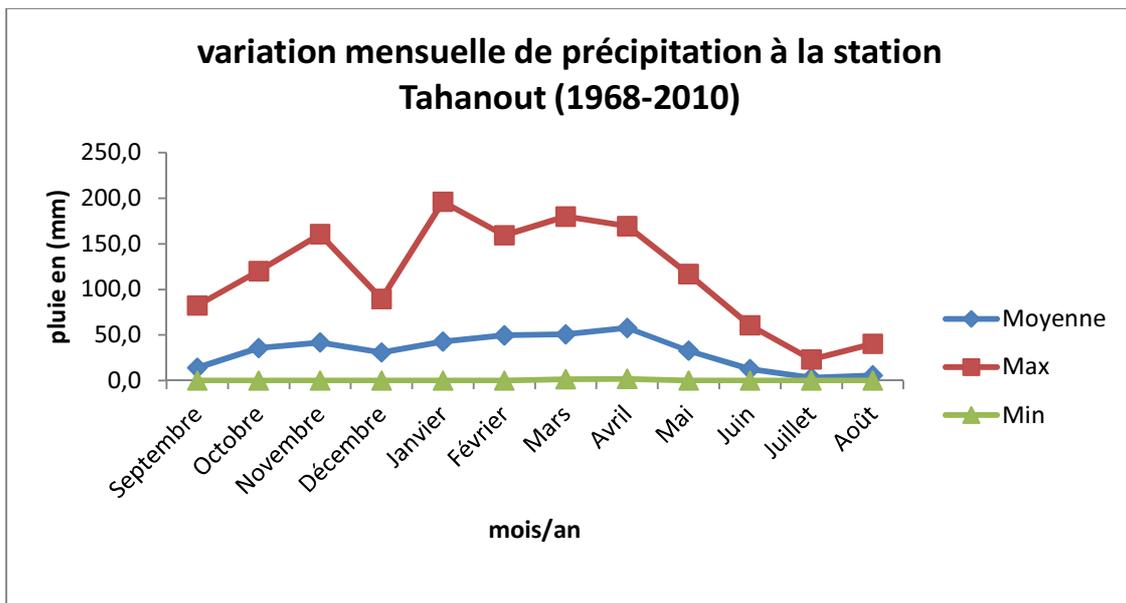
Figure 7 : variation mensuelle de précipitation à la station MARRAKECH (1970-2012)

❖ Les Stations Tahanout , Takerkoust et Aghbalou:

La moyenne des précipitations varie de 46,7 mm en mars calculée au niveau de la station de Marrakech et 57,7 mm en avril au niveau de Tahanaout , 35,8 mm au niveau de Takerkoust , et atteint 84,2 mm au niveau de Aghbalou en mois avril . et Le minimum a été enregistré dans les quatre stations. Le maximum des précipitations a été enregistré au niveau de Marrakech de 283,5 mm en mois mars, 196,2 mm au niveau de Tahnaout en Janvier, 209,9 mm dans la station de Takerkoust et 269,2 mm au niveau de Gabelou en mois Mars.

D'après ces graphes on conclu que les pluies enregistrées au niveau de la station de Tahanouat, Aghbalou et Takerkoust sont supérieures à celles enregistrées au niveau de Marrakech.

On remarque aussi qu'au niveau de quatre stations les précipitations mensuelles sont plus importantes dans la saison d'hiver, par contre elles sont moyennes en printemps et en automne Mais en été qui constitue la saison sèche, les précipitations sont faibles ou inexistantes (fig.7, 8, 9,10).



**Figure 8 : variation mensuelle de précipitation à la station
TAHANOUT(1968-2010)**

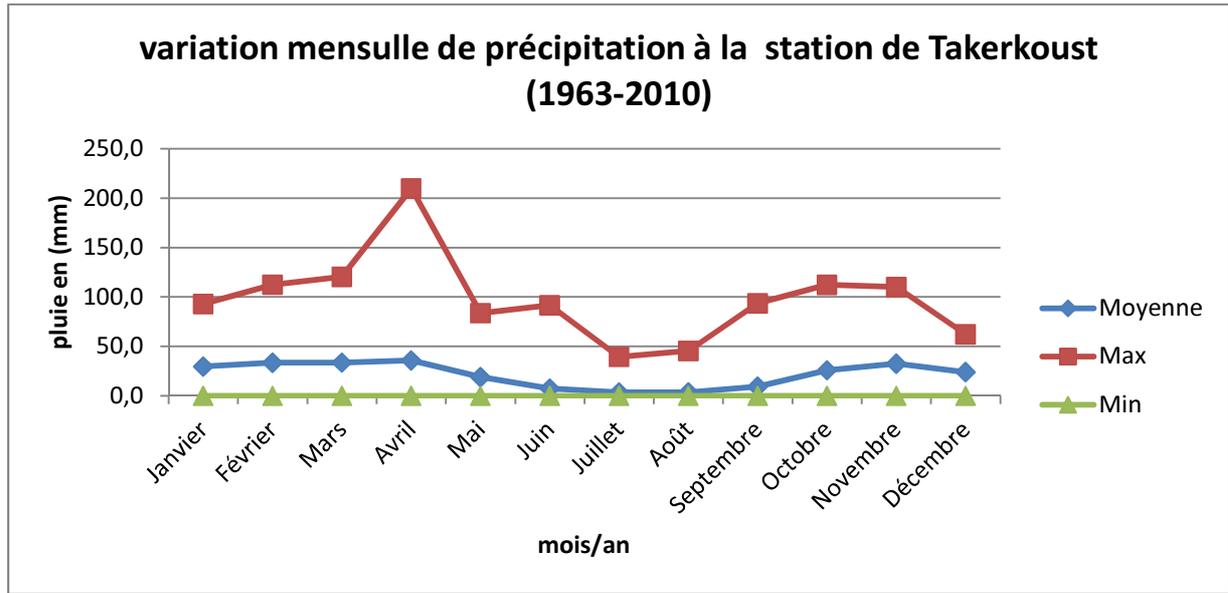


Figure 9 : variation mensuelle de précipitation à la station de TAKERKOUST (1963-2010)

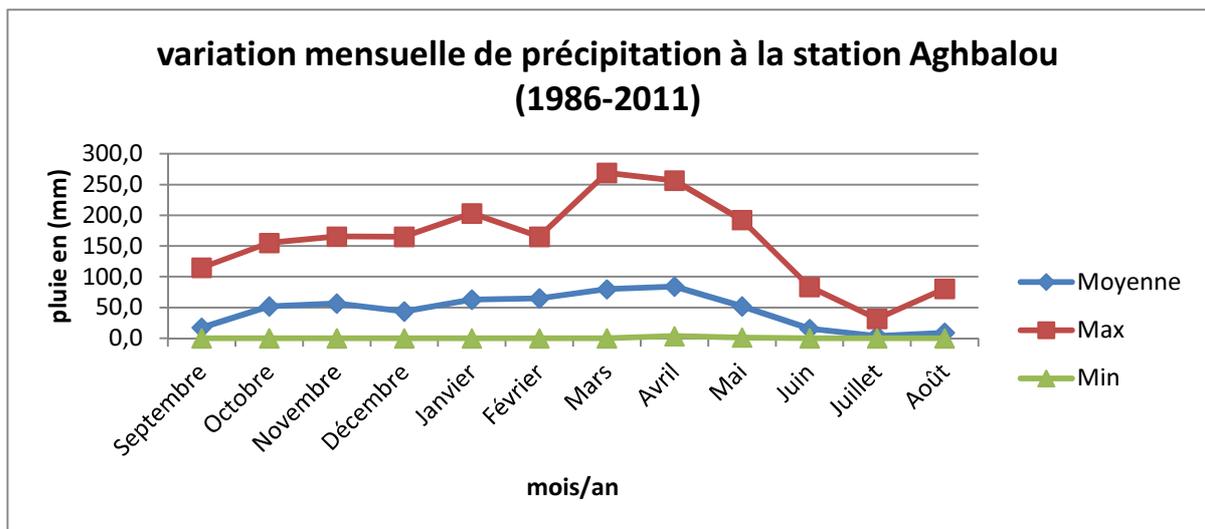


Figure 10 : variation mensuelle de précipitation à la station AGHBALOU (1968-2011)

4.4-Evaporation :

Les données de l'évaporation qu'on a à la station de Lalla Takerkoust sont équipées par un évaporomètre d'un bac Colorado.

L'évaporation moyenne d'une variation mensuelle montrent une valeur minimale entre 71 mm /mois et 76 mm /mois est enregistrée pendant les mois de Décembre, janvier et Février alors que la maximale intervient pendant les mois

D'été d'une valeur dépassent 150 mm /mois. Plus de 50% de l'évaporation totale est enregistré durant les quatre mois de juin à septembre.

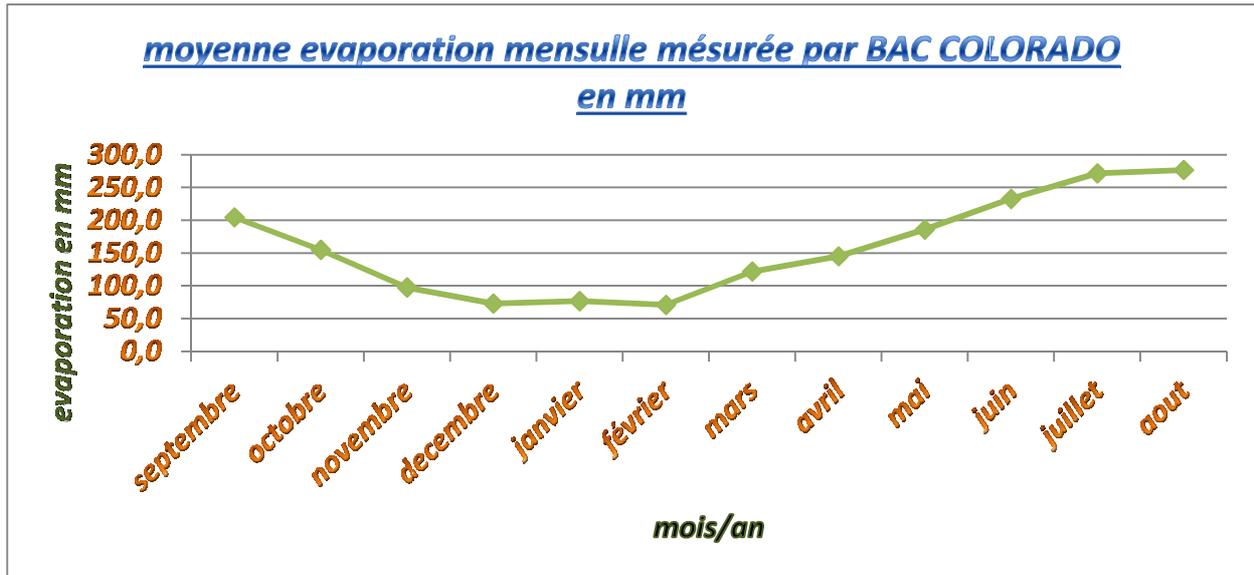


Figure 11 : variation mensuelle d'évaporation de station Lalla takerkoust (1994-2011)

4.5-Humidité :

L'humidité de l'air est moyenne à l'échelle moyenne mensuelle en 21h, elle est de l'ordre de 60% en hiver et elle es légèrement élevée à l'échelle mensuelle en 7h plus de 75% en été, et peut tendre vers 0% au moment d'arrivées des masses d'airs provenant de sud (Sirocco) et de l'est (Chergui),

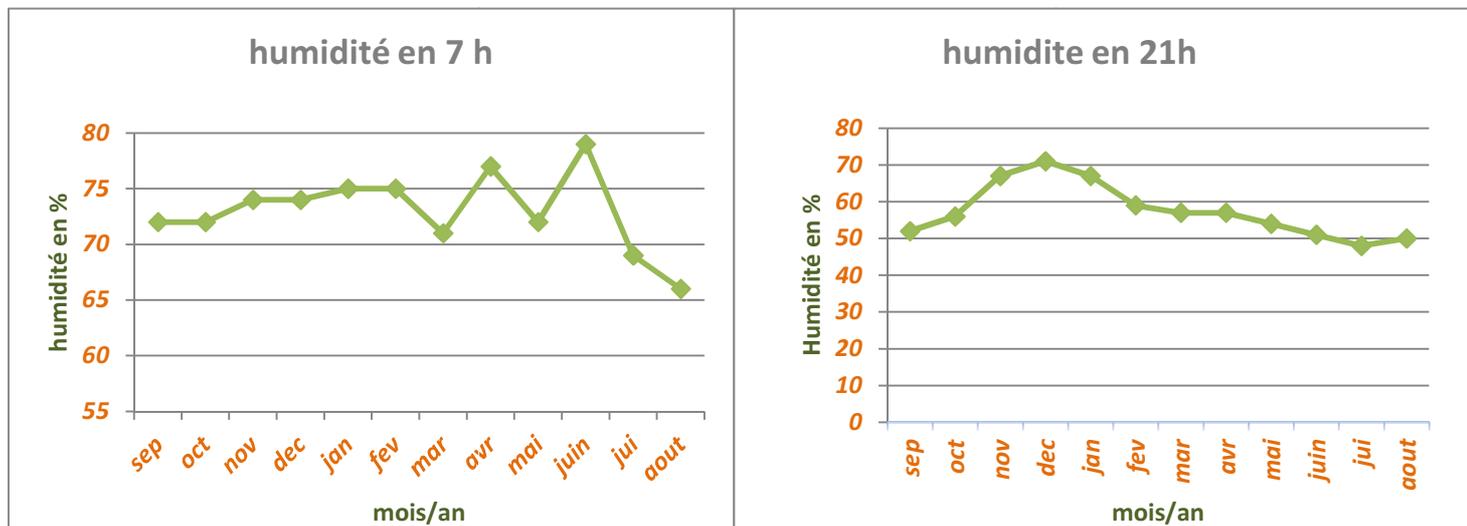


Figure 12 : Variation mensuelle de l'humidité de station LALLA Takerkoust (1994-2011)

4 .6-Végétation :

Au niveau du Haouz central, l'arboriculture fruitière et olivère est prédominante car elle représente presque 69 % des cultures. L'olivier occupe la première place avec une superficie de 20700 ha, suivi de l'abricotier, les agrumes et les pommiers. Les céréales occupent une superficie de 4410 ha, cela représente presque 15 % des terres cultivées. Cette culture est prédominée par le blé tendre, le blé dur, l'orge et le maïs.

Les cultures maraichères occupent environs 1887 ha soit 3% de la superficie totale du Haouz central. Elle est dominée par les fèves, les pommes de terre, le melon, les petits poids, les courgettes, les vignes et les tomates (AGRINTER 2010).

5. Cadre hydrogéologique :

5 .1-Les eaux de surfaces :

Le réseau hydrographique du Haouz central est constitué de l'ensemble des Oueds issus du Haut Atlas (n'fis, ghiraya, zat ,ourika,issil) est qui débouchent dans l'Oued Tensift. Ce dernier orienté vers l'Ouest joue un rôle de collecteur des eaux de surfaces

Cependant la zone du Haouz central connaît des aménagements hydro-agricoles en vu d'alimenter la ville de Marrakech en eau potable, et d'assurer l'irrigation des terrains agricoles via différents canaux et Seguia. (Ikebir-Sabir 2011)

La surélévation du barrage Lala Takerkoust sur Oued N'fis en 1980 a porté le volume régularisé à 85 Mm3 destiné aussi à l'irrigation (ORMVAH).

Tableau 2 : caractéristiques des bassins versants des oueds de Haouz central (Abourida 2007)

Bassin versant Oueds	Caractéristiques physiques			Caractéristiques lithologiques		
	Altitude moyenne(m)	Superficies(Km)	Pente%	Formation perméable%	Formation semi-perméable%	Formation imperméable%
R'dat	1825	537	15	14	56	30
Zat	1960	525	18	14	40	46
Ourika	2700	503	21	6	39	55
Rhiraya	2000	225	21	26	15	59
N'fis	2320	1290	17	20	9	71

Les oueds de Haouz central sont issus en grand partie du ruissellement des eaux sur des pentes imperméables de schistes ou d'argiles primaires.

Il résulte donc un transport solide très important qui favorise l'envasement au niveau des retenus d'eau.

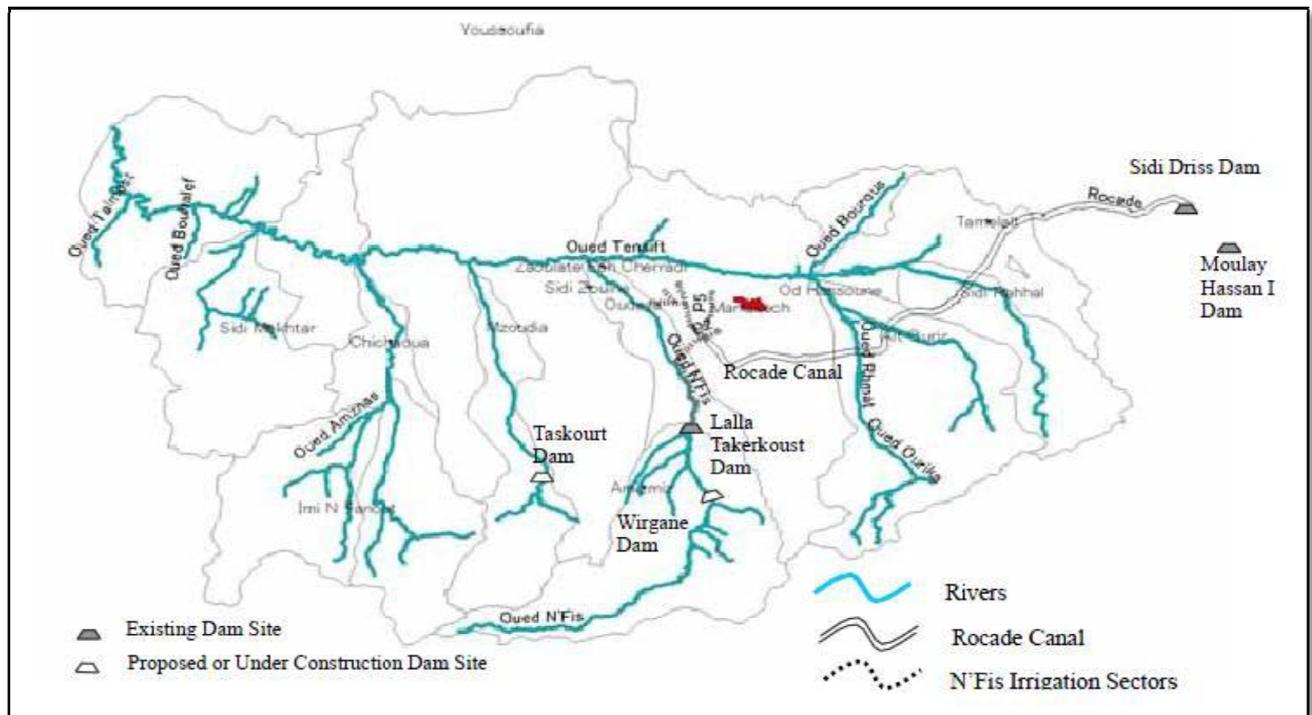


Figure13: Carte hydrologique des affluents d'Oued Tensift (ABHT, 2006).

5.2-Les eaux souterraines :

Dans la plaine du Haouz, on peut distinguer trois nappes superposés qui sont :

- Une nappe libre de profondeur allant de 10 m au Nord à 80 m au Sud avec un débit de 30 l/s.
- Une 2eme nappe d'une profondeur moyenne de 300 m avec un débit plus faible.
- Une 3eme nappe très profonde (dépassé 500 m) et de débit assez négligeable. (LKEBIR-SABIR, 2011)

➤ **Nappe phréatique :**

Dans ce travail, nous nous intéressons à la 1ère nappe qui est la nappe phréatique du Haouz considéré comme l'une des plus grande nappe du Maroc. Sa superficie est de 6000 m² (Latitude : Nord 32°, Longitude : Est 8°), elle est alimentée principalement par l'infiltration des Oueds, les pertes des Seguias dans les zones irrigués traditionnellement et par infiltration des eaux de pluies à travers les formations jurassiques (calcaire et dolomie) du Haut Atlas. (AGRINTER 2010).

Cette nappe fournis, au Haouz central, un volume mobilisable annuel estimé à 173 Mm³ destiné à l'irrigation des périmètres agricoles (LKBIR_SABIR 2011). Cette nappe importante et généralisée, localisée dans la formation néogène et quaternaire son estimation en réserve peut alleu jusqu'à 7 à 9 milliards de m³d'eau (SINANet AL .2003).

➤ **Limite de la nappe**

La nappe du Haouz est limitée au Nord par les schistes imperméables des Jebilet, au Sud par la bordure Nord du Haut Atlas, à l'Ouest par les calcaires Crétacé-Eocènes de Chichaoua et à l'Est par l'oued Lakhdar. La particularité de cette nappe est la non unicité de son substratum qui peut être selon l'endroit, soit les marnes Mio-pliocènes, soit les argiles Permo-Triasiques, soit enfin les schistes Primaires.

Par ailleurs, les conditions aux limites de cette nappe, en relation avec les apports des bassins limitrophes, dépendent de la nature lithologique des formations secondaires et tertiaires du pourtour et de leur pendage. (Razoki, 2001). Dans la présente étude la portion de la nappe prise en compte, présente la partie centrale de la nappe du Haouz, elle est limitée au Nord par l'oued Tensift, au Sud par le Haut Atlas, à l'Est par l'oued Zat et à l'ouest par l'oued N'fis. Cette partie de la nappe du Haouz se présente comme un compartiment bien individualisé et naturellement limité par des limites physiques, faisant d'elle un sous-aquifère à part.

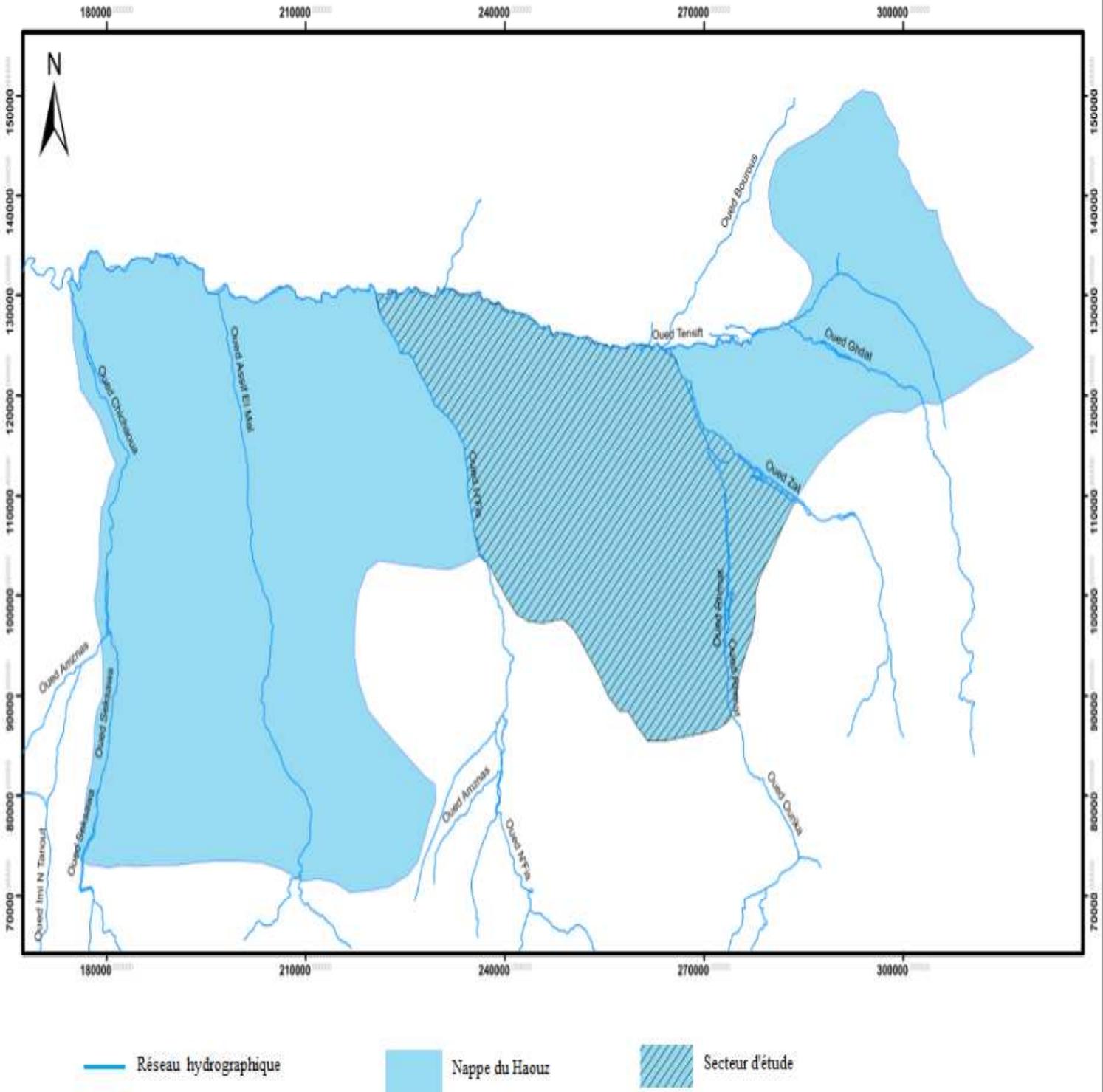


Figure 14 : Localisation de la zone d'étude dans la nappe du Haouz.

Chapitre 2 : Analyse
des données de la
nappe Haouz central

I. -Les points d'eau au niveau de l'Haouz central :

Sur la base des données recueillis auprès de l'ABHT .on dispose de 500 points d'eau captant la nappe du Haouz central. Ces points d'eau fournissent des informations relatives à : la profondeur de la nappe, niveau piézométrique, les paramètres hydrodynamiques (perméabilité, transmissivité) et les paramètres hydro-chimiques (conductivité électrique, pH, O2 dissout)

Des lacunes de mesures de certains paramètres existent au niveau dans certains ouvrages c'est un problématique que nous avons rencontré pendant notre stage.

La carte de la figure 15 illustre les répartitions géographiques des points d'eau captent la nappe du Haouz central.

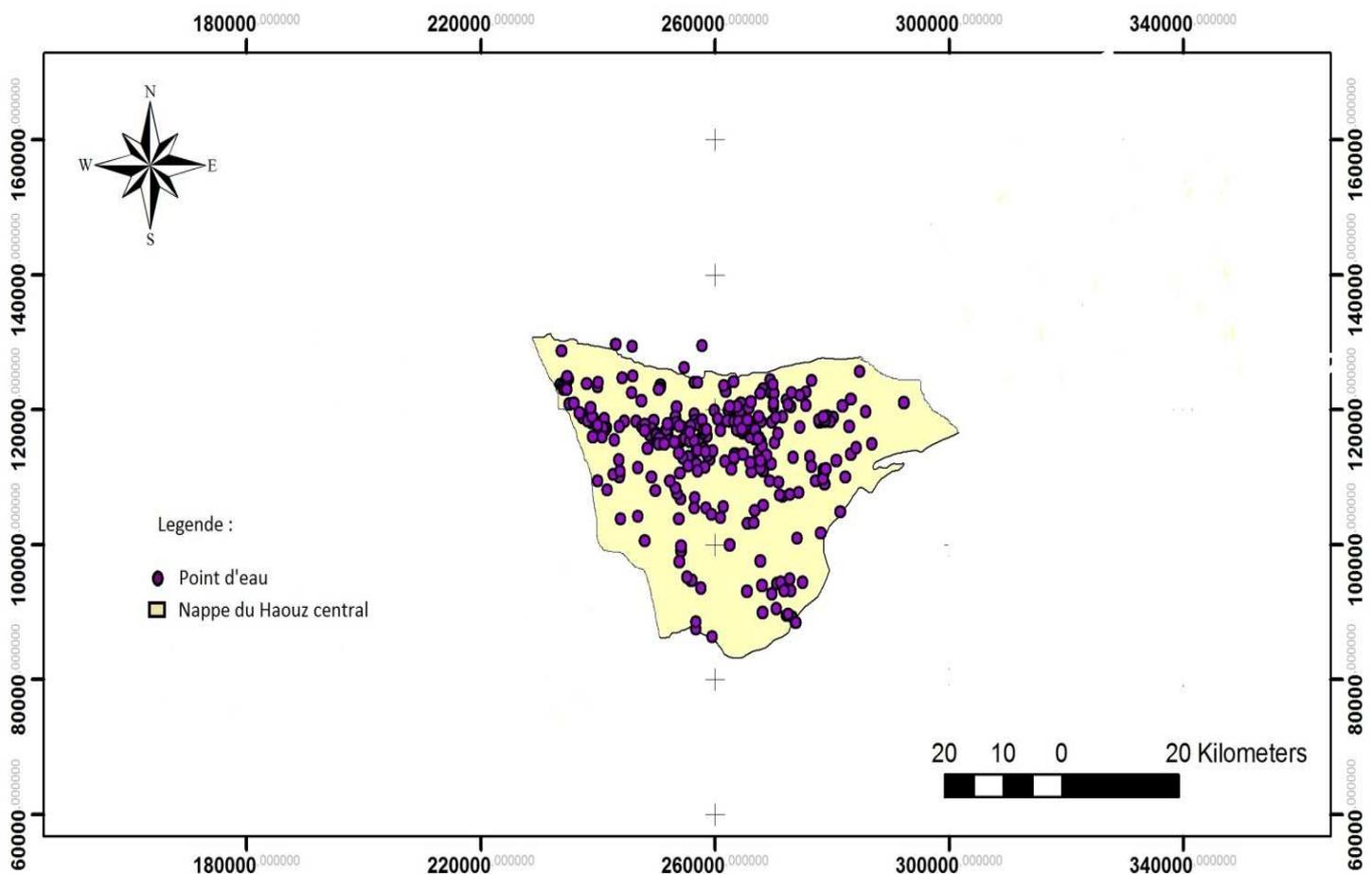


Figure 15 : carte géographique des points d'eau réalisés dans l'Haouz central.

1-Piézométrie de la nappe :

La carte piézométrique permet d'apporter des informations quant au fonctionnement hydrodynamique du système aquifère et notamment sur les directions d'écoulement, les gradients hydrauliques, le drainage par les rivières et les zones très sollicitées en terme de prélèvements.

On dispose qu'on 300 points d'eau pour réalisé la carte piézométrique de l'année 2002 , portant que 350 points pour 2007 et 200 pour 2014.

Les cartes piézométriques relatives aux années 2002 ,2007 et 2014 , ont été établies à partir des mesures du niveau d'eau effectuées dans la zone d'étude.

Cette cartes montrent que la nappe présente un comportement plus simple, avec des lignes de courant parallèles orientées vers le Nord Ouest son alimentation est assurée essentiellement par les bassins versants et par les oueds comme le Zat, Ourika et la Rheraya ,au niveau desquels les courbes piézométriques deviennent convexes vers l'aval hydraulique. On remarque aussi une augmentation considérable du gradient hydraulique au niveau du seuil d'assoufid lié à la remontée du substratum. Les unités centrales présentent de forts gradients hydrauliques au sud qui s'adoucit vers le nord pour atteindre de faibles valeurs.

Les cartes piézométriques montrent que l'écoulement s'effectue généralement du Sud vers le Nord.et une baisse d'amplitude atteint jusqu'à 20m.

Dans la zone de la vallée de Ghmatt l'écoulement de la nappe se fait du SE au NW (Alimentation de la nappe par l'oued).

Le développement agricole que connaît la plaine du Haouz et l'exploitation intensive des eaux souterraines ainsi que les effets de la sécheresse qui sévit sur la zone, ont engendré une baisse du niveau de la nappe.

Entre les années 2002 et 2014, à partir d'une simple lecture des trois cartes, on remarque qu'il y a une baisse du niveau piézométrique sur tout le secteur.

Pour mieux illustrer cette baisse, des graphes de variation du niveau piézométrique ont été élaborés pour la zone d'étude, ces graphes représentent les fluctuations de la lame d'eau au niveau des piézomètres de contrôle misent en place par l'ABHT.

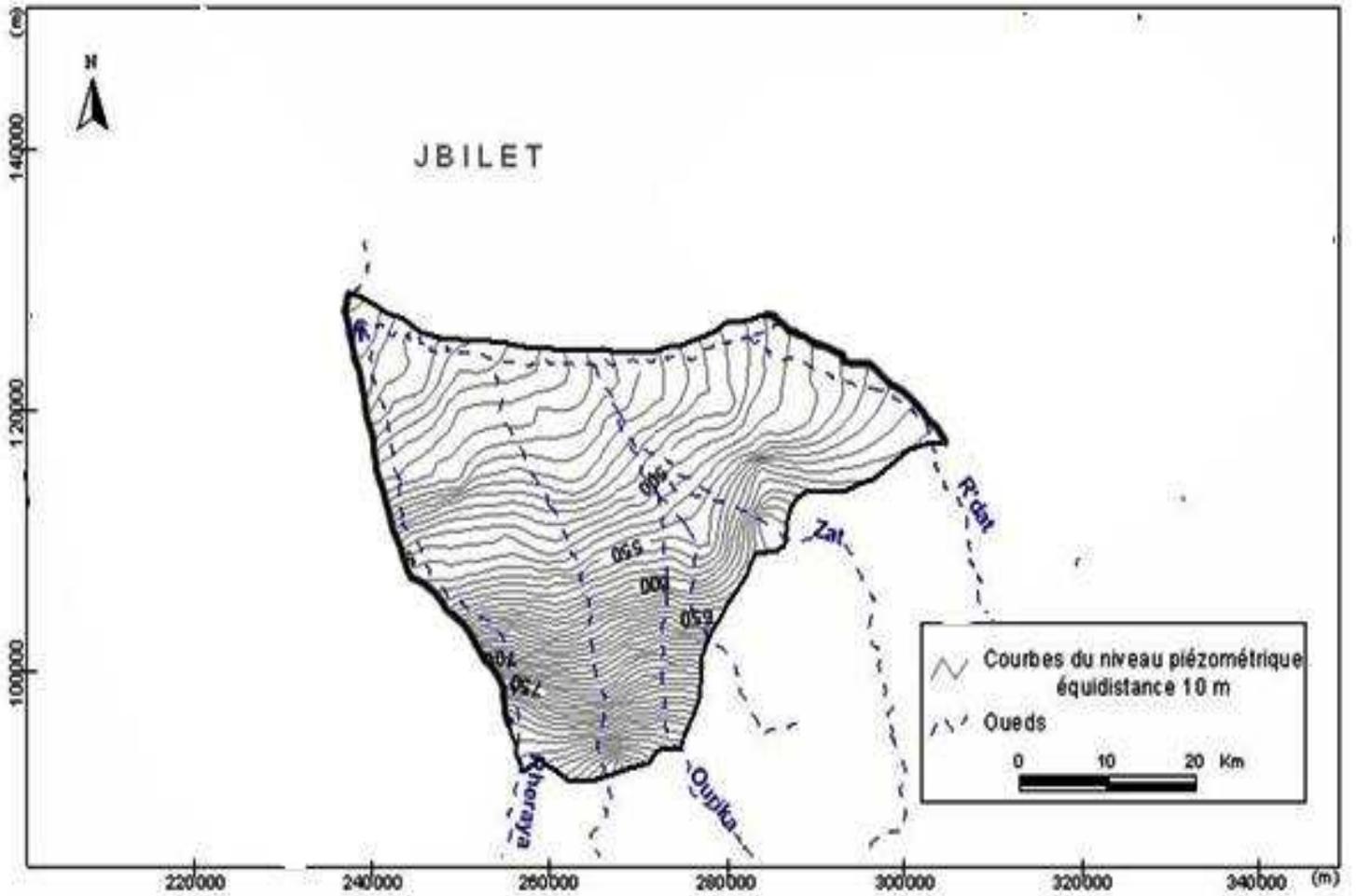


Figure16 : carte piézométrique de la nappe l'Haouz central (2002)

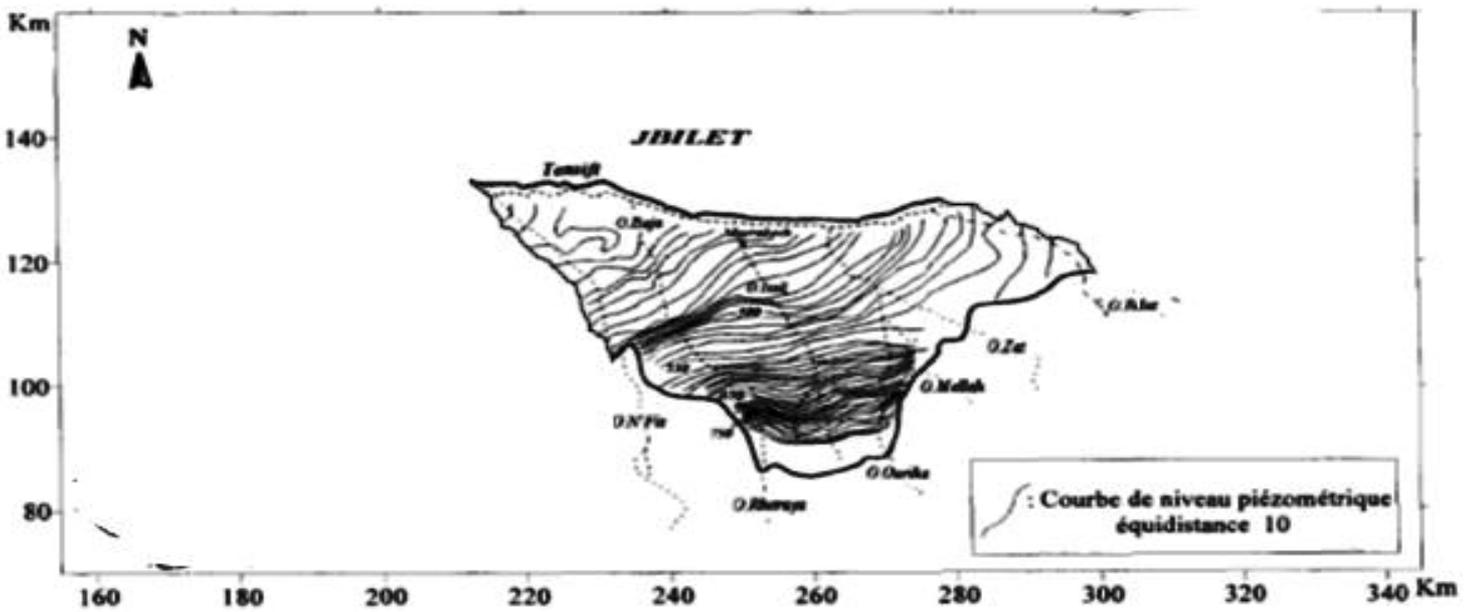


Figure17: carte piézométrique de la nappe l'Haouz (2007)

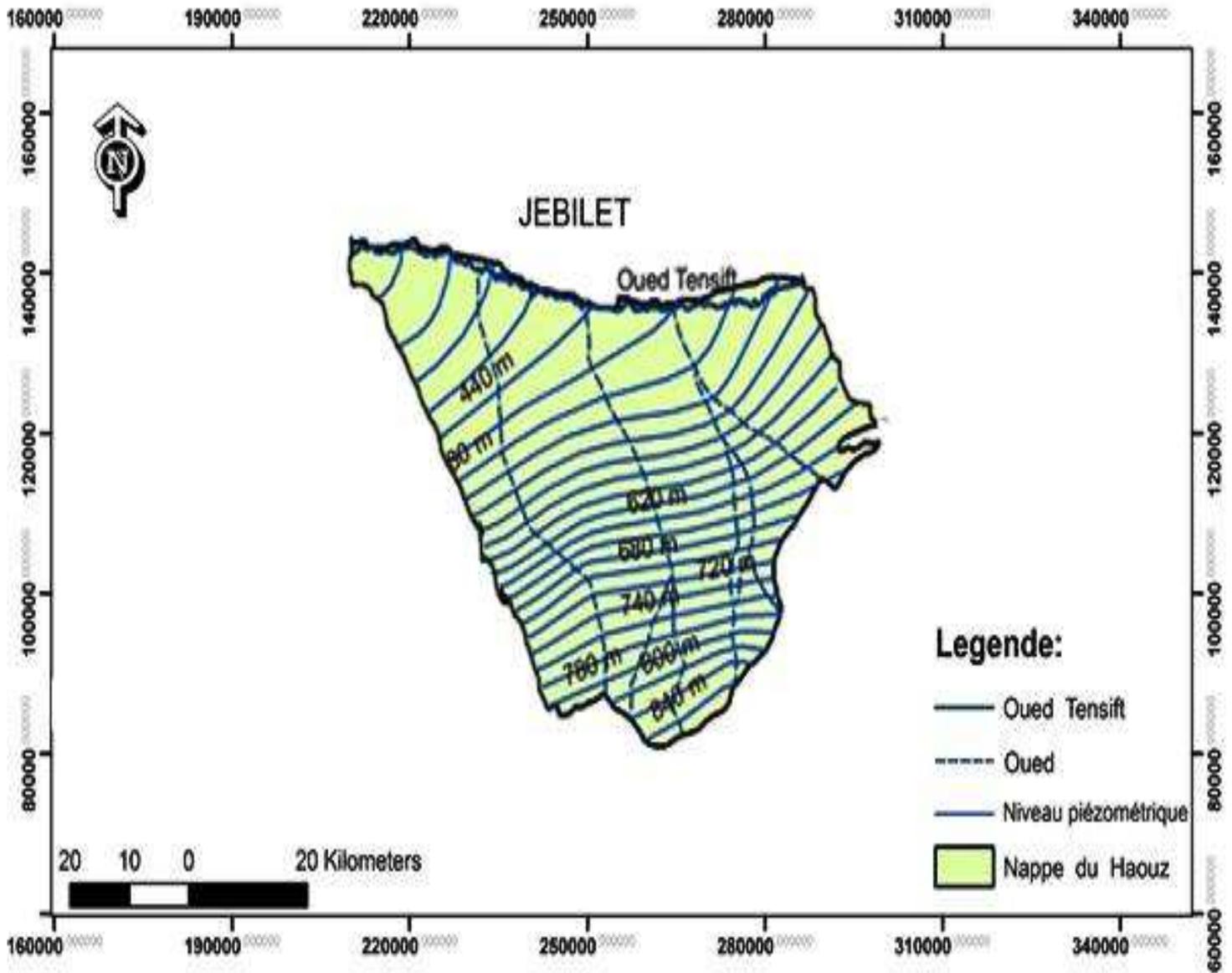


Figure 18 : carte piézométrique de la nappe l'Haouz (2014)

2-Piézomètres de contrôles

Parmi les onze points d'observation, seuls cinq ont été représentés sur des graphes vu l'insuffisance de données pour les autres points.

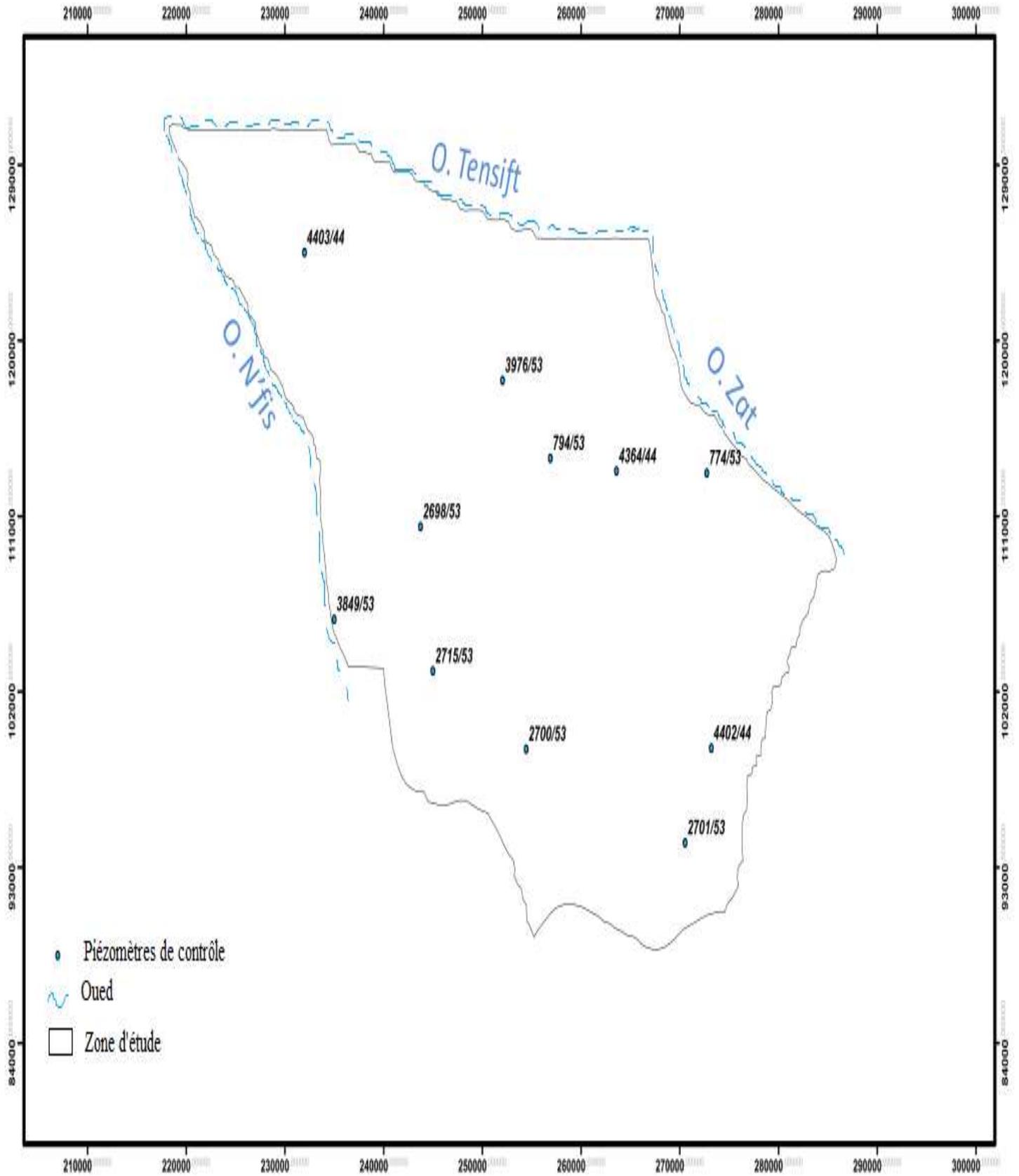
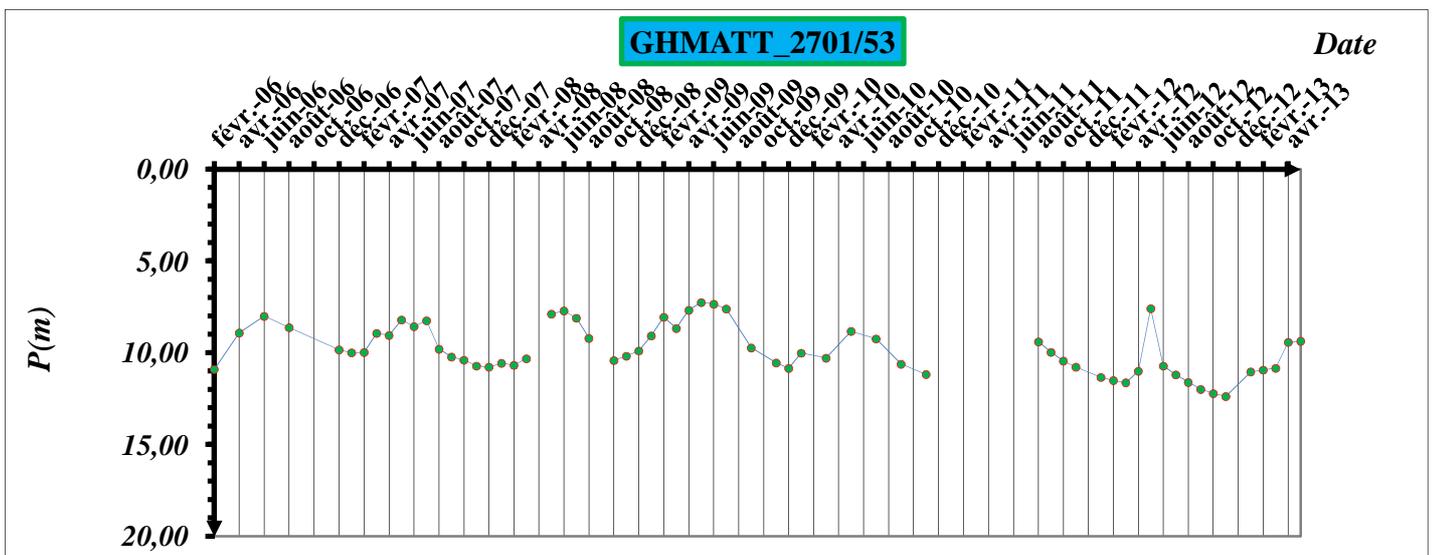
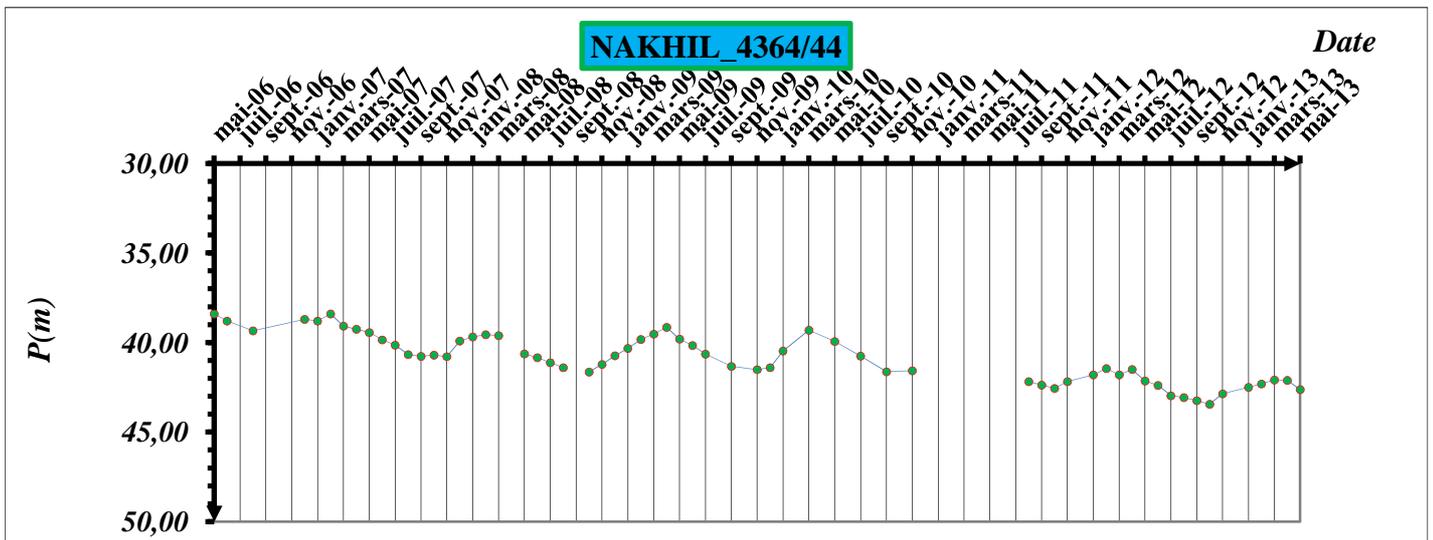
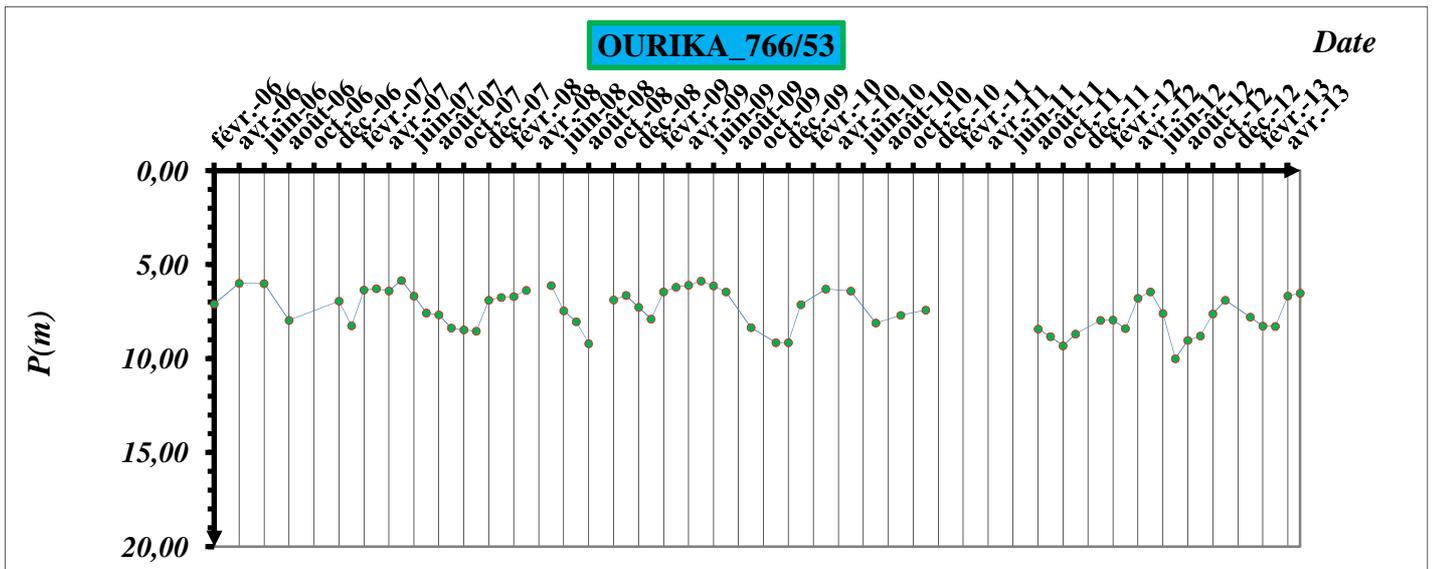


Figure 19 : Répartition des piézomètres de contrôle dans la zone d'étude.



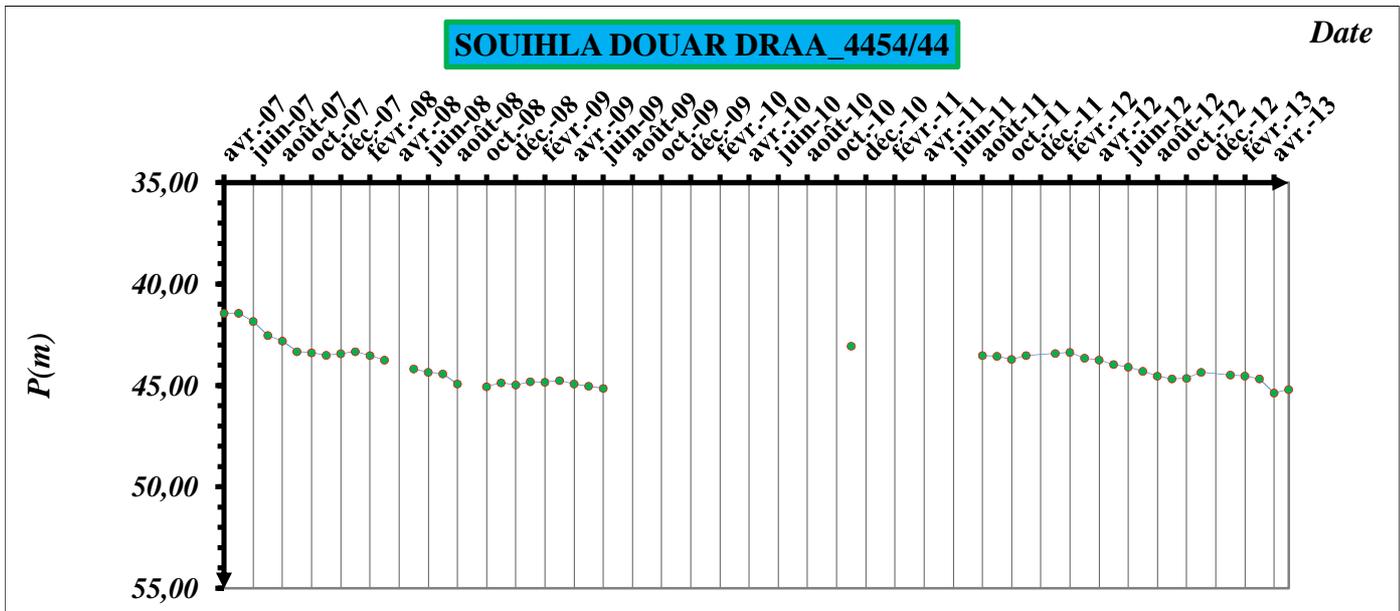
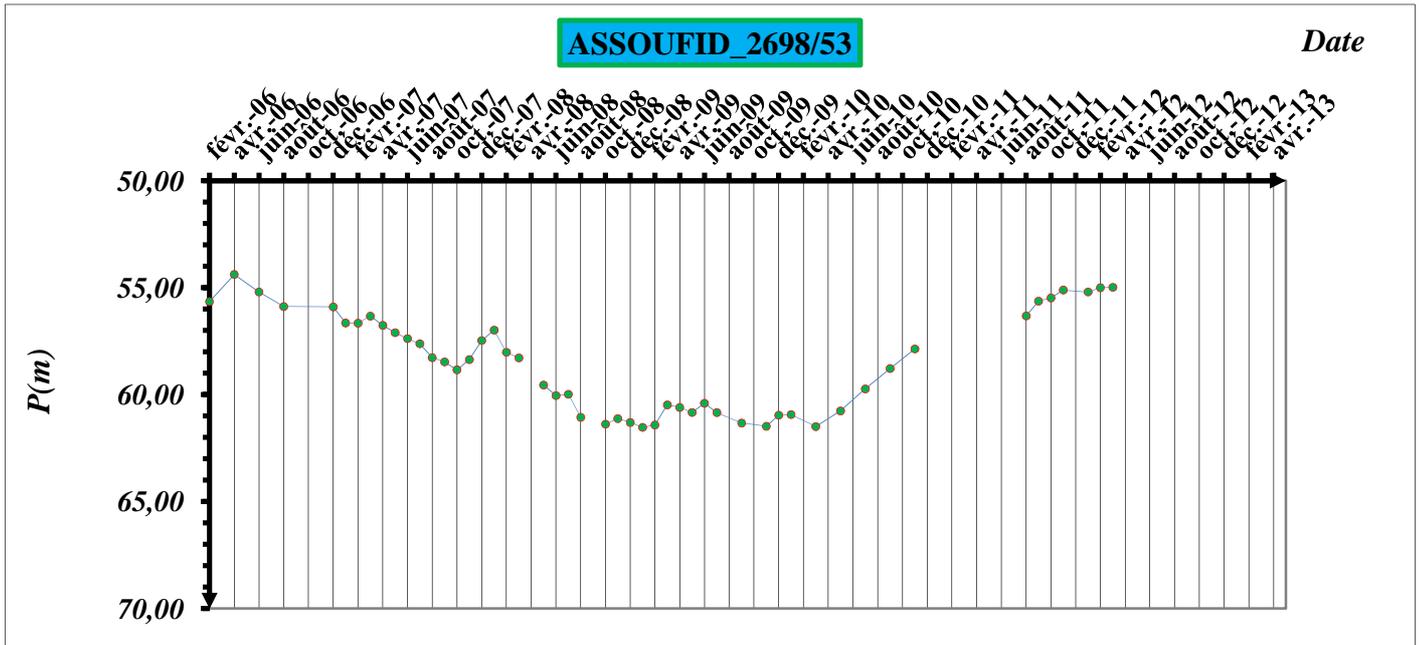


Figure 20 : Graphes des fluctuations de la lame d'eau au niveau du Haouz central (source ABHT)

Les données des fluctuations du niveau piézométrique de la nappe enregistrées au niveau

des piézomètres de contrôles 766/53 2701/53 4364/44 montrent de grandes variations en hausse et en baisse, preuve de la sensibilité de ce secteur à la fois aux infiltrations dans les oueds et aux pompages.

Une baisse modérée du niveau piézométrique a été enregistrée notamment dans la zone d'ourika et souihla douar Draa suite aux périodes de sécheresses, conjuguées à la surexploitation de cette ressources pour répondre au besoin des différents secteurs.

Pour assoufid est caractérisée par une allure de piézomètre qui baisse entre 2006 et 2009 et une remontée remarquable entre 2009 et 2013 .Ceci est lié à la mise en eau , du et à la réalimentation à partir des lits d'oueds, suite à l'amélioration relative de la pluviosité durant ces années.

3-carte mur de l'aquifère :

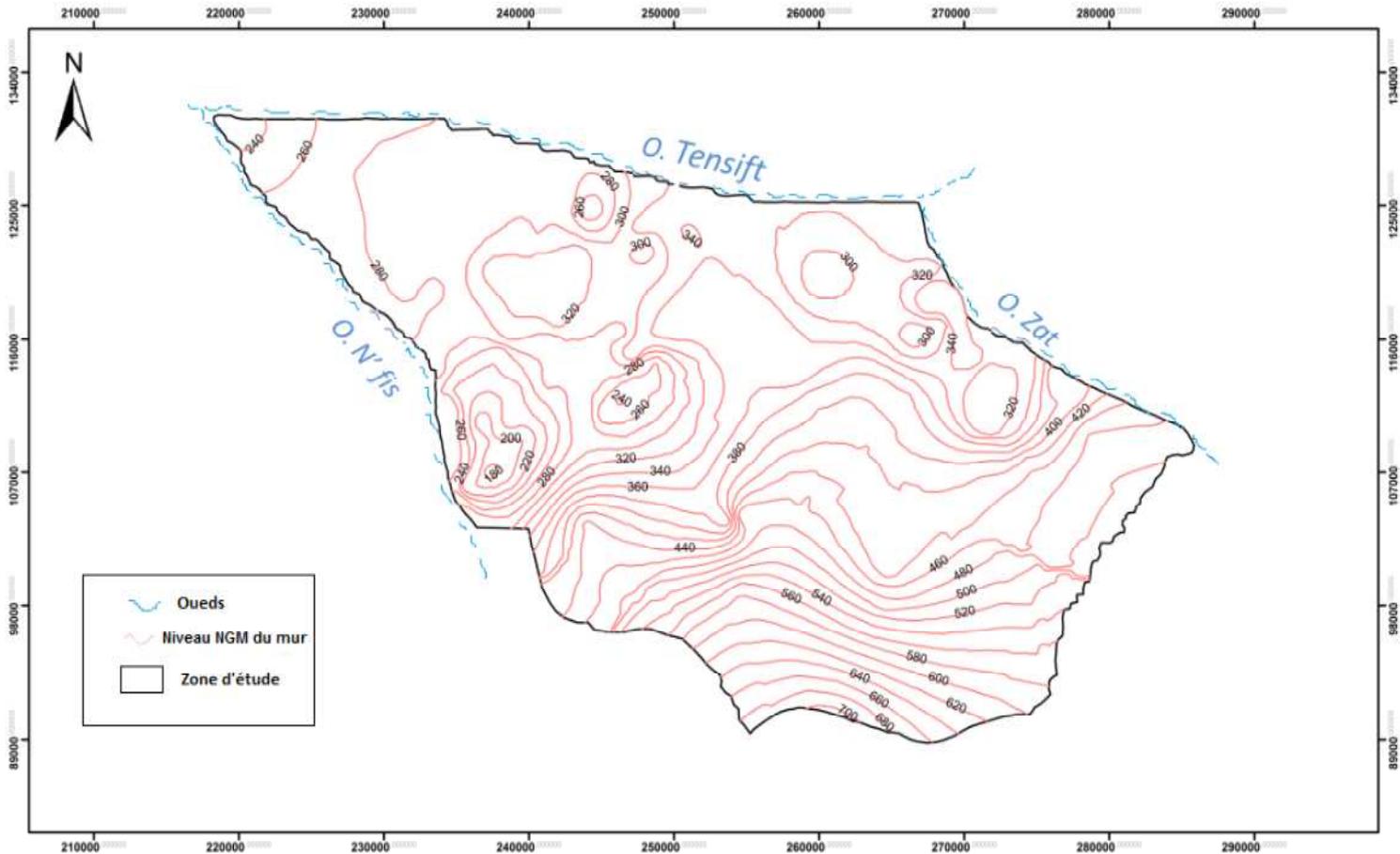


Figure 21 : Carte représente la profondeur de substratum en m.

La carte du mur a été élaborée à partir de l'interpolation des valeurs de la profondeur du mioplioquaternaire .par le logiciel surfer 8 Ensuite on a exporté le contour sous forme shapefile dans le SIG .La carte nous renseigne sur les cotes de substratum de l'aquifère et son analyse permet d'en déduire plusieurs structures :

Les structures concentriques des courbes dans le Haouz central (AitOurir) pourraient être liées au remplissage de cuvettes de ces régions par les dépôts pli quaternaire (Sinan, 2000) ; on remarque un approfondissement de ce dernier

Du Nord vers le Sud avec des structures concentriques au niveau de la rive droite de l'oued N'fis.

II. -Caractéristiques hydrodynamique de la nappe :

La nappe phréatique de l'Haouz, présente une grande variabilité hydrodynamique liée à l'hétérogénéité lithologique et géométrique des couches aquifères

1 -La transmissivité :

C'est la mesure de la quantité d'eau qui peut être transmise horizontalement sur toute l'épaisseur d'un aquifère saturé, sous un gradient unitaire.

et caractérise la productivité d'un captage. , c'est le produit du coefficient de perméabilité K par l'épaisseur de la zone saturée h.

$$T \text{ (m}^2\text{/s)} = K \text{ (m/s)} \cdot h\text{(m)}.$$

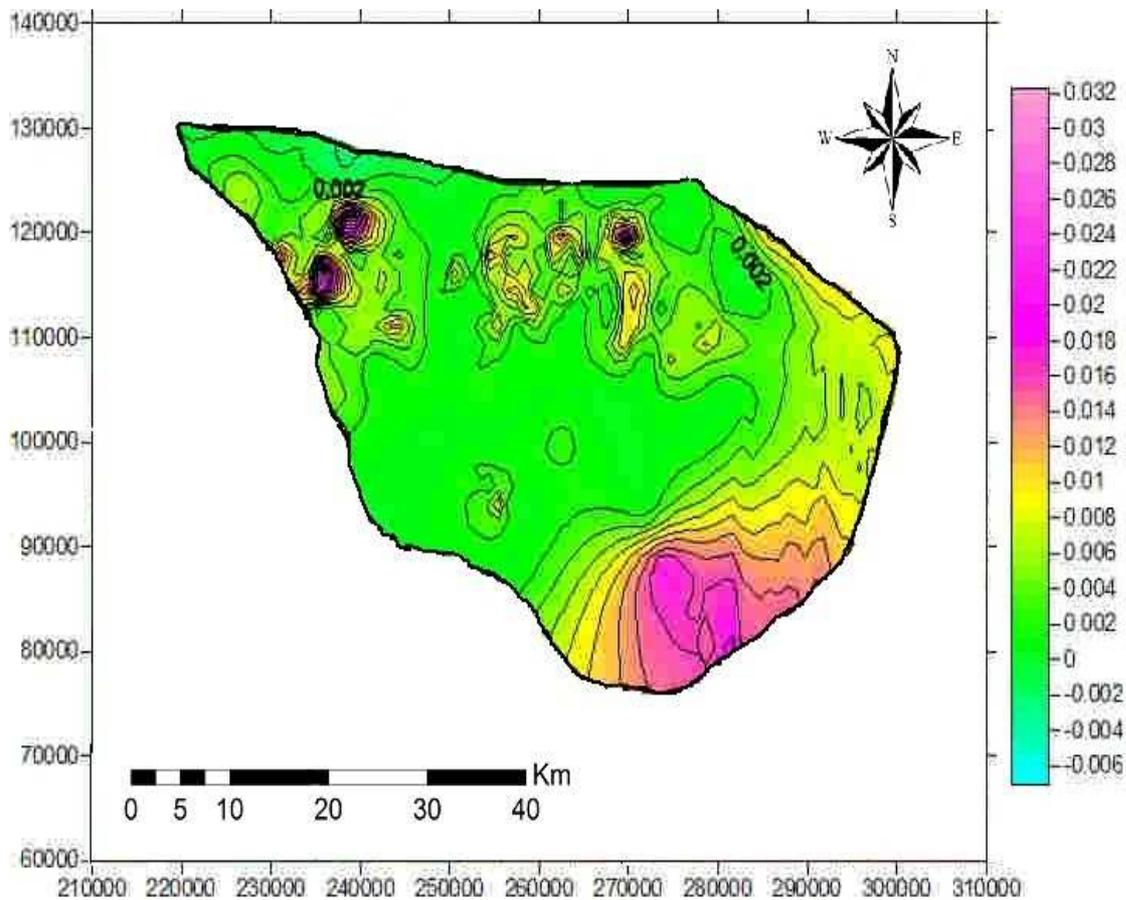


Figure 22: Répartition géographique de transmissivité dans la zone d'étude(1963-1997)

Tableau 3: Valeurs statistiques de transmissivité m²/s

Min	Moyenne	Max	Ecart type
0,00001	0,00585006	0,057	0,00773787

On dispose 400 valeurs de transmissivité sur la période 1963-1997 .

La Transmissivité se situe dans les intervalles (1.10^{-5} et $5,7.10^{-2}$ m²/s). Au niveau du Haouz central.

La transmissivité dominante est une transmissivité moyenne de l'ordre 0,005 m²/s.

Les zones les plus transmissives sont situées dans l'axe centrale de l'aquifère de direction SW – NE, le long de la faille d'Assoufid qui s'étend entre le nord de l'affleurement primaire de Guemassa et la vallée de Ghmatt par les lits d'oueds atlasiques.

Ces anomalies de transmissivité existantes due automatiquement aux valeurs élevées de profondeurs par la relation suivants : $T= K*e$ (avec K la conductivité hydraulique et la profondeur de l'aquifère).

2- Conductivité hydraulique :

La conductivité hydraulique k est une grandeur qui exprime l'aptitude d'un milieu poreux à laisser passer un fluide, sous l'effet d'un gradient de pression. C'est une grandeur dépendant à la fois de propriété des milieux poreux ou l'écoulement à lieu des propriétés du fluide qui s'écoule et du degré de saturation de milieux poreux.

La conductivité hydraulique à la dimension d'une distance sur un temps, est généralement exprimée en mètre par seconde (m/s) .

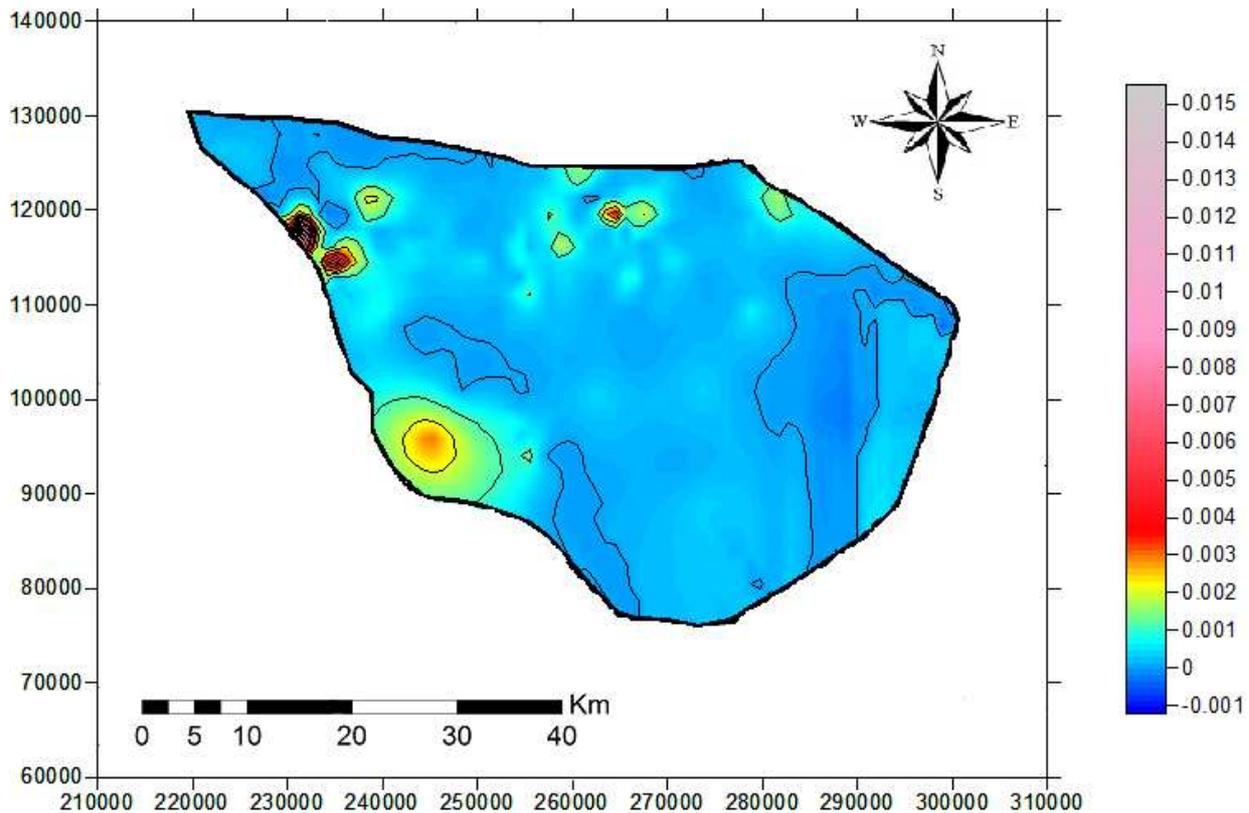


Figure 23: Répartition de conductivité Hydraulique de la zone d'étude (1963-1997)

Tableau4 : Valeurs statistiques de conductivité hydraulique(m/s)

Min	Max	Moyenne	Ecart type
0,000001	0,040000	0,000758	0,00252893

Les mêmes points 400 d'eau utilisés pour la mesure de la transmissivité ont été utilisés pour le calcul de conductivité Hydraulique.

La conductivité hydraulique est située dans l'intervalle $1 \cdot 10^{-6}$ et $4 \cdot 10^{-2}$ m/s dans la zone de Haouz central.

La conductivité hydraulique dominante est une conductivité moyenne de l'ordre $7 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Les anomalies existantes au rive droite d'oued N'fis sont expliquées par les formations Poreuses (alluvions).

III. Les caractéristiques physico - chimiques de la nappe :

Les données qu'on a sont sous forme des paramètres (conductivité, pH, O₂ dissout) mesurées, dans 17 stations pour l'année 2010 et 11 stations pour la période 2014. à cause d'un manque de données pour quelque station dans la zone de l'Haouz central.

1. La conductivité électrique :

La conductivité mesure l'aptitude de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes.

La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau et par suite donner une idée sur la minéralisation totale d'une eau.

Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre et exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le protocole adopté est le suivant :

- On place dans un bécher de 100 ml une quantité suffisante de l'échantillon.
- On place ensuite l'électrode du conductimètre dans le bécher, et on lit la valeur donné par l'appareil tout en agitant à l'aide d'un agitateur magnétique.

L'analyse de la variation dans le temps est dans l'espace de la conductivité des eaux souterraines montre une hétérogénéité au niveau du taux de variation dans les stations étudiées.

Tableau 5: les normes de conductivité électrique pour les eaux souterraines

Paramètres	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Excellente	<400
Bonne	400-1300
Moyenne	1300-2700
Mauvaise	2700-3000
Très mauvaise	>3000

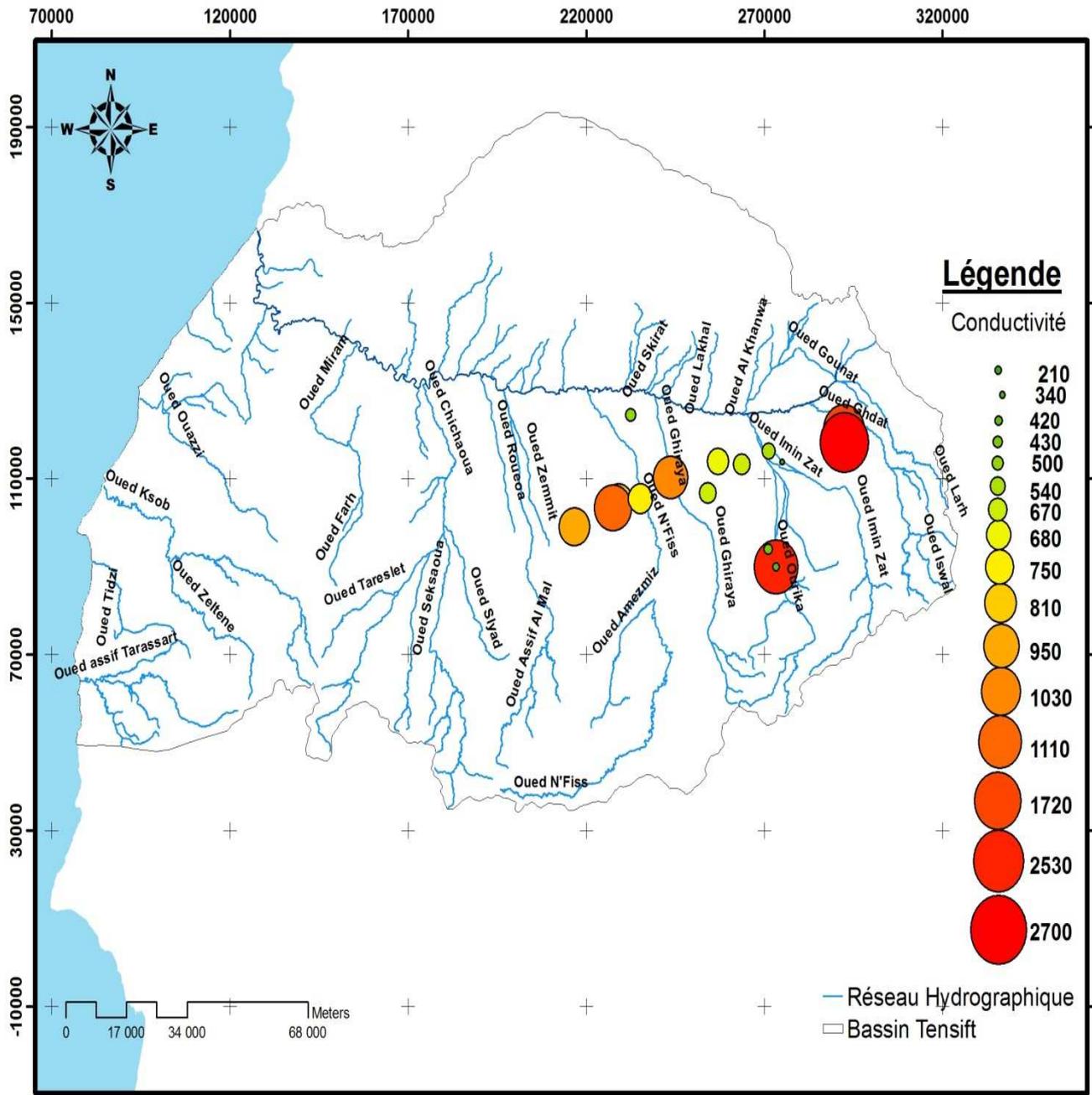


Figure 24 : Répartition géographique de la conductivité électrique dans Haouz central en été 2010.

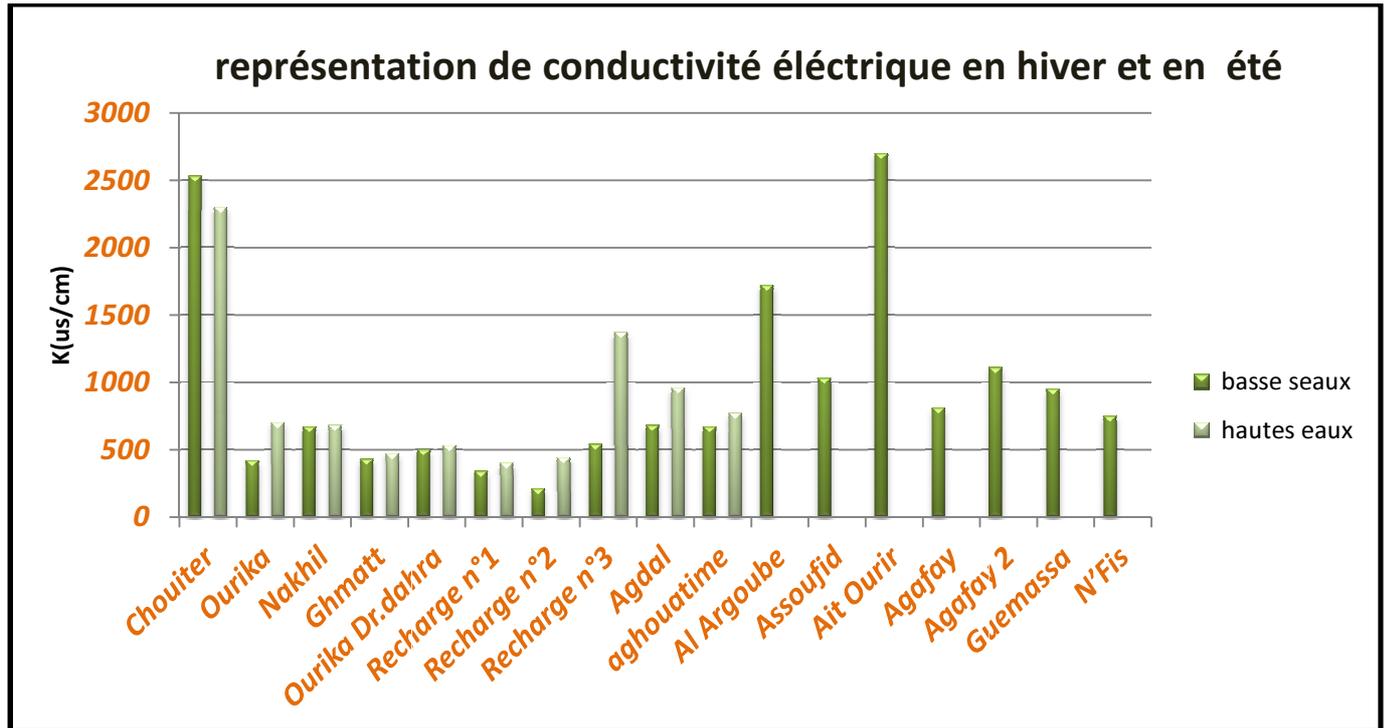


Figure 25 : Représentation graphique de conductivité électrique en été2010 et en hiver 2014

la carte (fig. 24) et le graphe montrent que les conductivités des eaux souterraines dans la plaine du Haouz central sont généralement modérées, à l'exception des stations Chouiter et Ait Ourir qui ont une conductivité élevée plus de 2500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ mais ne dépassent pas les normes Marocaines. Donc d'après ces résultats on peut conclure que la qualité de l'eau est bonne à moyenne.

2. pH :

Le pH (potentiel hydrogène) permet de mesurer l'activité chimique des ions hydrogènes (H^+), et donne une idée sur l'acidité, ou l'alcalinité d'une eau à l'aide d'un appareil de mesure qui est le pH-mètre. Il renseigne sur la balance entre acide et base sur l'échelle de 0 à 14. Pour mesurer ce pH, on procède de la manière suivante :

- On place une quantité suffisante d'eau à analyser dans un bécher de 100 ml. On étalonne le pH mètre avec des solutions étalons dont le pH est bien connu, après l'étalonnage de l'appareil, on rince abondamment l'électrode avec de l'eau distillée avant de commencer la mesure, qui consiste tout simplement à placer l'électrode dans le bécher et de lire la valeur donnée par l'appareil.

Ce paramètre conditionne un grand nombre des équilibres physico-chimiques et dépend de la température et la profondeur de l'eau.

Tableau 6 : Grille simplifiée de ph pour les eaux souterraines

Paramètre de qualité	O2 dissous (mg/l)	pH
Excellente	>7	6.5-8.5
Bonne	7 à 5	6.5-8.5
Moyenne	5 à 3	6.5-9.2
Mauvaise	3 à 1	<6.5ou >9.2
très mauvaise	<1	-

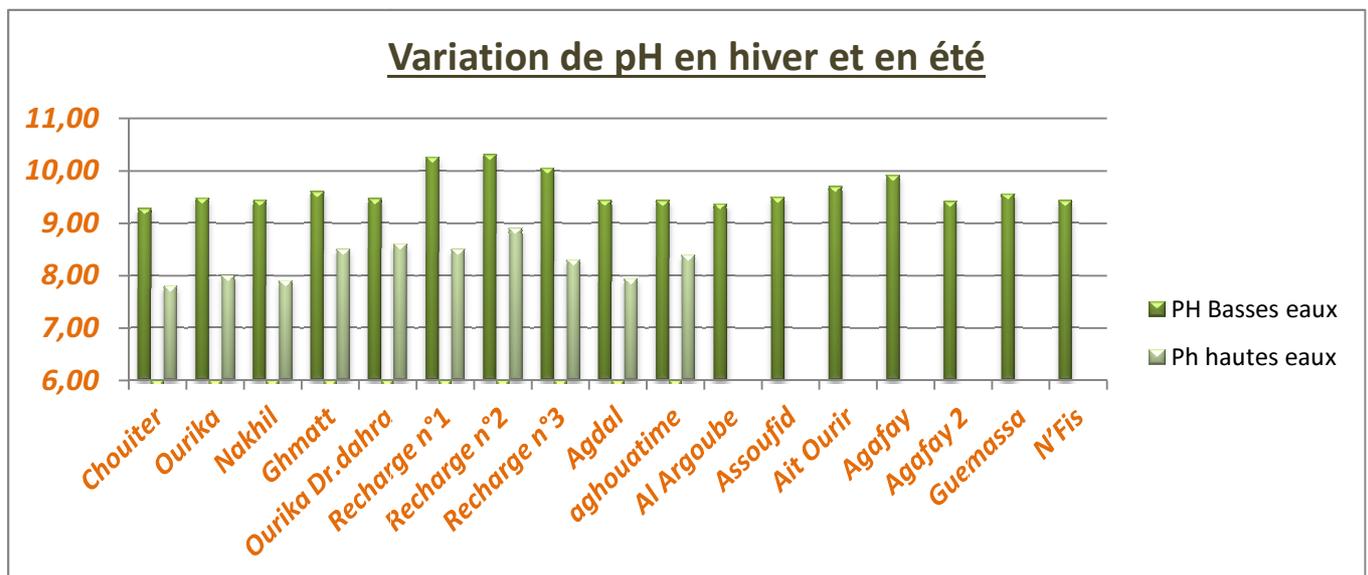


Figure 26 : Représentation graphique de ph en été2010 et en hiver 2014

Tableau 7 : Valeurs des statistiques de pH :

pH	Min	Moyenne	Max	Ecart type
2014	7,8	8,283	8,9	0,359754546
2010	9,28	9,62529412	10,31	0,31452579

La figure montre que les pH sont relativement neutres à légèrement alcalins, ils respectent les normes marocaines ($6,5 < \text{pH} < 9,2$). Les moyennes varient entre 7,8 et 8,9 pour les hautes eaux par contre pour les basses eaux les valeurs de pH sont purement alcalins et dépassent les normes.

Cette augmentation dépend de plusieurs facteurs dont la température et l'origine de l'eau.

3. O₂ dissous dans l'eau :

La teneur en oxygène moléculaire dissous est un paramètre important qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. La dissolution de l'oxygène dans l'eau est en effet régie par des lois physiques et dépend de la pression atmosphérique, de la pression de vapeur saturante, de la température de l'eau, et de la salinité.

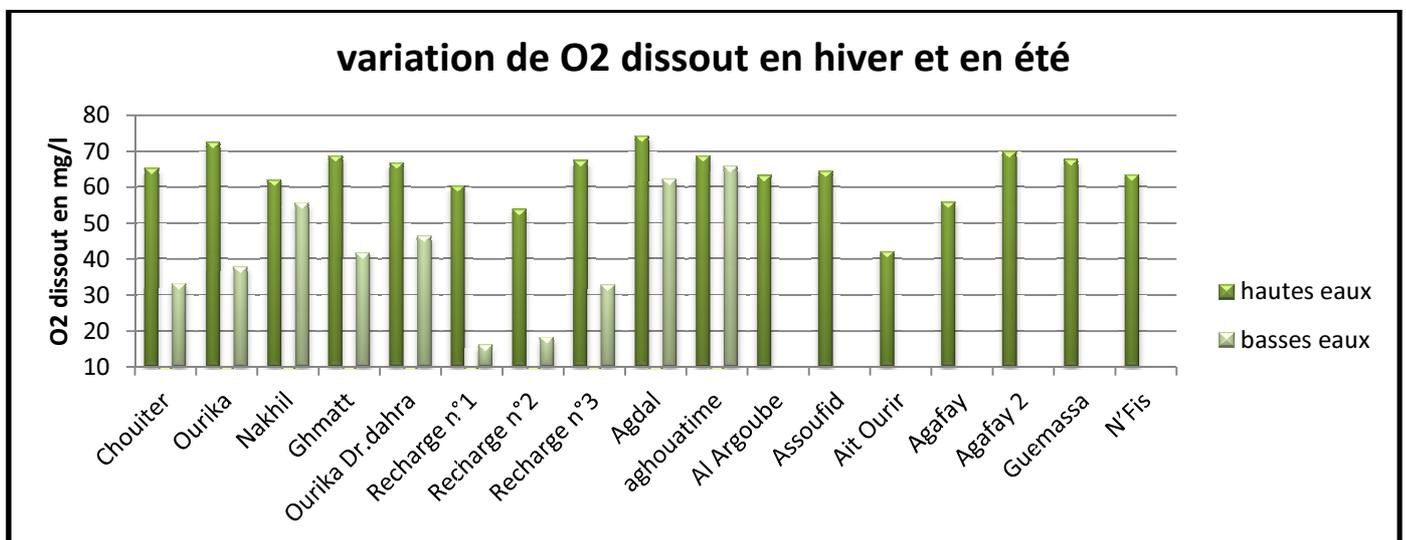


Figure27 : Représentation graphique d'O₂ dissout en été 2010 et en hiver 2014

Tableau 8 : Valeurs statistique de l'O₂ dissout

O ₂ dissout	Min	Moyenne	Max	Ecart type
2014	16,1	40,97	65,8	16,95425545
2010	42,1	63,9294118	74,3	7,75393164

La figure montre que les valeurs de l'oxygène dissout des eaux souterraines pour les hautes eaux présentent de fortes teneurs en oxygène dépassant 5 mg/l donc une qualité d'eau bonne. mais les valeurs ont diminué pour les 4 dernières années (max 74,3 mg/l dans 2010 et 65,8 mg/l pour 2014) .Cette baisse peut être expliquée par la présence des rejets liquides dans les oueds et l'utilisation des engrais au niveau des secteurs agricoles.

Généralement les valeurs d'oxygène dissout sont élevées dans les hautes eaux par rapport aux basses eaux ; cette différence due à la température qui développe contrairement avec l'oxygène dissout (dégazage de l'oxygène).

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur la partie centrale de l'aquifère du Haouz.

Le but principal était la synthèse de nombreuses données fournies par différents points d'eau réalisés dans la zone Haouz central, notamment en ce qui concerne les aspects géographique, climatologique, hydrologue, géologique, géométrique et hydrogéologue.

Cette nappe fait partie d'un system aquifère complexe résultant de plusieurs déformations et phénomènes géologiques.

La litho stratigraphie de la zone d'étude montre une série stratigraphique, allant

Du primaire au quaternaire moyen. Ce bassin à joué au tertiaire et au quaternaire

le rôle d'un avant fossé d'origine tectonique qui a été progressivement comblé par Les matériaux de démantèlement de la chaine Atlasique.

Sur le plan hydrologique, la nappe se situe dans le bassin versant de Tensift qui est représenté par les oueds Nfis Rhiraya Rdat Ourika zat et ce caractérise par sa forme allongée et par des pentes fortes en amont et plus faible en aval. L'évolution des précipitations dans ce bassin reste irrégulière au niveau des 4 stations Lalla takaerkoust Marrakech Aghbalou et Tahanaout ; les températures moyennes mensuelles varient entre 12,4 et 28,7°C. Le climat de la région est aride à semi aride.

L'étude piézométrique menée les années 2002 et 2014 montre que le niveau piézométrique global de la nappe présente une baisse de niveau piézométrique sur tout le secteur.

Pour les paramètres hydrodynamiques nous renseigne que la nappe phréatique de Haouz central présente une variabilité hydrodynamique liée a l'hétérogénéité lithologique et géométrique des couches aquifères.

Pour les paramètres hydro-chimiques, on a remarqué que le pH reste neutre à légèrement alcalin pour les hautes eaux et alcalins pour les basses eaux.

La conductivité varie de 210à 2700 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) et l'O₂ dissous varie de façon irrégulière et en fonction de la température.

Notre travail est limité au niveau de la phase technique (collecte des données)cette dernière se traduit en traitant les données de l'ABHT en utilisant les logiciels Surfer et Arc Gis qui nous ont permet d'élaborer un support cartographique à partir l'établissement des cartes, piézométriques, de transmissivité, conductivité hydraulique, le substratum de l'aquifère et finalement conductivité électrique, et le tableur Excel pour établir les graphes des paramètres hydro-chimiques.

Référence bibliographique :

- **Abourida, A., (2007)** : Approche hydrogéologique de la nappe du Haouz (MAROC) par Télédétection, Isotopie, SIG et Modélisation. Th. Doct. Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc 8p ,16p, 18p ,33p.
- **B.RAZOKI ., (2001)** : Mise en place d'un système de gestion base de données pour la gestion de ressource en eau souterraine de la plaine de Haouz (MESETA OCCIDENTALE, MAROC).Thèse Univ.Cadi Ayyad,Marrakech,Maroc,166p .
- **N.LKEBIR et S.SABIR ., (2011)** : L'impact de la modernisation agricole sur le sol et la nappe dans la zone N1-4 (Région du Haouz),12p .
- **M .SINAN. , (2003)** : Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraines .application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc ; 2FIG Régional conférence Marrakech, Morocco.
- **M.SINAN., (2000)** : Méthodologie d'identification, d'évaluation et de protection des ressources en eau des aquifères régionaux pas couplage des SIG, de la géophysique et de la géostatistique .application à l'aquifère de Haouz de Marrakech (Maroc).Thèse Univ.Mohamed 5.Rabat, Maroc.
- **R.AMBROUGGI et J.THUILLE., (1975)** :Ressources en eau du Maroc : Plaines et Bassins du Maroc Atlantique, Editions du service géologique du Maroc ,400p, 401p.
- **S, AGRINTER ., (2010)** : Etude et contrôle de l'impact de l'irrigation sur les ressources naturelles dans les périmètres de grande hydraulique du périmètre du Haouz .mission 1 et 2 .
- **www.eau-tensift.net**