Université Cadi-Ayyad
Faculté des Sciences et Techniques

Agence du Bassin Hydraulique
de Tensift

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour obtenir le titre de :

Licence en Sciences et Techniques
Option : Eau et Environnement

ETUDE DE LA NAPPE MESKALA-KOURIMATE (HAUT-ATLAS OCCIDENTAL)

Réalisé par : -**Abir Ichou**
-**Houssam Ayt Ougougdal**

Encadré par : Mr. Ali Bachnou
Mr. Mourad Jadoud

Soutenu le 27/06/2012 devant la commission d'examen composés de :

- **Mr. Ali Bachnou**
- **Mr. Abdelatif Saidi**
- **Mme. Samia Berrada**

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

Citer un grand remerciement et gratitude envers nos amis, pour leurs aides et leurs encouragements.

Et à tous ceux qui ont rendu ce rapport finalement réalisable

REMERCIEMENTS

Avant de présenter notre travail, on adresse nos remerciements les plus distingués à tous les Enseignants du Département des Sciences de la Terre de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, et plus particulièrement au Professeur monsieur ***Ali Bachnou***, de nous avoir soutenues et appuyés tout le long de ce projet de find'études. Il nous a encouragés à surmonter les difficultés. Ces précieux conseils, ces commentaires, et ces critiques ont été très utiles pour structurer ce travail. Monsieur, vous nous avez consacré de nombreuses heures de discussion,votre générosité nous a été un atout précieux. Un simple mot de merci n'est passuffisant pour vous exprimer notre gratitude.

On tient aussi à remercier très vivement tous ceux qui ont déployé beaucoupd'efforts afin de nous assurer une meilleure formation.

Un énorme merci à tout le Personnel de l'Agence du Bassin Hydraulique duTensift, et plus particulièrement monsieur ***Mourad Jadoud***,pour nous avoir apportés assistance tout au long de ce travail.

En fin, on remercie tous ceux qui ont nous aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Sommaire

Représentation de l'ABHT……..6

Introduction…….....9

Chapitre I : Cadre géographique, géologique et hydrogéologique de région Meskala-Kourimate :…10

I: Cadre géographique :……..11

I-1 : Situation du secteur d'étude :……...11

I-2 Climatologie :……...11

a) Température :……11

b) Evaporation :……..12

c) Evapotranspiration :……..12

d) Végétation :……12

II : Cadre géologique et hydrogéologique de la région Meskala-Kourimate :……13

III : Cadre hydrologique :……15

III-1 : Bassins versants de la région Meskala-Kourimate :……15

III-2 : Précipitations :……17

a) Evolutions des précipitations annuelles :……17

b) Evolutions des précipitations mensuelles :……..18

Chapitre II : Numérisation de la topographie du secteur de la région Meskala-Kourimate :……20

I-1 : Cartes topographiques utilisées :……..21

I-2 : Logiciels utilisés :……...21

I-3 : Etapes de réalisations de la carte topographique numérisée :……...21

Chapitre III : Etude de la nappe Meskala-Kourimate :……25

I : Cartes piézométriques de la nappe et évolution temporelle du niveau piézométrique :...26

I-1 : Elaboration des cartes piézométrique :……26

I-2 : Evolution du niveau piézométrique à Adamna :……..29

II : Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe :…….31

III : Caractéristiques hydro chimiques de la nappe :……..32

III-1 : Paramètres hydro chimiques :……..32

a) pH (Evolution de juin 2008 à décembre 2008) :…….32

b) Conductivité (Evolution de juin 2008 à décembre 2008) :……....33

c) O_2 dissous (Evolution de juin 2008 à décembre 2008 :……...34

III-2 : Les nitrates :……...….35

III-3 : Les Facies chimiques :……35

III-4 : La qualité des eaux :……...……36

Chapitre IV : Bilan hydrique de la nappe Meskala-Kourimate :…….38

I : Entrées :……39

II : Sorties :……39

a) Eau potable :……39

b) Irrigation :……40

III : Bilan hydraulique du système aquifère Meskala-Kourimate :…….42

Conclusion et recommandations……...43

Références bibliographiques…….44

Liste des figures……..45

Liste des tableaux…..46

Présentation de l'ABHT

I. L'Agence du Bassin Hydraulique au Maroc :

L'organisation en agence de bassin hydraulique a été instaurée par la loi 10-95* sur l'eau en tant qu'établissement Public, doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, chargé du développement et de la gestion de l'eau et du domaine public hydraulique d'un bassin ou groupement de bassins hydrographiques.

L'agence de bassin a pour attributions :

- Elaboration du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau relevant de sa zone d'action ;
- Veiller à l'application du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau à l'intérieur de sa zone d'action ;
- Délivrer les autorisations et concessions d'utilisation du domaine public hydraulique de sa zone d'action ;
- Fournir toute aide financière et prestation de service, notamment d'assistance technique, aux personnes publiques ou privées qui en feraient la demande, soit pour prévenir la pollution des ressources en eau, soit en vue d'un aménagement ou d'une utilisation du domaine public hydraulique ;
- Réaliser toutes les mesures piézométriques et de jaugeages ainsi que les études hydrologiques, hydrogéologiques, de planification et de gestion de l'eau tant au plan quantitatif que qualitatif ;
- Réalisation de toutes les mesures de qualité et d'appliquer les dispositions relatives à la protection des ressources en eau et à la restauration de leur qualité ;
- Proposer et exécuter les mesures adéquates, d'ordre réglementaire notamment, pour assurer l'approvisionnement en eau en cas de pénurie d'eau ou pour prévenir les risques d'inondation ;
- Gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées ;
- Réalisation des infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations.

Actuellement, Sept agences de bassins hydrauliques sont opérationnelles (fig. 1),

**(La loi sur l'eau, adoptée par l'assemblée nationale du Maroc en septembre 1995, et qui constitue une orientation pour le développement des ressources en eau au Maroc. Cette loi se compose de 13 chapitres et 123 articles)*

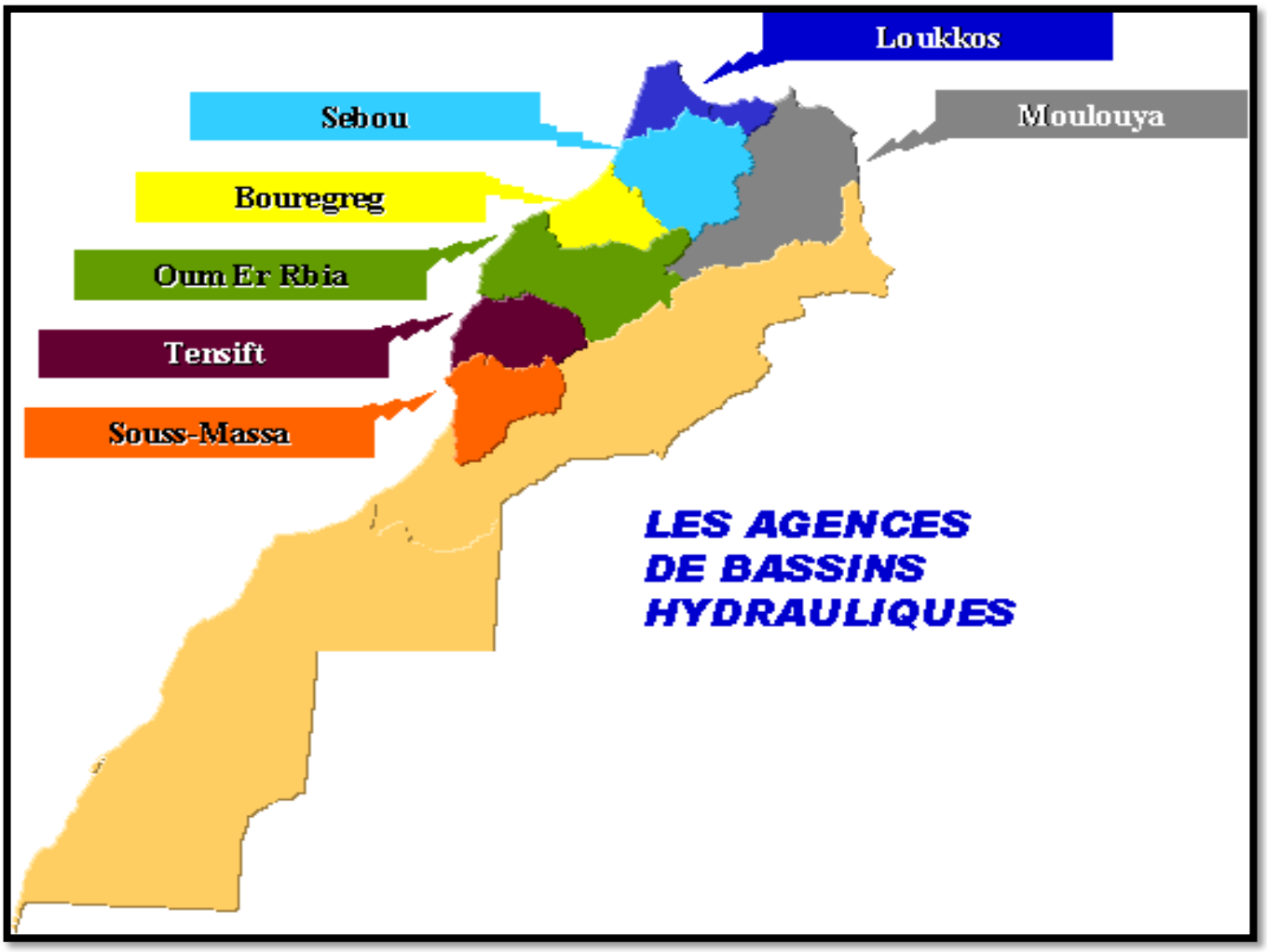

Figure 1 : Répartition des agences des bassins hydrauliques sur le territoire nationale (ABHT)

L'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift, (ABHT), a démarré effectivement son action en Avril 2002. Elle traduit la politique de décentralisation de la gestion de l'eau induit par le nouveau concept de la gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle du bassin hydraulique, et constitue ainsi un organisme fédérateur des acteurs concernés par la gestion de l'eau au niveau régional.

Elle est gérée par un Conseil d'Administration présidé par le Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Eau et de l'Environnement.

Zone d'action de l'Agence du bassin Hydraulique du Tensift.

La zone relevant de l'ABHT couvre 24800 km² et comprend le bassin de la rivière de Tensift et du bassin de la Bahira au nord-est et du bassin de la rivière d'Essaouira au Sud-est (fig. 2). La région est divisée en 5 classements géographiques :

- Montagnes du Haut Atlas,
- la Plaine du Haouz,
- Mejjate,
- Jbilet,

- Essaouira.

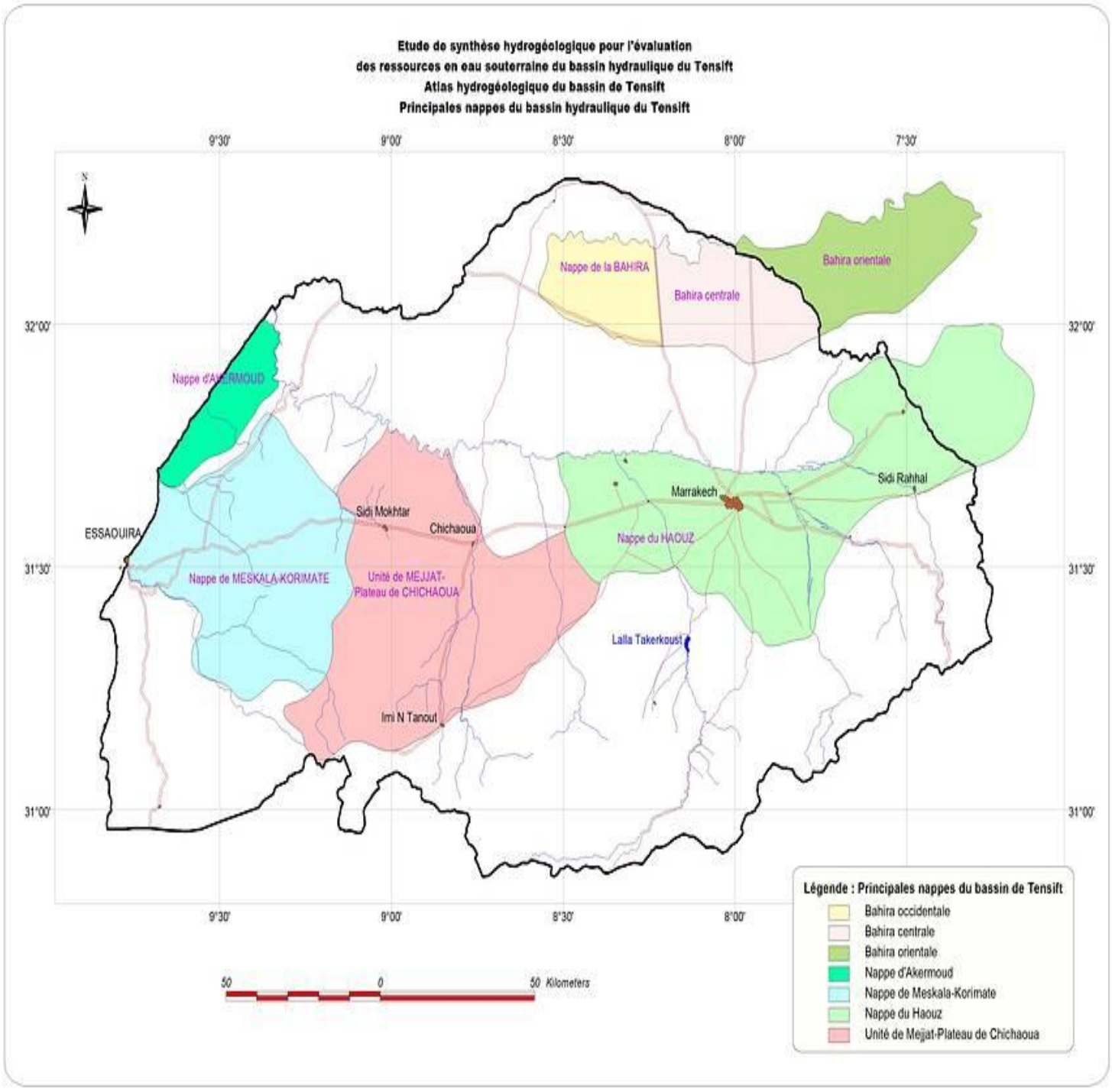

Figure 2 : Localisation des nappes de tensift dans le bassin hydraulique Tensift (ABHT)

Introduction

La gestion rationnelle des eaux, constitue de nos jours une préoccupation majeure de tout usager. En effet, les ressources en eau deviennent de plus en plus limitées pour des raisons de demande croissante et concurrentielle des différents secteurs utilisateurs (eau potable, irrigation, industrie, etc.…). De plus la zone centrale du Maroc connait un climat aride à semi-aride qui limite les apports de l'eau superficielle pour alimenter les nappes. Ainsi, une connaissance des systèmes aquifères, les entrées et les sorties d'eau au sein des différentes régions permet d'avoir idée globale pour permettre aux décideurs d'élaborer des plans de gestion et de rationalisation de l'eau.

C'est dans cette perspective que s'inscrit notre stage au sein de l'ABHT, qui consiste à faire une synthèse sur les données disponibles sur la nappe Meskala-Kourimate et de numériser les données topographiques de cette région. Ainsi, notre travail s'articule autour des points suivants :

-La première partie consiste à définir le secteur d'étude de point de vue géologique et hydrologique.

-La deuxième partie est consacrée à la numérisation des cartes topographiques délimitant la nappe.

-La troisième partie vise à l'étude de la nappe notamment la piézométrie et les caractéristiques hydrodynamiques et hydrochimiques de la nappe.

-Et la quatrième partie consiste à évaluer le bilan hydrique de la nappe.

Chapitre I : Cadre géographique, géologique et hydrogéologique de région Meskala-Kourimate

I- Cadre géographique

I-1Situation du secteur d'étude :

La nappe meskala-kourimate fait partie du bassin d'Essaouira qui appartient au grand bassin côtier du Sud-ouest marocain, s'étendant entre El Jadida au Nord et Agadir au Sud. Il est limité au nord par le bassin de Doukkala et les Jebilet occidentales, à l'est par la plaine du Haouz, au sud par le Haut Atlas occidental et à l'ouest par l'Océan atlantique.

I-2 Climatologie

a) Température

Les données de la température sont disponibles uniquement à la station d'Igrounzar, la station d'Adamna ne disposant pas de thermomètre.

Selon la période de 1987 /88 à 1996/97, Les températures interannuelles mensuelles moyennes, minimales et maximales montrent que les mois les plus chauds sont : juin, juillet, aout et septembre par contre les mois les plus froids sont : décembre, janvier et février (tabl. 1 et fig. 3).

L'écart thermique entre le mois le plus chaud (aout) et le mois le plus froid (janvier) atteint 19°c a la station d'Igrounzar (tabl. 1). Cet écart ne dépasse pas les 6°c à la station d'Essaouira, qui bénéficie d'une tendance océanique.

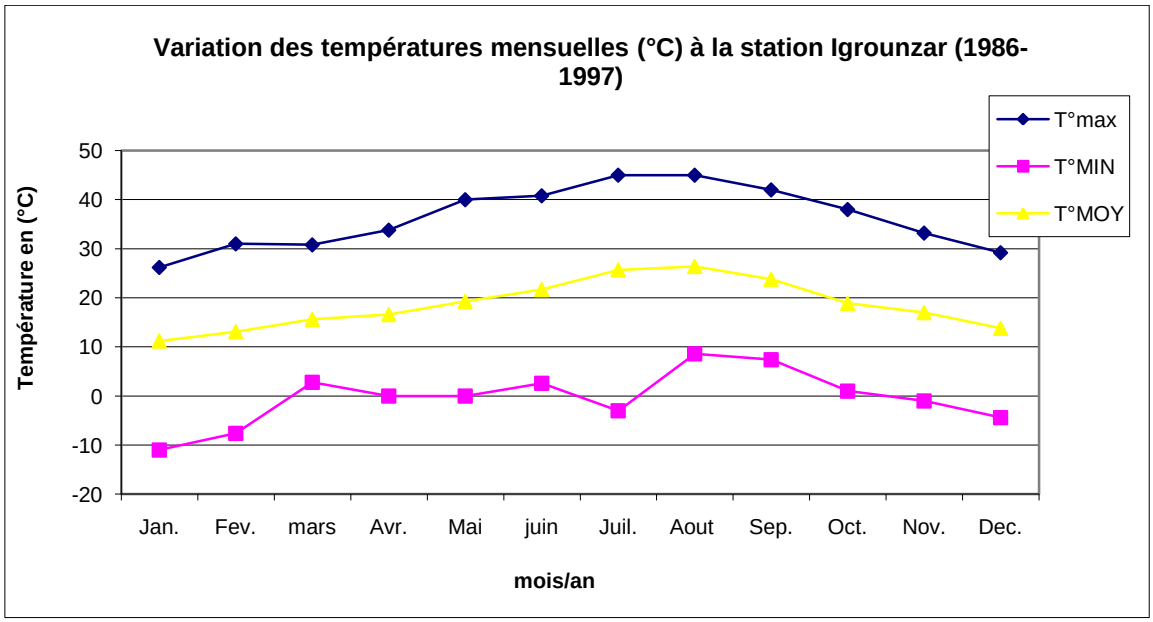

Figure 3 : Variation des températures interannuellesmensuelles (°C) à la station d'Igrounzar

Tableau 1 : Variation des moyennes des températures interannuelles mensuelles maximales, minimales et moyennes à la station d'Igrounzar

MOIS	Jan.	Fév.	mars	Avr.	Mai	juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
T°MAX	26,2	31	30,8	33,8	40	40,8	45	45	42	38	33,2	29,2
T°MIN	-11	-7,6	2,8	0	4 ,8	2,6	-3	8,6	7,4	1	-1	-4,4
T°MOY	11,2	13,1	15,6	16,6	19,3	21,7	25,7	26	24	19	17	13,8

b) Evaporation

Comme pour le cas de la température, les données de l'évaporation sont disponibles uniquement à la station d'Igrounzar, qui est équipée d'un évaporomètre Piche et d'un bac Colorado.

Le total moyen interannuel sur cette période (1989 à 1997) a atteint 2360 mm /an sur bac Colorado et 2216 mm/an sur l'évaporomètre Piche (tableau 2), avec une évaporation maximale pendant l'année 94/95 qui a atteint 2630 mm/an sur bac Colorado et 2674 mm/an sur l'évaporométre Piche, et une évaporation minimale dans l'année 95/96 de l'ordre de 2158 mm/an sur bac Colorado et 1893 mm/an sur Piche .

Tableau 2 : Evaporation totale annuelle à la station d'Igrounzar de1989 à 1997

Evaporation totale/an	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	MOY
Bac Colorado (mm)	2321,3	2299,9	2328,4	2484,3	2398	2630	2158,2	2270	2361,2
Piche(mm)	2062,3	2035,5	2381,8	2441,2	2359	2674	1893	1885	2216,6

c) Evapotranspiration

L'évapotranspiration est un terme très important pour le calcul du bilan hydrique. Elle regroupe un phénomène physique qui est l'évaporation à partir des sols et des plans d'eau , (rivières, lacs ...) et un phénomène biologique qui est la transpiration (dégagement de l'eau par les feuilles des plantes). On distingue l'évapotranspiration réelle (ETR) et l'évapotranspiration potentielle (ETP) Les valeurs de l'évaporation directe mesurées par bac Colorado ainsi que celles de l'évapotranspiration potentielle évaluées par la méthode de Thornthwaite sont très fortes. Elles oscillent entre 715 mm à Essaouira et 1050 mm à Abadla.

d) Végétation

Le couvert végétal est dominé par une plante endémique, l'arganier ou « *Argania spinosa* » qui joue un rôle très important dans l'économie de la région. Elle est utilisée pour l'extraction d'une huile à saveur particulière. La pratique agricole, la plus utilisée, est les céréalicultures dans les terres « Bour » alors que les champs irrigués à partir des sources et des puits personnels sont occupés par les oliviers, luzerne, maïs et

certaines légumineuses. Il faut noter tout de même, le début d'aménagement d'un périmètre irrigué dans la région de Kourimate .

II- Cadre géologique et hydrogéologique de la région Meskala-Kourimate

Au niveau de la région « Meskala-Kourimate », les terrains à l'affleurement sont dominés par les formations du Crétacé dont les structures de surface reflètent l'empreinte de l'orogenèse atlasique (Bahir et al. 2007) ; la zone côtière et la partie orientale du bassin sont couvertes par des dépôts du Néogène et du Pléistocène. Le socle paléozoïque, profondément enfoui sous une épaisse série mésozoïque, affleure largement à l'est du bassin, au niveau du Jbilet et du massif ancien du Haut Atlas (fig. 4).

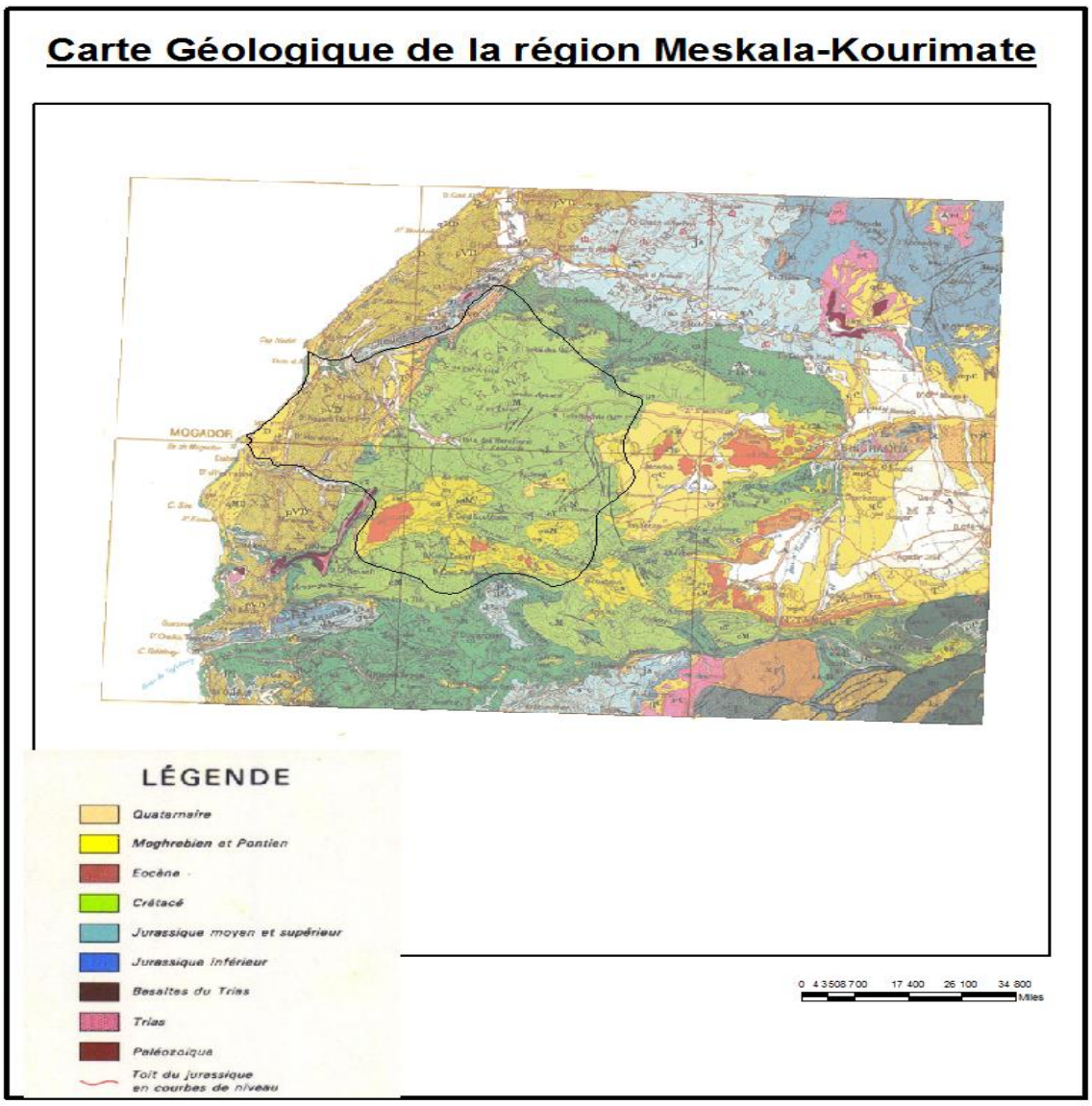

Figure 4 : Carte géologique de la région Meskala-Kourimate (extraite de la carte géologique de Marrakech au 1/500000)

La nappe de Meskala-Kourimate s'étendant sur une superficie de l'ordre de 1.600 km². Elle est constituée de deux aquifères superposés, l'un circulant dans les calcaires de l'Eocène et l'autre dans des terrains dolomitiques du Crétacé. Ces derniers regroupent les calcaires dolomitiques et dolomies jaunes du Sénonien dont l'épaisseur peut atteindre 100 m, les calcaires fissurés et karstifiés du Turonien d'une épaisseur de 40 à 80m et les calcaires lumachellique du Cénomanien (fig. 5). L'absence de couche franchement imperméable entre ces différents niveaux implique que c'est un système multicouche au sein duquel le Turonien se présente comme le plus important. Les propriétés aquifères du crétacé sont liées à l'existence de discontinuité représentée par les plans de stratification (qui donnent naissance à des sources), par la fracturation et aussi par le développement de phénomène de karstification. Le Cénomanien et le Turonien constituent un bon aquifére qui assure l'alimentation des sources importantes, sa grande surface d'affleurement permet la récéption et l'infiltration des eaux météoriques et de celles transportées par les oueds.

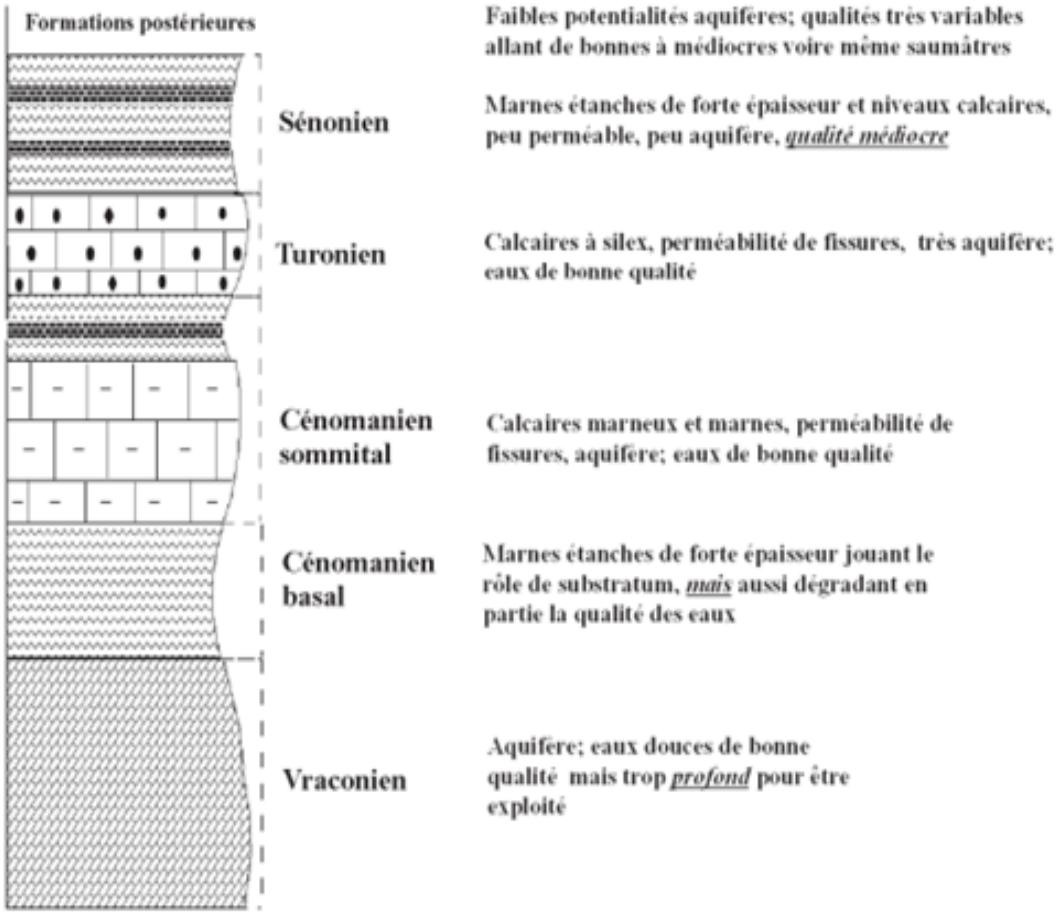

Figure 5 : Lithologie des formations du Crétacé moyen a Jbel Aganane, au sud du Kourimate (d'après : Içame, 1994)

III- Cadre hydrologique

III-1 Bassins versants de la région Meskala-Kourimate

La région de Meskala-Kourimate est dominée par le bassin versant de Ksob, son cours principal est l'oued Ksob, il résulte de la confluence des oueds Igrounzar et Zelten à l'amont de la gorge Zerrar à environ 29 km de l'océan Atlantique.

Le bassin versant de Ksob présente une forme allongée avec des pentes assez importantes au niveau des affluents et des versants. L'ensemble du bassin actif est pratiquement limite à la confluence; l'oued draine les eaux de ruissellement de la cuvette synclinal de Bouabout et du versant nord du Haut Atlas occidental. Le réseau hydrographique du bassin versant est peu marqué à l'aval de la confluence (longue de 28 Km) ; dans cette partie les débits des basses eaux s'infiltrent rapidement dans les alluvions du lit de l'oued Ksob qui est à sec plusieurs mois par an à la station Adamna.

Le bassin versant du Ksob se compose de trois sous bassins d'une superficie totale de 1480 km^2 (fig. 6) :

- **Sous bassin d'Igrounzar :**

Il dénomme dans sa partie Amont Oued Ait Ou Adil. Il draine un bassin versant de 900 km2 à la station hydroclimatologique Igrounzar. Les principaux affluents de l'oued Igrounzar sont :

- Sur la rive gauche : Assif Er rabat, oued Tamaloukt et oued Tagaouaout.
- Sur la rive droite : oued Ighzifene et oued tiguida.
-

- **Sous bassin de Zelten :**

L'oued Zelten porte également le nom de oued Sebt dans sa partie avale et Assif Oughouniffa en amont. Il est constitue par plusieurs petites chaabats. Il draine un bassin versant de 423 km2 à la station Zelten**.**

Les principales caractéristiques morphologiques du bassin versant de Ksob sont résumées dans le tableau ci-dessous (tabl. 3).

Tableau 3 : Caractéristiques morphologiques du bassin versant de Ksob

Superficie (Km2)	**1480**
Périmètre (Km)	**208**
Longueur du cours principal (km)	**105**
Indice de compacité	**1,5**
Altitude moyenne (m)	**745**
Altitude maximale (m)	**1694**
Longueur du rectangle équivalent (km)	**87**
Largeur du rectangle équivalent (km)	**16,6**
Pente moyenne	**1,50%**

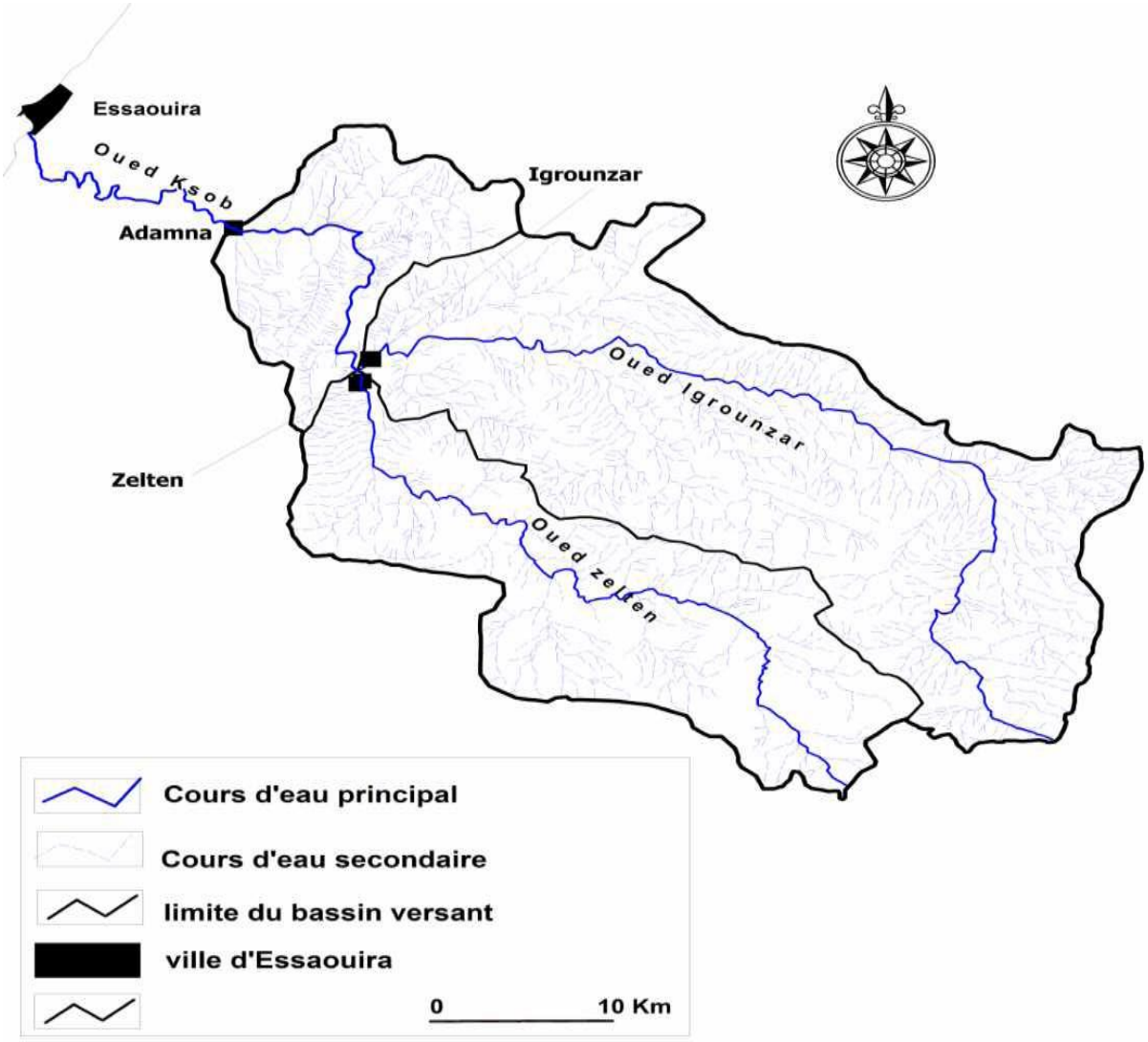

Figure 6 : Les sous bassins constitutifs du bassin versant de l'Oued Ksob (d'après Mimouni, 2009)

L'indice de compacité de Gravelius permet d'avoir une idée sur la forme géométrique du bassin, il est de l'ordre de 1,5 pour le bassin versant de Ksob (1,39 pour le sous bassin d'Adamna, 1,33 pour celui d'Igrounzar et 1,73 pour celui de Zelten). Cette compacité relativement médiocre confère au bassin une forme allongée.

La répartition altimétrique dans le bassin de Ksob montre la prédominance des terrains comprise entre 600 et 1600 m représentant environ 60% de la surface totale. L'altitude moyenne s'élève à 745 m.

Les pentes moyennes des cours principaux ne sont pas particulièrement élevées (1,7% a Adamna, 1,8% a Igrounzar et 3,6% a Zelten). La quasi-totalité des affluents se jettent dans les cours principaux avec des pentes assez importantes, mais les vallons les plus pentus se situent en amont du bassin avec des pentes qui peuvent atteindre par endroit 10 %.

L'indice de filtration est le même pour les trois sous bassins, il est de l'ordre de 10, ce qui signifie que la quantité infiltrée reste la même tout au long des 3 oueds.

III-2 Précipitations

Le bassin versant de Ksob est équipé de deux stations de mesure pluviométrique. La chronique des données dont on a disposé recouvre une période allant de 1977 à 2011. Une analyse à la fois mensuelle et annuelle des précipitations a été réalisée.

a) Evolution des précipitations annuelles :

La station Adamna

Dans cette station on remarque que les précipitations annuelles sont irrégulières (fig. 7). Les années 1988, 1996, 1997 et 2011ont connues des précipitations exceptionnelles dépassant les 650mm. La moyenne interannuelle des précipitations est de l'ordre de 330,6 mm.

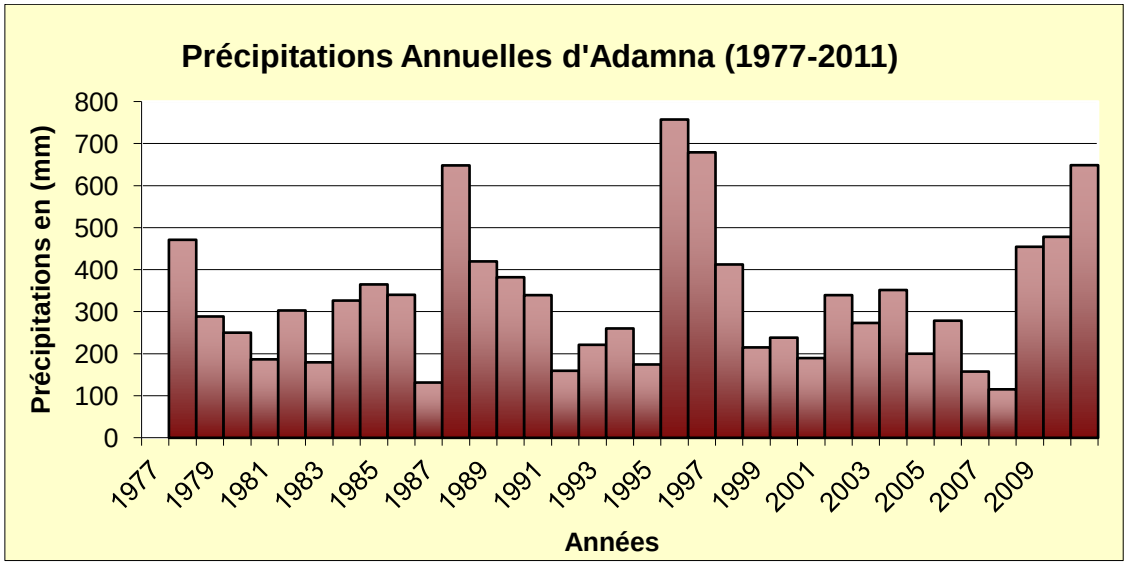

Figure 7 : Variation des précipitations annuelles au niveau de la station Adamna (1977-2011)

La station Igrounzar

On remarque aussi que les précipitions sont irrégulières, elles évoluent entre 150 et 700 mm (fig. 8). Entre l'année 1995 et 1997 les précipitations sont les plus importantes (700 mm). La moyenne interannuelle des précipitations est de l'ordre de 305,5 mm.

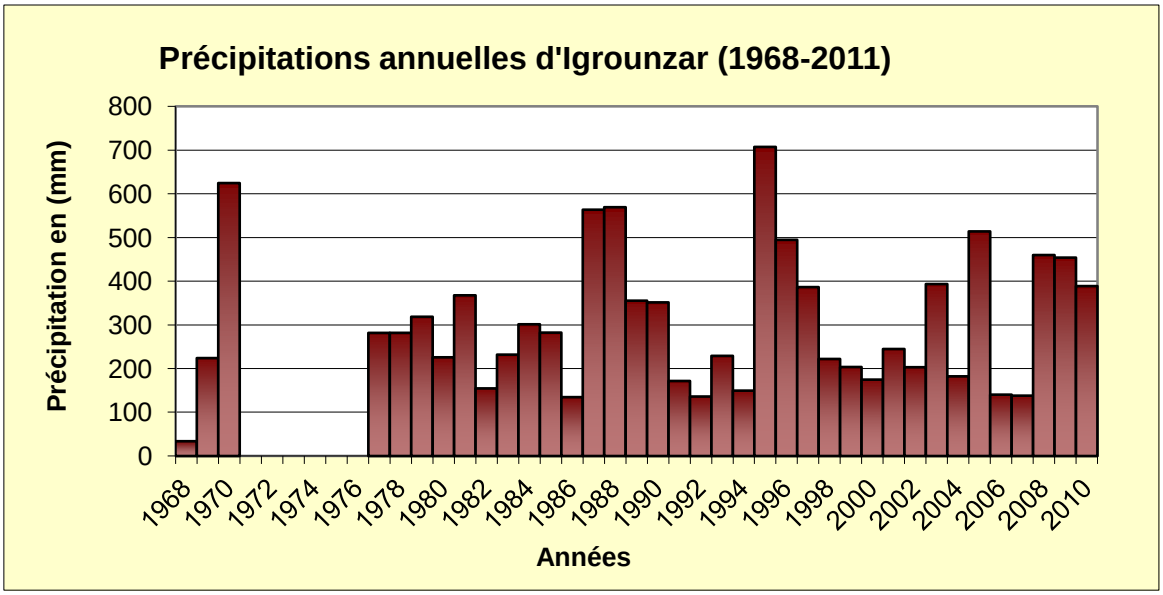

Figure 8 : Variation des précipitations Annuelles au niveau de la station Igrounzar (1968-2011)

b) Evolution des précipitations mensuelles

Au niveau des stations Adamna et Igrounzar, 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. 9 et 10).

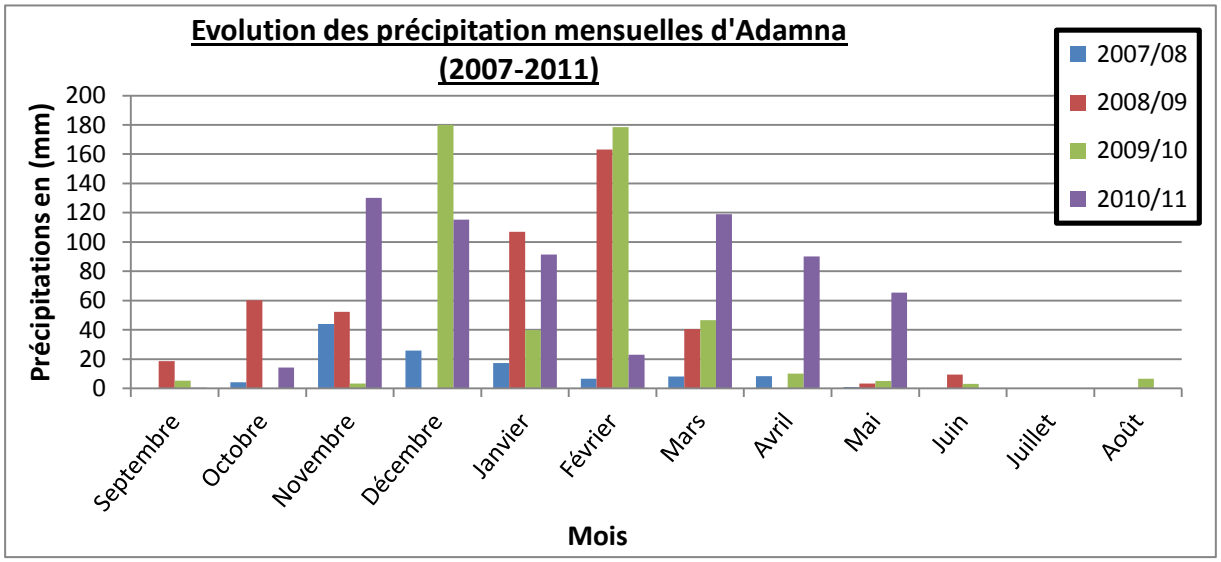

Figure 9 : Variation des précipitations mensuelles au niveau de la station Adamna (2007-2011)

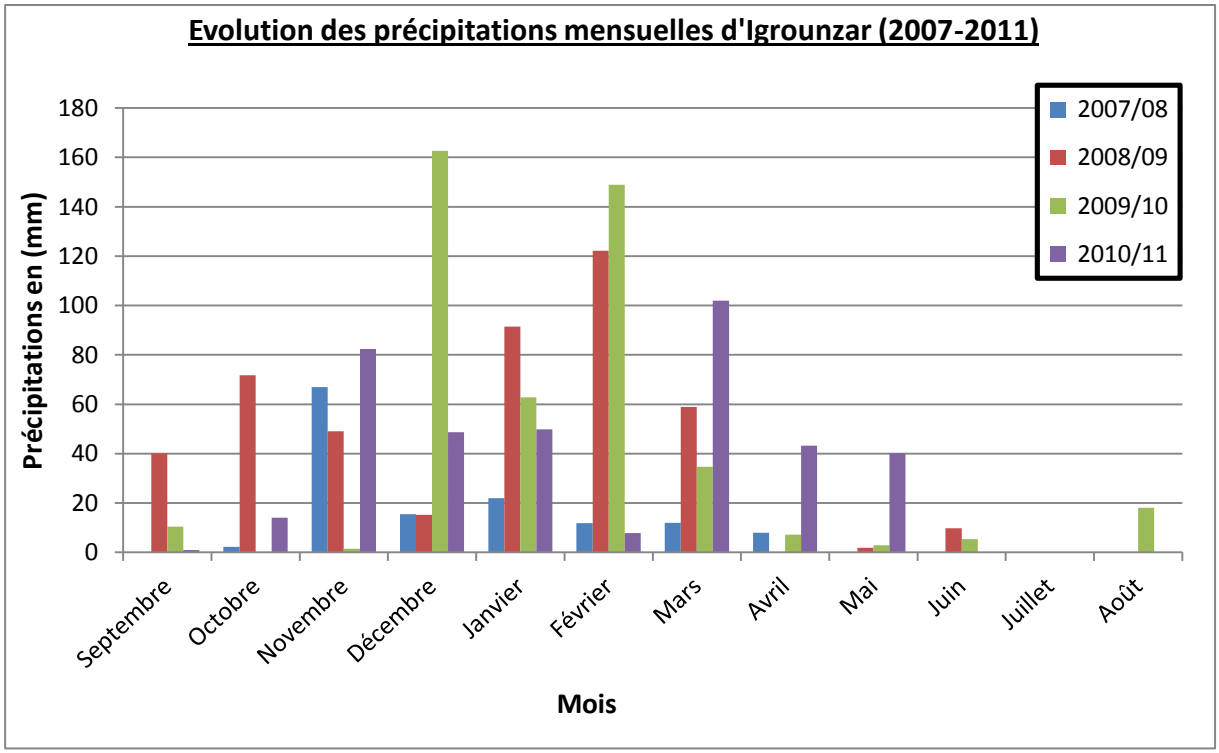

Figure 10 : Variation des précipitations mensuelles au niveau de la station Igrounzar (2007-2011)

Chapitre II : Numérisation de la topographie du secteur de la région Meskala-Kourimate

Parmi les objectifs principaux du stage, était la numérisation de la topographie délimitant la répartition de la nappe Meskala-Kourimate.

I-1 : Cartes topographiques utilisées

La nappe de Meskala-Kourimate s'étend sur 10 cartes topographiques au 1/50 000, qui sont :

- AÏT_DAOUD
- BOUABOUT
- EL_KHEMIS_DES_MESKALA
- ESSAOUIRA
- NEKNAFA
- RAS_SIM
- SIDI_MOKTAR
- TALMEST
- TLETA_HANNCHENE
- ICHEMRARN

I-2 Logiciels utilisés

Pour assurer la numérisation de la topographie, plusieurs logiciels ont été utilisés, parmi eux on peut citer :

- **Adobe Photoshop**
- **Global Mapper**
- **Arc gis**
- **Surfer**

I-3 Etapes de réalisation de la carte topographique numérisée

Pour la réalisation de la carte topographique numérisée et afin d'y superposer la limite de la nappe meskala-kourimate, nous avons suivi les étapes ci-dessous :

- La première étape était d'effacer les limites de chaque carte à l'aide du logiciel Photoshop, en utilisant l'outil gomme, puis on enregistre la carte sous forme PNG (fig. 11).

- La deuxième étape a pour but de géoréférencer les cartes enregistrées sous forme PNG. Cette étape est réalisée avec le logiciel Global Mapper. On transforme les coordonnées géographiques dans les cartes topographiques en coordonnées Lambert, puis on fait entrer les coordonnées de 4 points (fig. 12).

- La dernière étape consiste à superposer la limite de nappe sur la carte topographique. On utilise le logiciel Arc Gis, où on importe toutes les cartes et aussi la limite de la nappe (fig. 13). Pour ajouter les piézomètres, on a créé un fichier Excel avec le N°IRE

et les coordonnées de chaque piézomètre et on a intégrer le tableau dans l'Arc Gis (fig. 14).

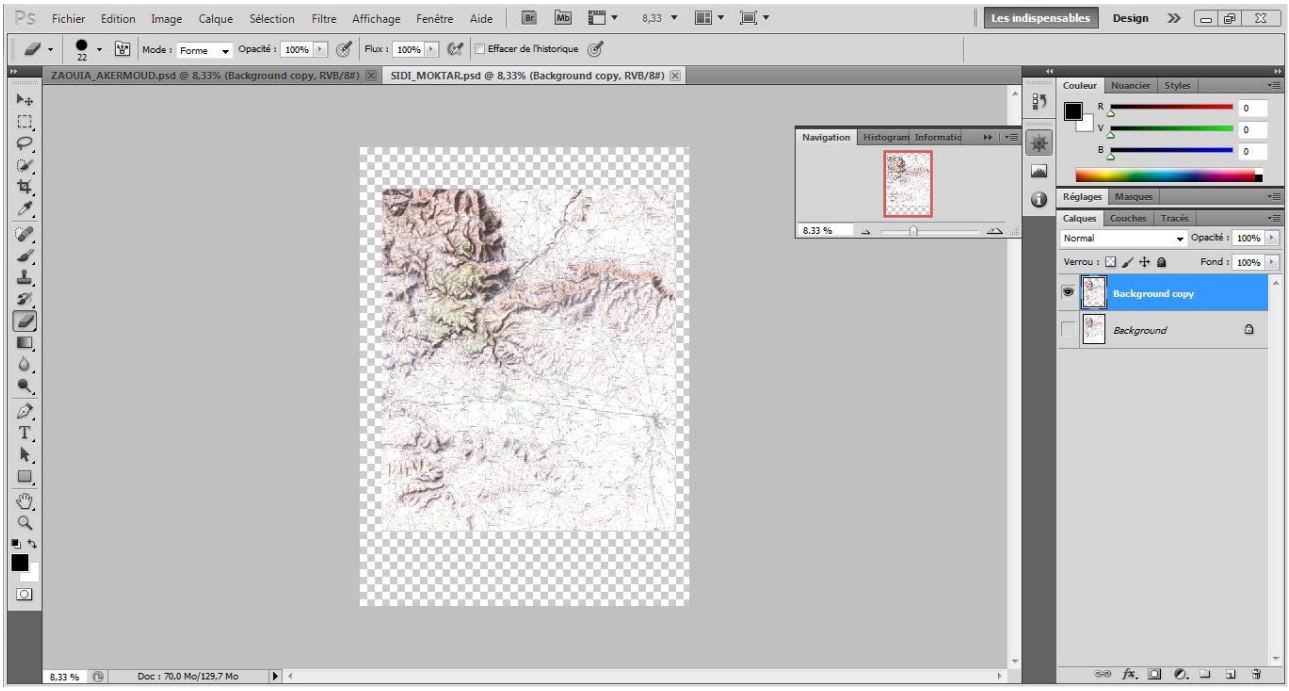

Figure 11 : Etape 1 de la numérisation des cartes topographiques : effacement des limites des cartes

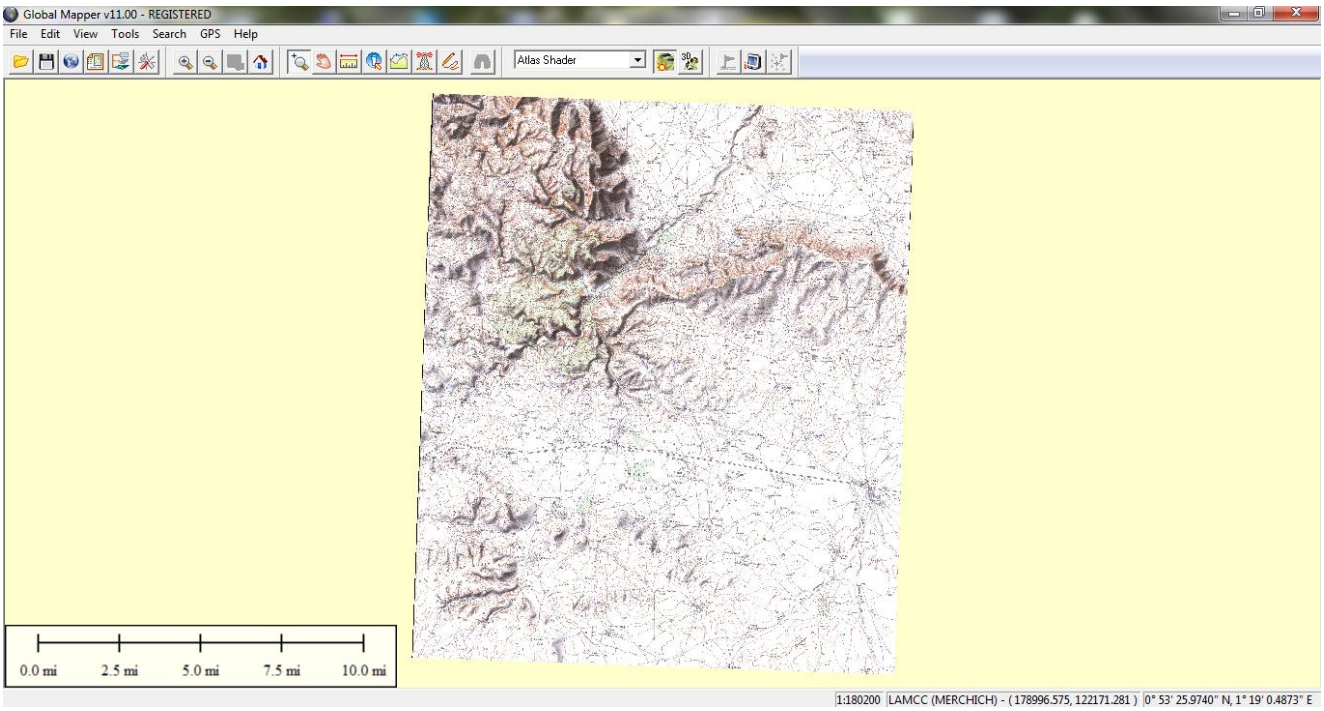

Figure 12 : Etape 2 de la numérisation des cartes topographiques : géoréférencement des cartes

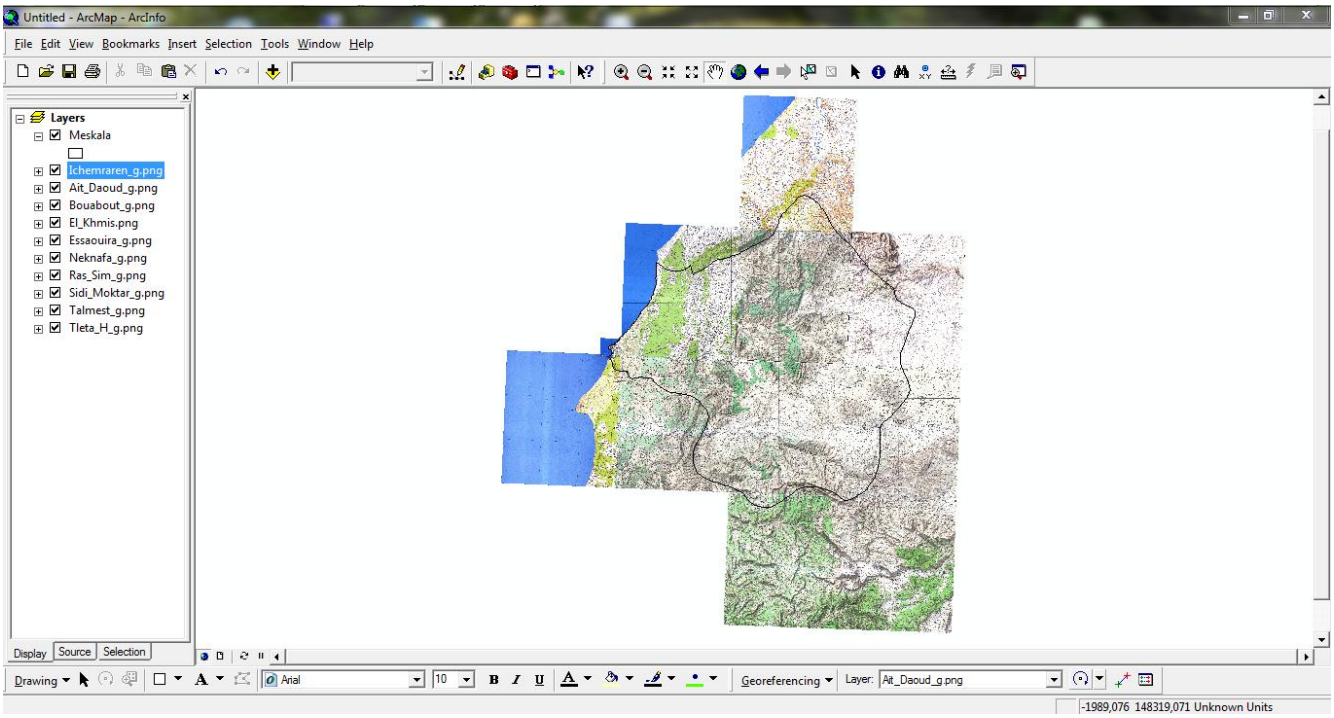

Figure 13 : Etape 3 de la numérisation des cartes topographiques : rassemblement des cartes et délimitation de la nappe Meskala-Kourimate

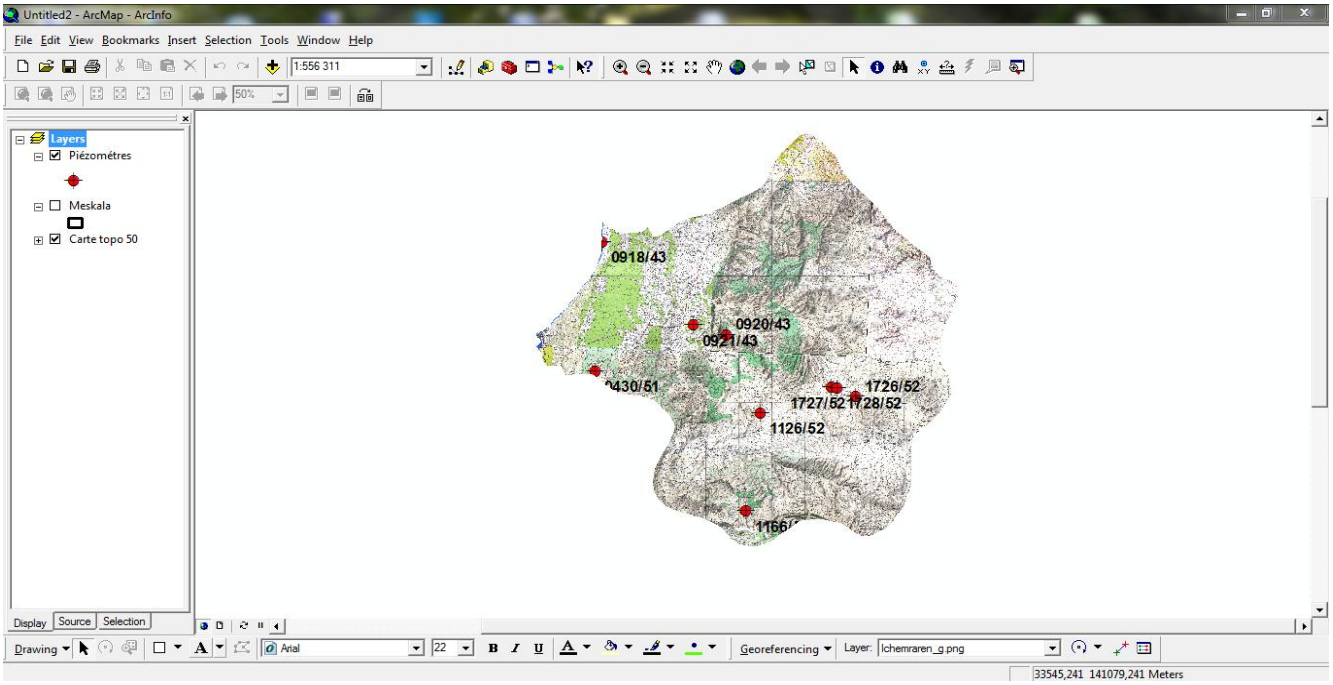

Figure 14 : Etape 4: Ajout des piézomètres à la zone de délimitation de la nappe Meskala-Kourimate

Apres avoir coupé les limites débordantes des cartes, on ajoute un titre et une légende et on obtient la carte numérisée suivante (fig. 15) :

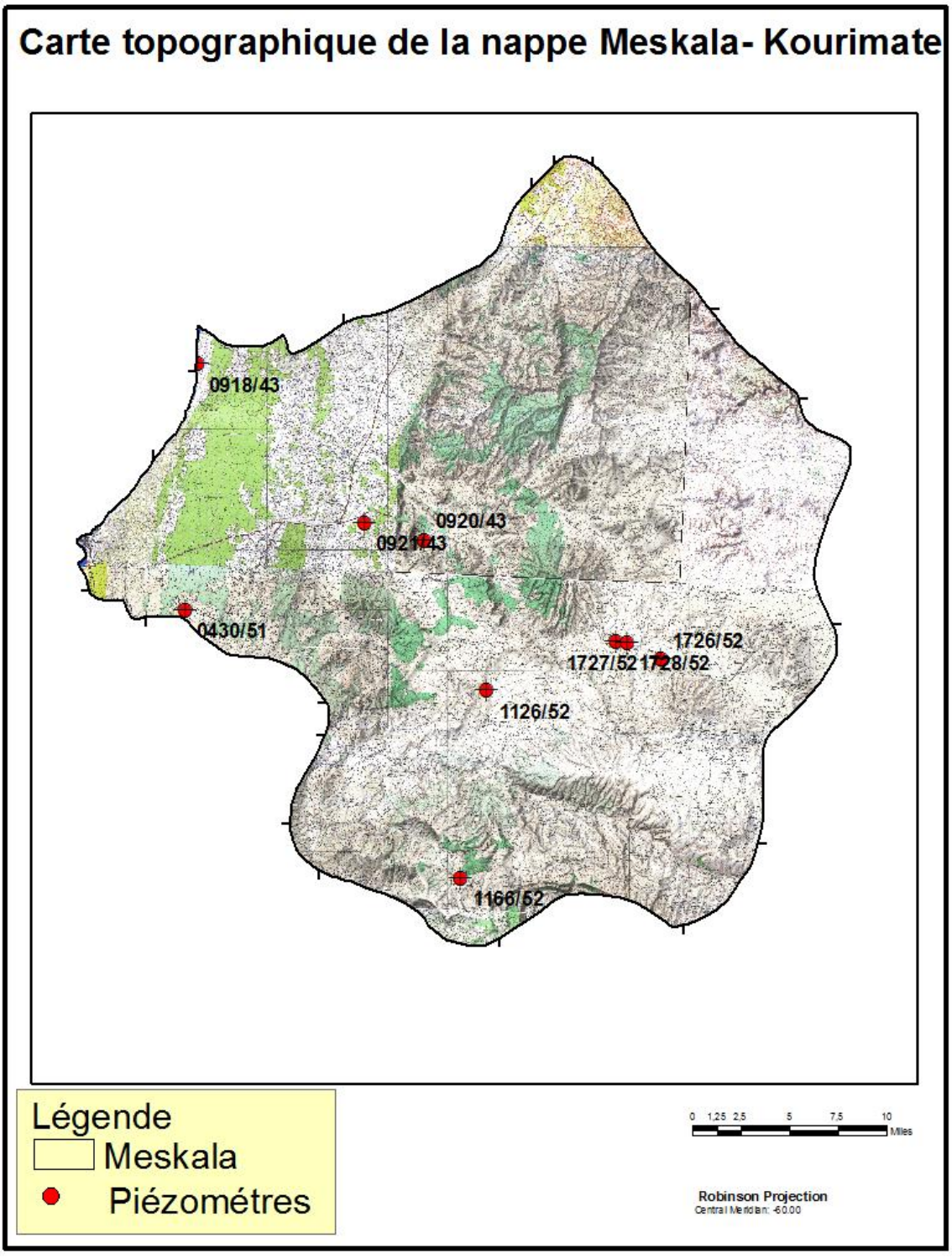

Figure 15: Carte topographique numérisée de la nappe Meskala-kourimate

Chapitre III : Etude de la nappe Meskala-Kourimate

L'étude de la nappe de Meskala-Kourimate présentée ci-dessous repose essentiellement sur les données partielles et incomplètes mises à notre disponibilité, couvrant uniquement 12 piézomètres dont la répartition spatiale est déséquilibrée (fig. 15). De même, la chronique des données est pauvre. Ainsi, on avait recours des fois aux données bibliographiques pour compléter notre étude sur cette nappe.

I- Cartes piézométriques de la nappe et évolution temporelle du niveau piézométrique

I-1 Elaboration des cartes piézométriques

Pour l'élaboration des cartes piézométriques, on a réalisé un tableau Excel qui contient le N° IRE, les coordonnées correspondantes et le niveau piézométrique (profondeur) de chaque piézomètre (tabl. 4).

Tableau 4 : Tableau des coordonnées des piézomètres et leurs niveaux piézométriques

N°IRE	Coordonnées		NP (m)
	X	Y	
0093/51	92458	101883	29,65
0428/51	93536,52	101472,21	49,55
0430/51	93297,32	104911,35	16,4
0918/43	94334	125320	139,58
0919/43	100452	135072	66,48
0920/43	113121	110679	1,78
0921/43	108173	112165	14,5
1126/52	118298,62	98273,31	74,02
1166/52	116091,32	82768,09	10,5
1726/52	132702,61	100941,25	39,3
1727/52	129033,26	102307,08	25,91
1728/52	129907,42	102265,03	39,13

Grace au logiciel Surfer, on a pu transformer le fichier Excel sous format « grille » et on a utilisé la fonction « Map → contour map » de surfer. Une fois le fichier « gridé » est ouvert, on obtient les deux cartes désirées, celles de Mars 2010 et de Mars 2012 (fig. 16 et 17).

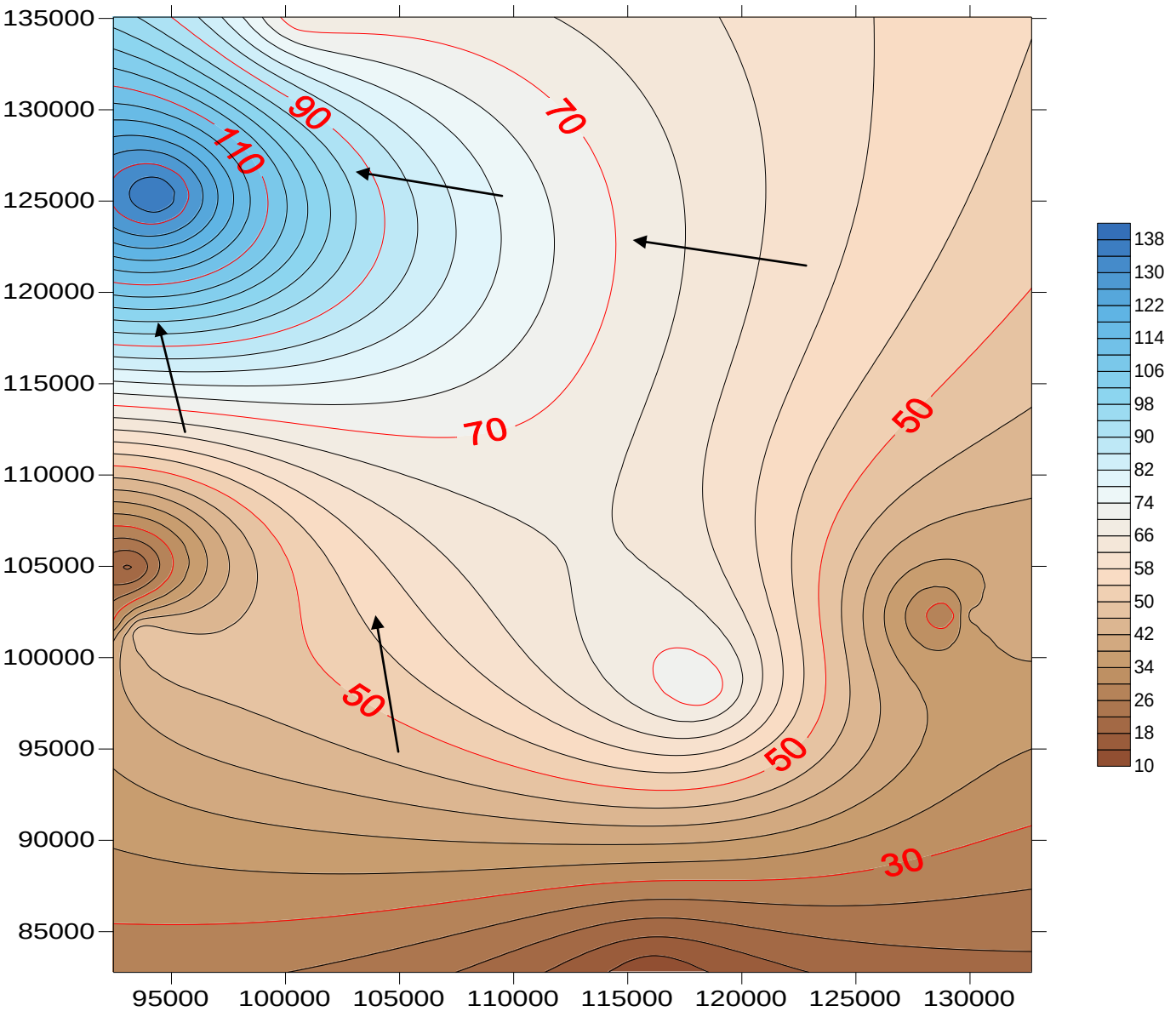

Figure 16: Carte piézométrique de la nappe Meskala-Kourimate au mois de Mars 2012

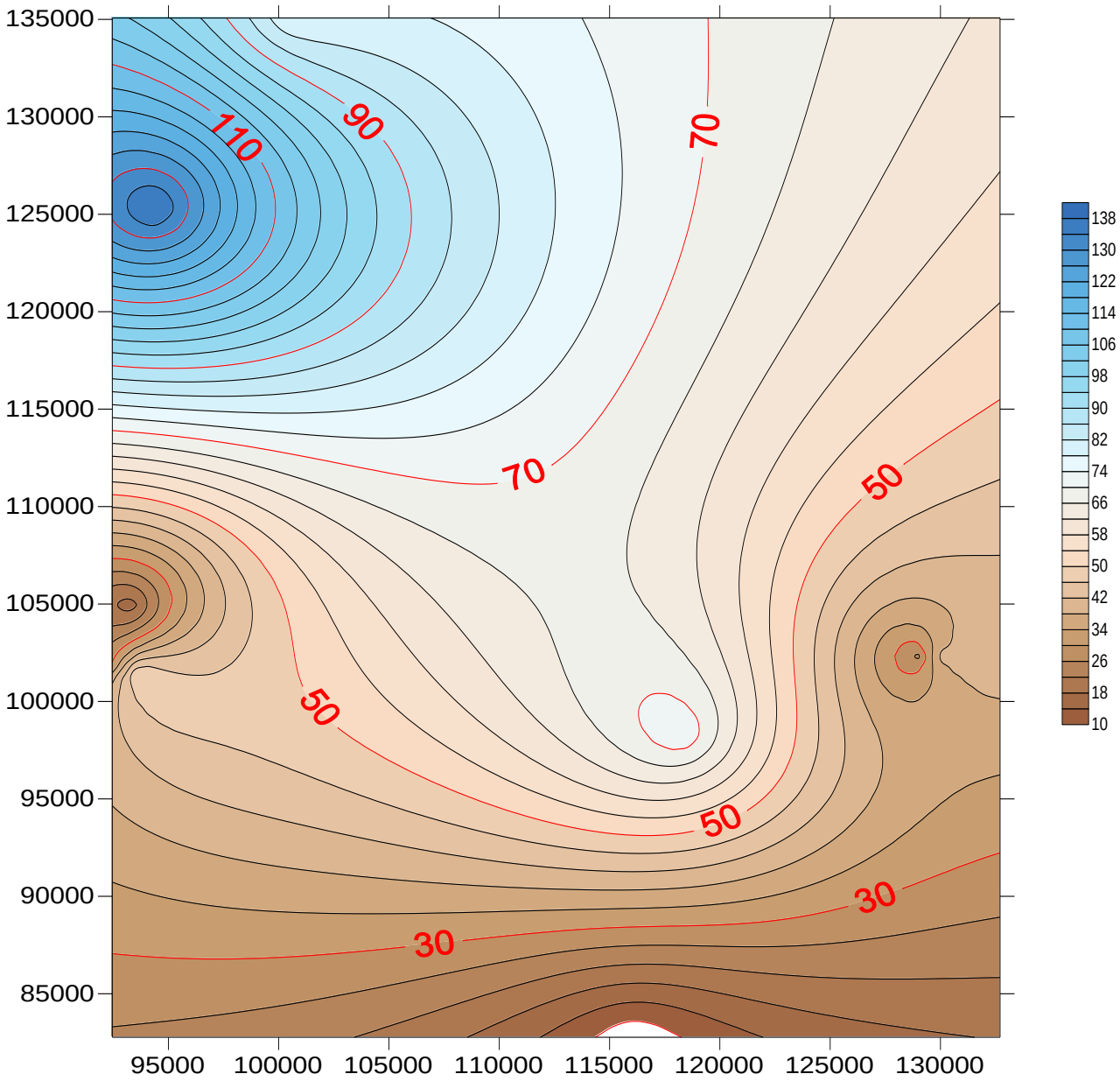

Figure 17: Carte piézométrique de la nappe Meskala-Kourimate au mois de Mars 2010

On remarque au niveau des deux cartes qu'on n'a pas un grand changement pendant les deux dernières années. Le niveau piézométrique est resté un peu pré stable surtout dans la partie sud de la carte où le niveau piézométrique est resté élevé. En revanche, dans la partie nord on remarque une légère baisse de l'année 2010 à 2012.

Globalement la tendance piézométrique de cette nappe de Meskala-kourimate reste relativement stable et les baisses enregistrées sont plus ou moins amorties.

D'après les deux cartes on constate que l'écoulement général de la nappe se fait du Sud-est vers le Nord-ouest vers la nappe côtière.

.

I-2 Evolution du niveau piézométrique à Adamna (piézomètre IRE 430/51)

Vue la disponibilité des données du suivi du niveau piézométrique au sein du piézomètre IRE 430/51, une analyse comparative de ces données a été réalisée.

Depuis l'année 2007 à 2011, on constate que l'évolution du niveau piézométrique dans la nappe Meskala-kourimate pendant les mois Mai, Juillet et Septembre au niveau du piézomètre N°IRE 430/51 (Adamna) varie de la même façon (fig. 18, 19 et 20). En 2007, le niveau piézométrique était d'environ 14,72 m, il a subit une chute brusque en 2008 pour atteindre 17,4 m, ensuite le niveau piézométrique subit une remontée en 2009 jusqu'à 15,7 m. De 2009 à 2011 le niveau piézométrique a resté plus ou moins stable. En ce qui concerne les mois de Juillet et Septembre, le niveau piézométrique subit les mêmes changements.

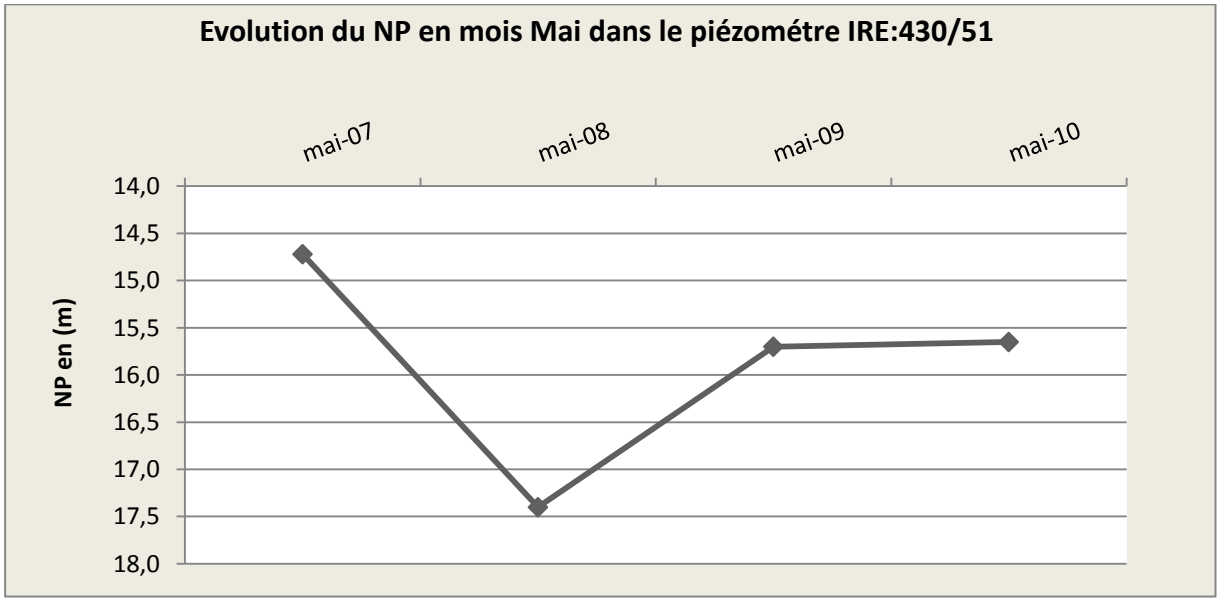

Figure 18 : Evolution du niveau piézométrique en mois de Mai dans le piézomètre IRE 430/51

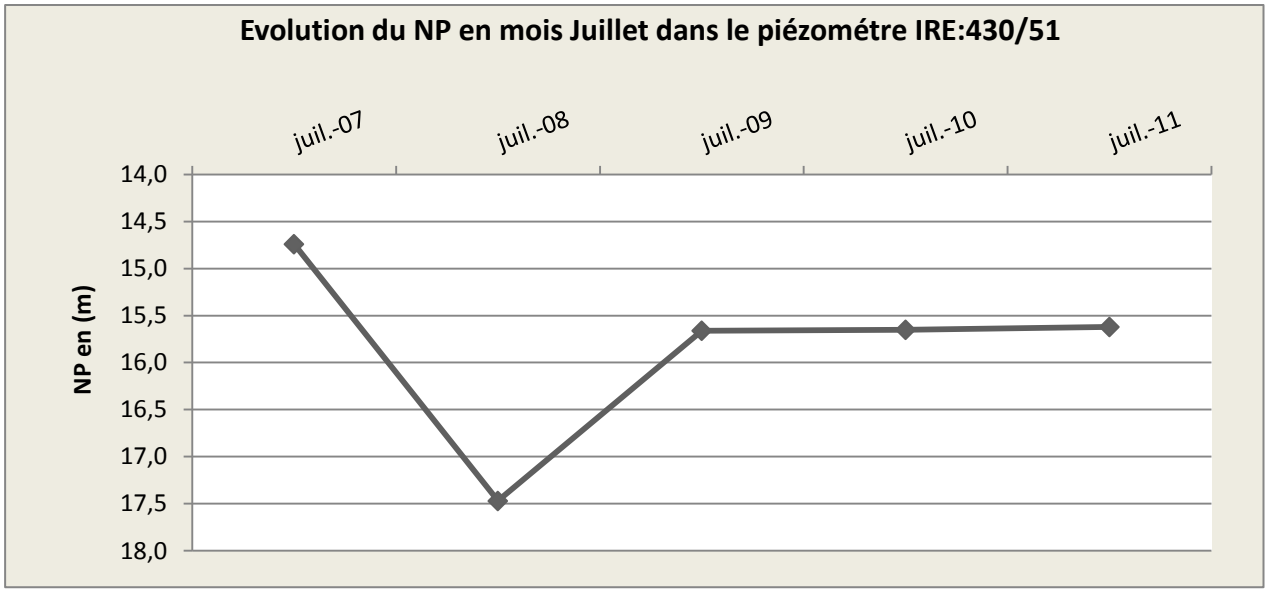

Figure 19 : Evolution du niveau piézométrique en mois de Juillet dans le piézomètre IRE 430/51

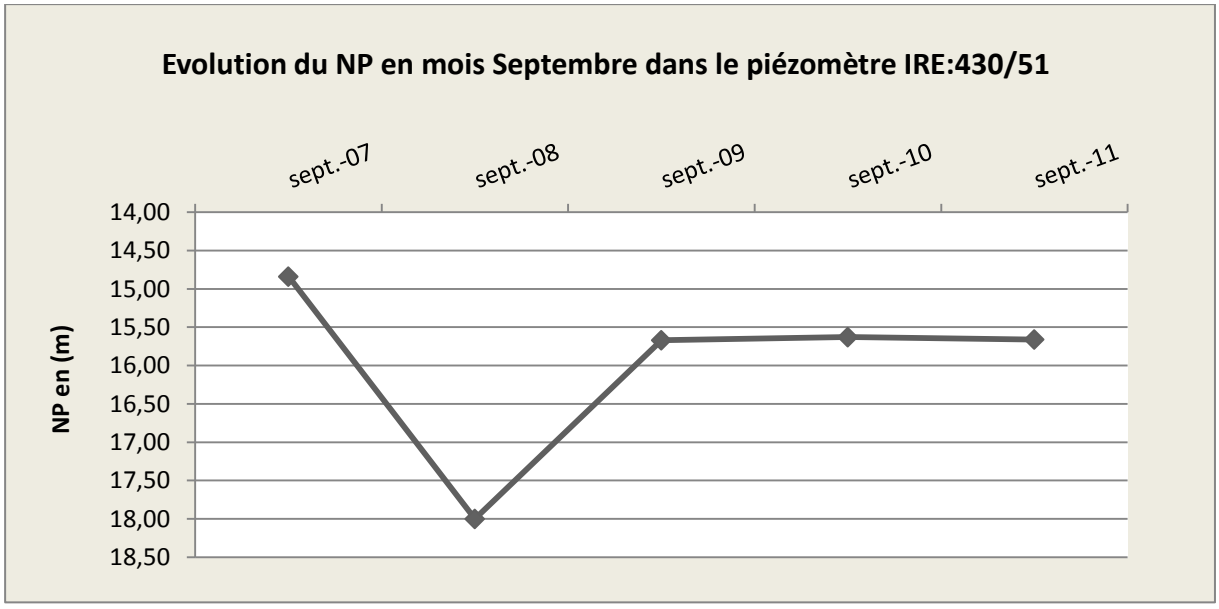

Figure 20 : Evolution du niveau piézométrique en mois de Septembre dans le piézomètre IRE 430/51

La représentation graphique de l'évolution du niveau piézométrique au cours des 4 dernières années au niveau du piézomètre IRE 430/51 (fig. 21) montre une baisse du niveau piézométrique pendant la majorité des mois de l'année 2008. Cette baisse peut être appréhendée par deux origines :

- La sécheresse que connait la région au cours des années 2007 et 2008 (fig. 7) et ses répercussions sur la recharge de la nappe ;
- Surexploitation de la nappe pour l'irrigation afin de palier l'impact de la sécheresse.

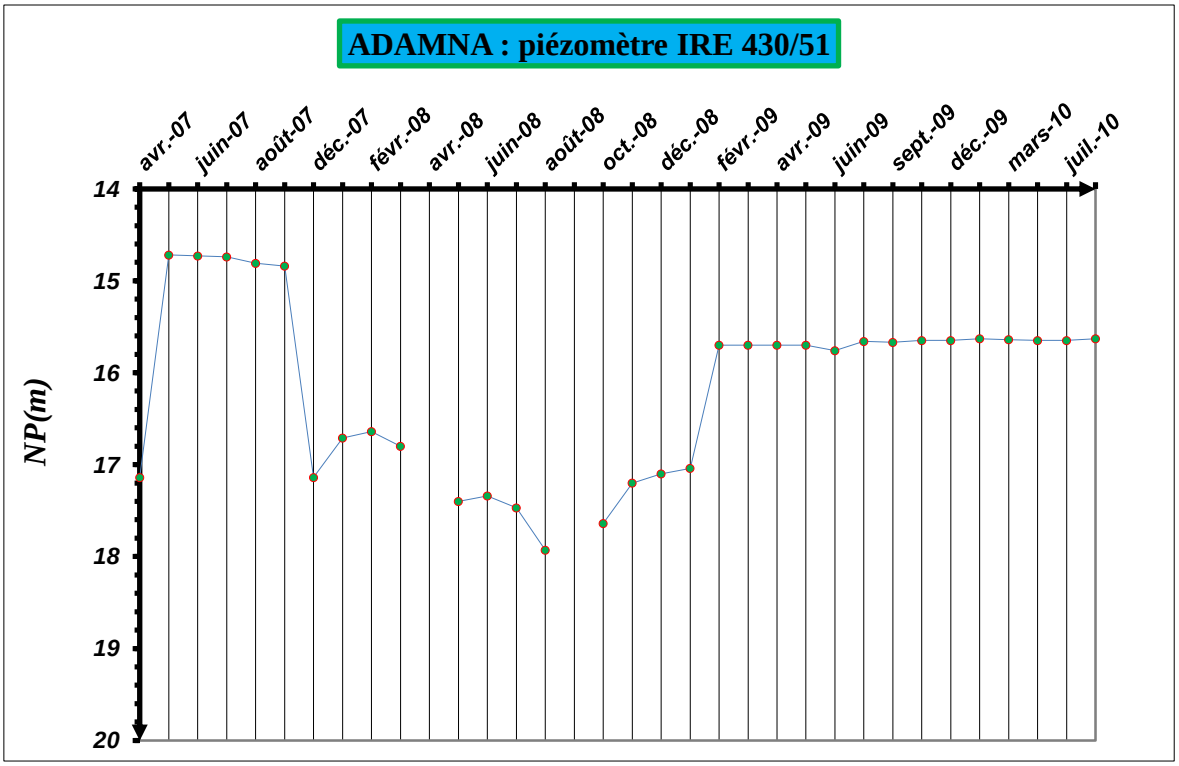

Figure 21 : Variation du niveau piézométrique depuis Avril 2007 à Juillet 2010 au niveau du piézomètre IRE 430/51

II- Caractéristiques hydrodynamique de la nappe

Suite au manque des données, on n'a pas pu effectuer les calculs nécessaires afin d'étudier les caractéristiques hydrodynamique de la nappe de Meskala-kourimate, à savoir : la transmissivité, la conductivité.

Mais en se référant aux données bibliographiques (M. Bahir, 2008) dans la région Meskala-kourimate, la trasnmissivité est comprises entre $2{,}20\cdot10^{-4}$ m²/s et $2{,}7\cdot10^{-1}$ m²/s. Les valeurs les plus fortes sont celles calculées au niveau du Turonien, pour l'aquifère du Cénomanien, les trasnmissivités varient de $2{,}20\cdot10^{-4}$ m²/s et $1{,}80\cdot10^{-3}$ m²/s. Cette différence de transmissivité entre le Turonien et le Cénomanien est du à l'hétérogénéité des faciès lithologiques des deux aquifères.

Le gradient hydraulique montre des variations dues à la nature lithologique du réservoir. Dans la partie amont du secteur Meskala-Kourimate (Sud-est), le gradient est relativement fort 2,4% ; c'est la zone d'alimentation du réservoir. Au centre ce gradient diminue pour atteindre 0,6%.

III- Caractéristiques hydro-chimiques de la nappe

III-1 Paramètres hydro-chimiques

Au cours du stage, on a disposé des données de 3 paramètres pour l'année 2008 couvrant une période de 7 mois au niveau du piézomètre IRE 430/51 (tabl. 5).

Tableau 5 : Paramètres hydro-chimiques au niveau du piézomètre IRE 430/51 (année 2008)

Mois	Cond. (µs/cm)	pH	O2 dissous (mg/l)	Minéralisation
Juin.-08	*2180*	*7,48*	*39,7*	*1526*
Juil.-08	*2120*	*7,37*	*40,9*	*1484*
Aout.-08	*2040*	*7,86*	*64,9*	*1428*
Sept.-08	*2020*	*7,9*	*70*	*1414*
Oct.-08	*2010*	*8*	*99*	*1407*
Nov.-08	*1930*	*7,7*	*47,5*	*1351*
Déc.-08	*1920*	*7,78*	*54,4*	*1344*

a) pH (évolution de juin 2008 à décembre 2008)

Le pH (potentiel hydrogène) mesure l'activité en ion H_3O^+, il renseigne sur la balance entre acide et base sur l'échelle de 0 à 14. Ce paramètre conditionne un grand nombre des équilibres physico-chimiques et dépend de la température et la profondeur de l'eau.

La figure 22 montre que le pH varie selon les mois de l'année de façon irrégulière. Il est relativement neutre a légèrement alcalin, il ne dépasse pas les normes marocaines (6,5<pH<9,2). Comme le pH est un paramètre thermo-dépendant (il croit de 8% /1°c), on constate que cela est le cas dans l'évolution de ce paramètre à Adamna (IRE 430/51).

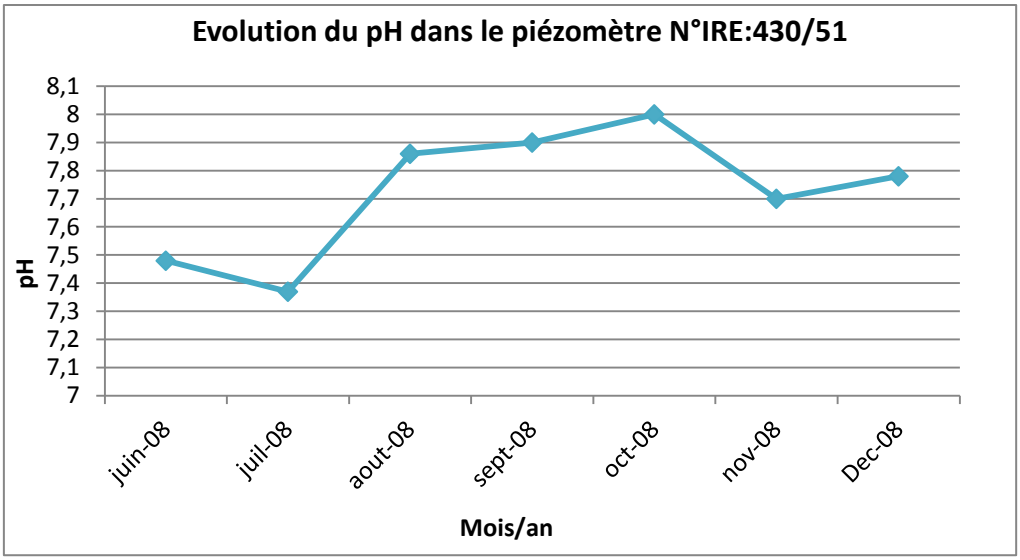

Figure 22 : Evolution du pH dans le piézomètre IRE 430/51

b) Conductivité (évolution de juin 2008 a décembre 2008) :

La conductivité mesure l'aptitude d'eau à conduire le courant entre deux électrodes, la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouve se forme d'ions chargés électriquement. La conductivité permet de donner une idée sur la qualité de sels dissous dans l'eau et aussi donne un aperçu sur la minéralisation d'une eau.

Pour calculer la minéralisation on utilise la relation suivante :

Minéralisation= K (µs/cm) x A avec A=0,7

La figure 23 montre une diminution de la conductivité au fil des mois, elle varie entre 1990 et 2200 µs/cm, ce qui implique une qualité moyenne pour l'eau dans ce piézomètre, la plus grande valeur est enregistrée en été tandis que la faible valeur se trouve en hiver. Ainsi, l'augmentation de la température implique l'augmentation de la conductivité. La conductivité peut aussi être influencée par la profondeur et le temps de séjour.

La minéralisation comme la conductivité évolue de la même façon, elle est influencée par les mêmes facteurs tels que la température et la profondeur.

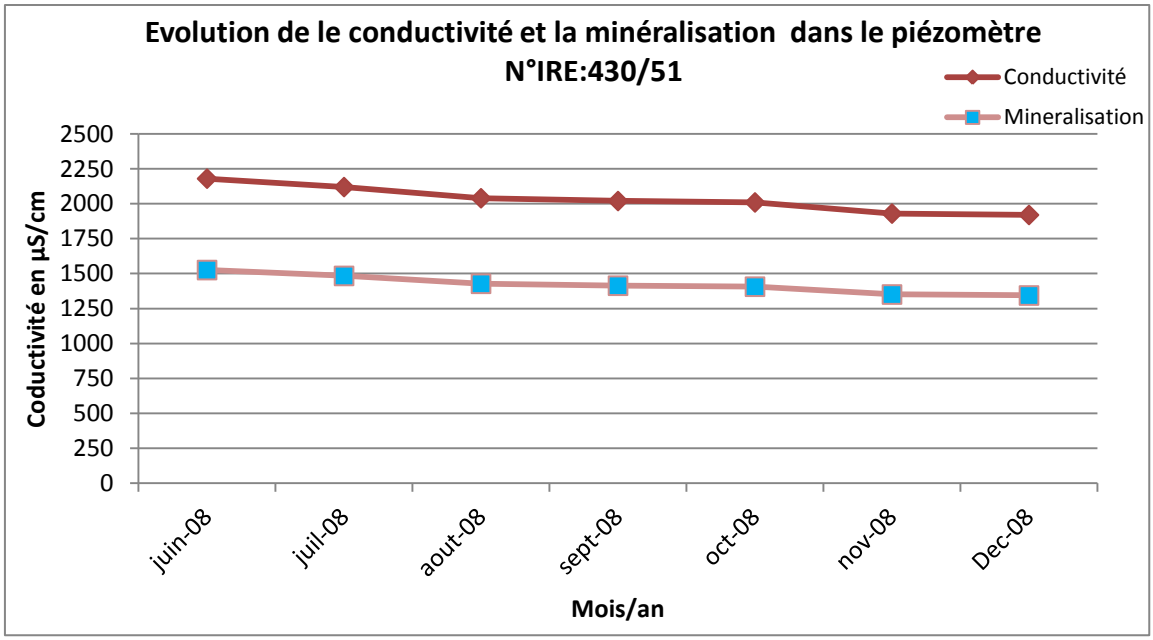

Figure 23 : Evolution de la conductivité dans le piézomètre IRE 430/51

c) O_2 dissous (évolution de juin 2008 a décembre 2008)

La figure 24 montre que l'O_2 dissous varie de façon irrégulière dans les mois de l'année. Elle évolue entre 40mg/l et 100mg/l. La quantité d'O_2 dissous diminue pendant les mois juin et juillet et continue d'augmenter pendant septembre et octobre.

L'O_2 dissous est généralement dépendant de plusieurs paramètres comme la température et la profondeur.

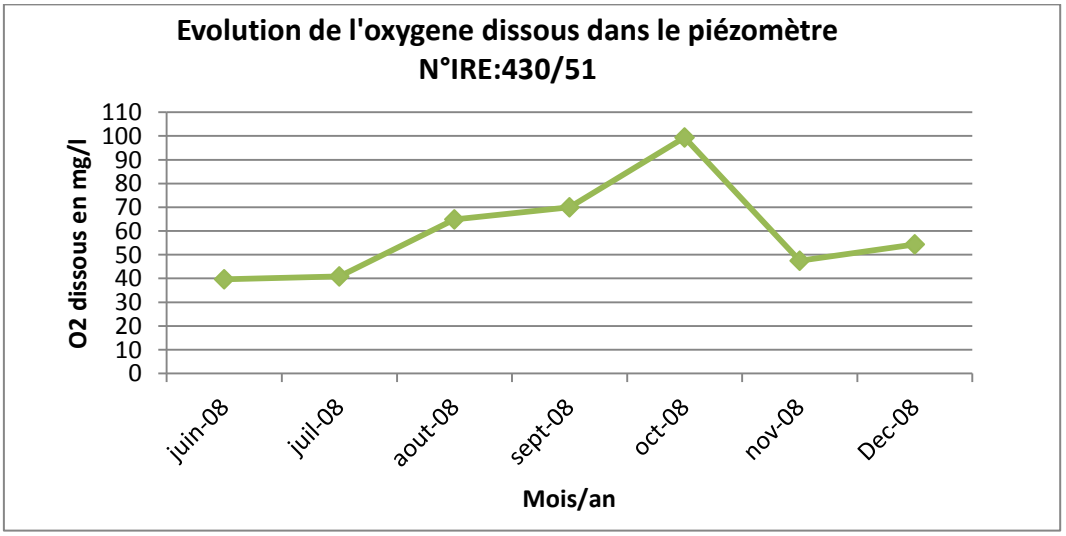

Figure 24 : Evolution de la conductivité dans le piézomètre IRE 430/51

III-2 Les nitrates

De point de vue de la qualité des eaux, les teneurs en nitrates de certains points d'eau dépassent la norme de 45 mg/l (M. Bahir, M. Jalal 2001). Les teneurs s'échelonnent entre 0,61 et 435,08 mg/l avec plus de 50% des points d'eau ayant des teneurs comprises entre 0 et 100 mg/l et plus de 60% d'échantillons qui dépassent la norme mondiale de potabilité. Ceci met en évidence la vulnérabilité de cet aquifère et sa pollution ponctuelle par les nitrates qui serait due aux activités pastorales et domestiques.

Or on sait que dans la région, il y a absence de toute activité industrielle et l'agriculture est très peu développée. La source potentielle de contamination des ouvrages hydrauliques sont les méthodes de puisage traditionnelles. Une autre cause de moindre importante peut être la pollution domestique notamment les fosses septiques.

Le risque de contamination de la nappe par les nitrates est en outre du au développement de l'habitat informel dans les grands centres ruraux. Ce qui a amené l'administration de l'hydraulique a créé, depuis 1990, un réseau de contrôle de la qualité aussi bien physico-chimique que bactériologique des eaux souterraines de la région de Meskala-Kourimate. Ce réseau quoique peu dense, au nombre de 3 points d'eau et d'un échantillonnage par an, permet de suivre l'évolution interannuelle des nitrates. Les trois points d'eau assurent l'alimentation en eau potable des agglomérations rurales dépassant les 10000 habitants, Ce sont les piézomètres dont les N°IRE sont 75/52, 430/52,434/52. L'évolution des teneurs en nitrates, au sein de ces piézomètres, montre que les fluctuations sont très importantes d'une année à l'autre et sont supérieures à la norme de potabilité admise par l'O.M.S (45mg/l).

III-3 Faciès chimiques des eaux

Le diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer la composition chimique des eaux. Dans ce diagramme on représente des cations et des anions sur deux triangles dont les côtes présentent les teneurs relatives de chaque ion majeur par rapport au total des ions. Puis on projette les points dans le losange qui nous précisera la dominance cationique et anionique et les faciès de l'eau concernée.

Les faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe Meskala-kourimate sont très variés en fonction de la lithologie des terrains traversés. Les eaux du Turonien ont un faciès mixte bicarbonaté calcique et chloruré ou magnésien à franchement sulfaté calcique (M. Bahir, 2008) (fig. 25). Les teneurs fortes en sulfates dépassent 2g /l enregistrés dans certains puits sont liées à la dissolution des évaporites contenues dans le Cénomanien.

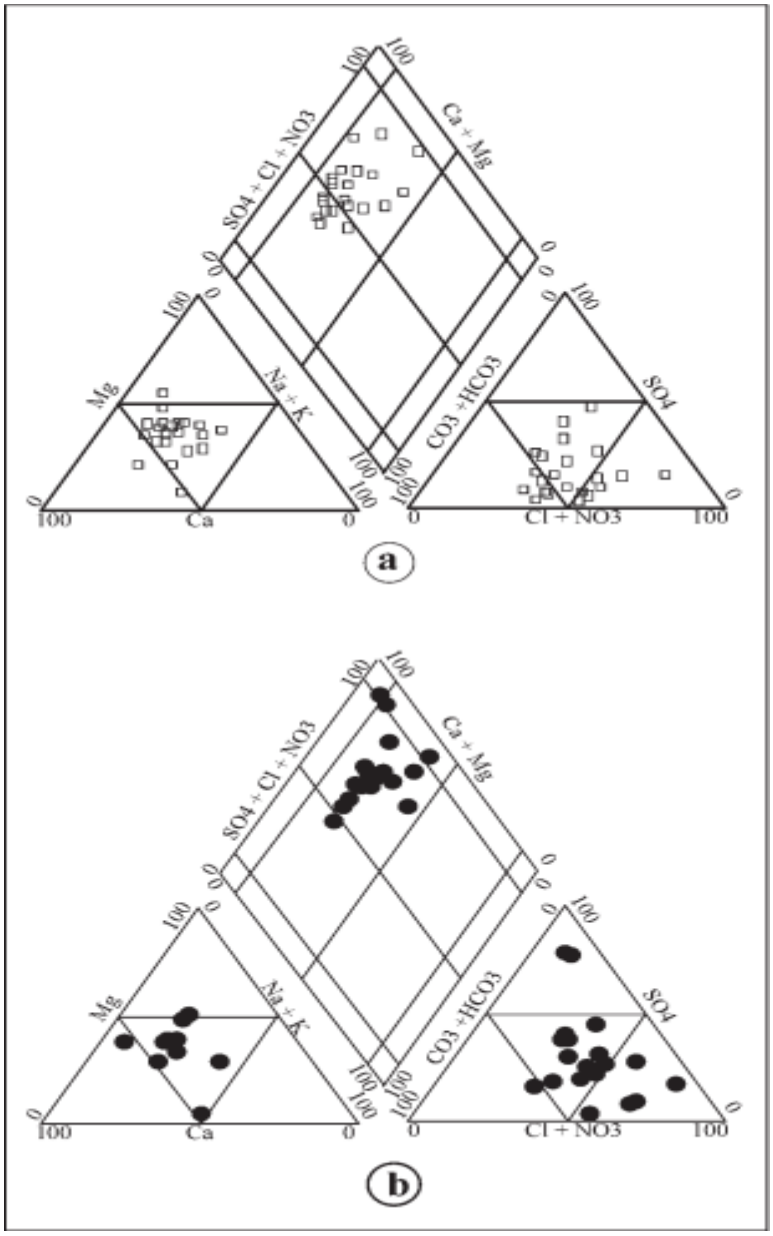

Figure 25 : Faciès chimiques des eaux de la nappe Meskala-Kourimate. a) Turonien; b) Cénomanien (Bahir et al. 2001)

III-4 Qualité des eaux

Les eaux souterraines de la région de Meskala-Kourimate constituent la seule ressource pour l'approvisionnement en eau potable des différentes agglomérations rurales et pour l'irrigation. De ce fait, il est intéressant d'étudier la qualité de ces eaux.

La grille du tableau 6 représente les critères de la qualité des eaux souterraines en fonction des paramètres suivants :

- Conductivité
- Cl, NO3-, NH4+,
- MO : Matière organique
- CF : Paramètres bactériologiques

Tableau 6 : La grille des normes de la qualité des eaux souterraines

Grille de qualité des eaux souterraines

Paramètre Qualité	Conductivité (µs/cm)	Cl^- (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	MO (mg/l)	CF (/100ml)
Excellente	< 400	<200	< 5	≤ 0,1	< 3	≤ 20
Bonne	400- 1300	200-300	5-25	0,1-0,5	3-5	20-2000
Moyenne	1300-2700	300-750	25-50	0,5-2	5-8	2000-20.000
Mauvaise	2700-3000	750-1000	>50	2-8	>8	>20.000
Très mauvaise	> 3000	>1000	-	>8	-	-

Concernant la potabilité de ces eaux et en utilisant les normes nationales de la Direction Générale de l'Hydraulique, on note que les eaux du synclinal de Kourimate sont de moyenne à bonne qualité selon la minéralisation globale, conductivité électrique et selon leur teneur en chlorures. Selon leur concentration en nitrates, elles sont de moyenne à mauvaise qualité pour 80% des puits prospectés, et 65% dépassent la norme OMS de 45 mg/l (Smaij, 2011). La pollution par les nitrates serait surtout d'origine domestique et liée à la mauvaise protection des puits. Pour la conductivité la qualité est moyenne parce que 1900<K<2200(µs/cm). La minéralisation des eaux de cette nappe est élevée (88%) des puits.

La qualité globale des eaux de cette nappe est assez dégradée pour la quasi-totalité des points, bien qu'elle présente une bonne qualité organique et bactériologique.

Chapitre IV : Bilan hydrique de la nappe Meskala-Kourimate

I- Entrées

On remarque dans le cas de la nappe Meskala-Kourimate, la seule manière dont la nappe s'alimente est l'infiltration directe. Cette alimentation s'effectue à partir de l'infiltration des pluies et le long de l'oued Igrounzar au sud de Meskala et aussi à partir de l'aquifère plio-quaternaire sus-jacent (tabl. 7).

Tableau 7 : Entrées de la nappe Meskala-Kourimate

Entrées	Meskala-Kourimate
Infiltration directe	49,1 Mm³

II- Sorties

a) Eau potable

Les prélèvements actuels pour l'alimentation en eau dans la nappe Meskala-Kourimate sont évalués à près de 6 Mm³/an, Depuis le démarrage du PAGER en 1995, le taux d'accès à l'eau potable en milieu rural ne cesse de s'améliorer pour atteindre pratiquement 50% à fin 2005. Les prélèvements pour l'approvisionnement des populations rurales sont assurés exclusivement à partir des eaux souterraines.

Les prélèvements en 2007 étaient de 4,39 Mm³ et ont subie une augmentation au fil des années pour atteindre 6,5 Mm³ en 2011, Cette augmentation est due en premier lieu à l'augmentation démographique qu'a subit la région ces dernières années (fig. 26).

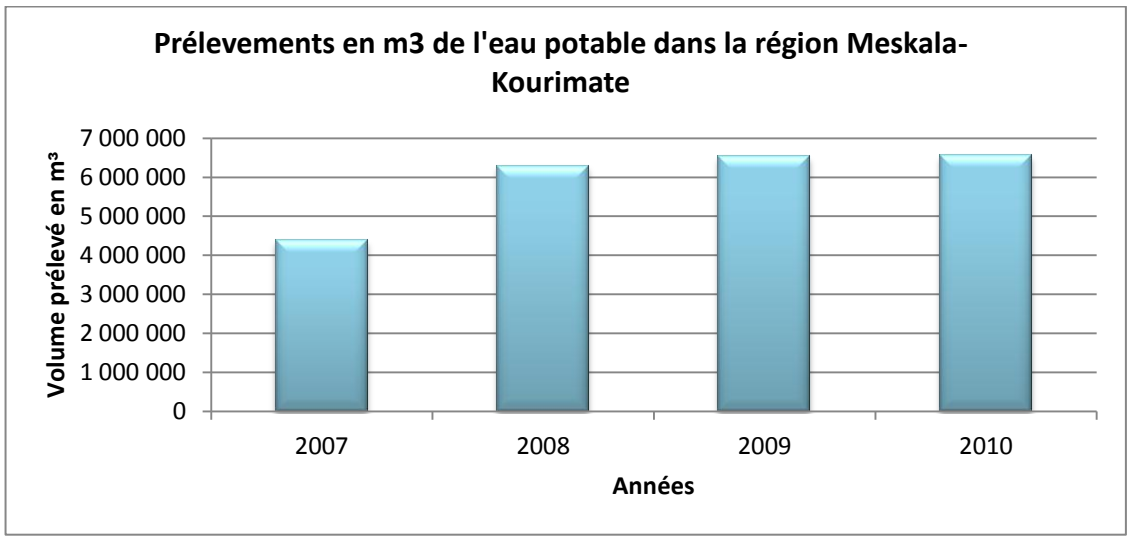

Figure 26 : Prélèvements en m³ de l'eau potable dans la région Meskala-Kourimate

Les prévisions de la demande en eau potable et industrielle à l'horizon 2020 ont été effectuées sur la base des projections démographiques établies pour le bassin. Les objectifs pris en compte visent à atteindre dans les centres urbains des taux de branchement de 80% à 90%, d'améliorer l'efficience des réseaux de distribution pour relever les niveaux de rendement à 71% ou 80% et, enfin, généraliser l'accès à l'eau potable de la population rurale à partir de l'an 2007.

- Pour les agglomérations urbaines du bassin, les besoins en potable et industrielle sont évalués, dans l'ensemble, à près de 7 Mm³ en l'an 2020.
- En milieu rural, les prévisions de la demande en eau potable sont établies conformément aux objectifs arrêtés par le plan directeur d'alimentation en eau potable des populations rurales qui vise la généralisation de l'accès à l'eau potable à partir de l'an 2007. Sur la base d'une dotation de 56 l/hab. /j pour les branchements particuliers, 37 l/hab. /j pour les bornes fontaines, 15 l/hab. /j pour les autres systèmes d'AEP et une dotation de 20 l/tête/j pour le cheptel. La demande en potable du milieu rural s'élèverait en l'an 2020 à près de 7 Mm³.
- La demande en eau des unités industrielles s'élèverait, en l'an 2020, à près de 7,5 Mm³ destinés à la future centrale nucléaire projetée au site de Sidi Boulabra pour la production d'électricité.

Le développement socio-économique que connaît le bassin a engendré une évolution importante des besoins en eau, aussi bien dans le secteur de l'approvisionnement en eau potable.

b) Irrigation

La superficie irriguée dans le bassin s'élève à près de 3000 ha (60% des surfaces cultivées), totalement en petite et moyenne hydraulique (fig. 27). Les besoins en eau pour l'irrigation évalués à environ 19 Mm³/an dont 9 Mm³/an sont assurés par des pompages et 10 Mm³ par prélèvement au fil de l'eau. Cependant, le volume des eaux souterraines réellement exploité pour des fins d'irrigation dépasse 100 Mm³/an.

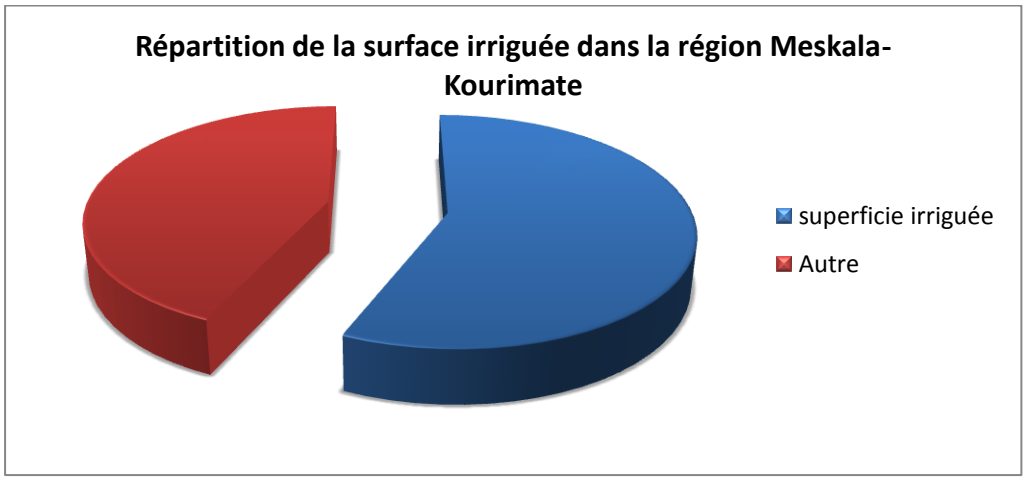

Figure 27 : Répartition de la surface irriguée dans la région Meskala-Kourimate

Le tableau 8 et la figure 28 résument les prélèvements qui s'opèrent au niveau de quelques communes de la région de Meskala-Kourimate (ABHT).

Tableau 8 : Taux des prélèvements dans quelques communes de la région Meskala-Kourimate

Commune	Volume prélevé en m³
Ait Said	148 986,00
Had Dra	597 351,00
Douirane	6 292,00
Kechtoula	131 342,00
Korimate	1 317 580,00
Lagdadra	42 292,00
Lahsinate	165 164,00
Meskala	371 586,00
Mouarid	1 086 068,00
OuladMrabet	1 225 603,00
Ounagha	350 141,00
Tafetachte	163 310,00
Somme des prélèvements	**5 605 715,00**

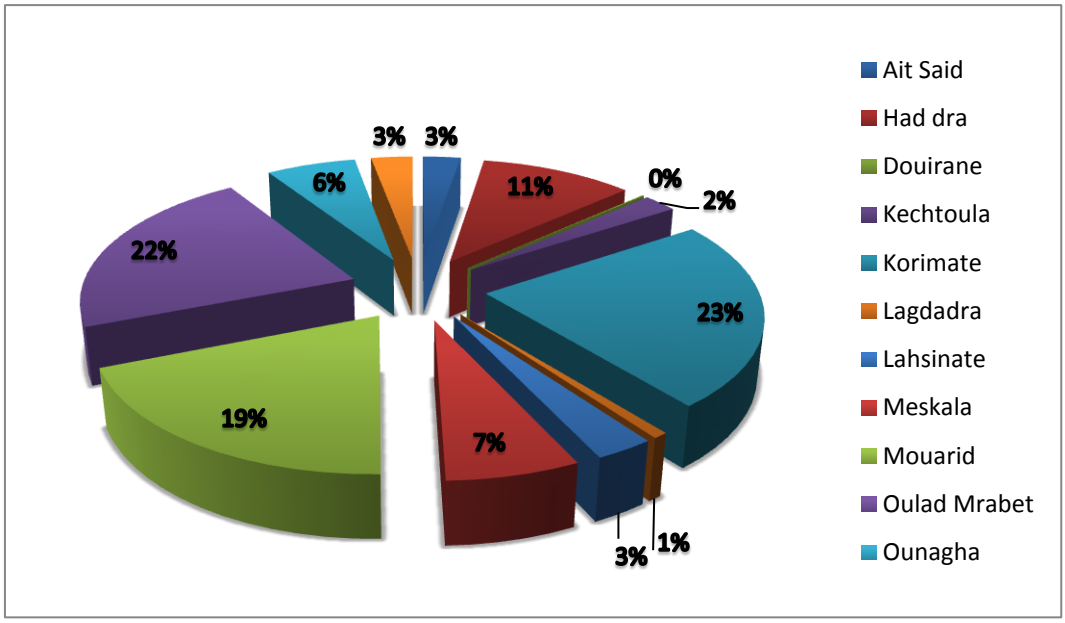

Figure 28 : Répartition en % des volumes prélevés (en m3) pour l'irrigation dans certaines communes de la région Meskala-Kourimate (ABHT)

Les besoins en eau d'irrigation des périmètres modernes de petite et moyenne hydraulique (PMH) (3000 ha) sont estimés à 21 Mm³/an à l'horizon 2020. Quant à la PMH traditionnelle qui s'étendrait en 2020 sur près de 1.250 ha, ses besoins en eau sont estimés à 7 Mm³/an.

III- Bilan Hydraulique du système aquifère Meskala-kourimate

En dressant le bilan ci-dessous des entrées et sorties au niveau de la nappe Meskala-Kourimate, on constate que les eaux souterraines sont surexploitées (fig. 29).

Entrées	Meskala-Kourimate
Infiltration directe	49,1 Mm³

.

Sorties	Meskala-Kourimate
Sources et khéttaras	20 Mm³
Prélèvements AEP	6 Mm³
Prélèvements irrigation	30 Mm³
Sorties latérales	19 Mm³
Total	75 Mm³

Tableau 10 : Sorties de la nappe Meskala-Kourimate

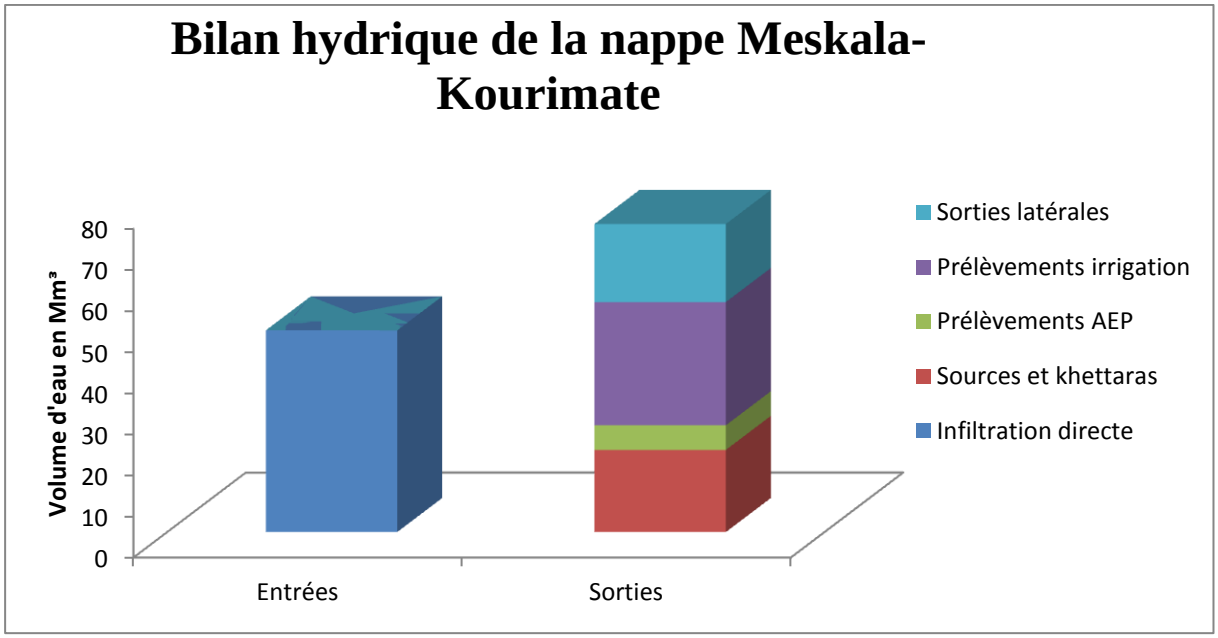

Figure 29 : Bilan hydraulique du système aquifère de Meskala-Kourimate

Conclusion et Recommandations

L'étude effectuée sur la nappe de Meskala-Kourimate a permis de mettre en évidence ces caractéristiques que ce soit sur le plan géologique, hydrogéologique et hydro-chimique. Elle contient des formations aquifères datant du crétacé et surtout du Turonien et Cénomanien. Cette nappe fait partie d'un system aquifère complexe résultant de plusieurs déformations et phénomènes géologiques.

Sur le plan hydrologique, la nappe se situe dans le bassin versant de Ksob qui est représenté par les oueds Igrounzar et Zelten 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 deux stations Adamna et Igrounzar et les températures moyennes mensuelles varient entre 17 et 20°C. Le climat de la région est aride à semi aride.

L'étude piézométrique menée sur les deux dernières années montre que le niveau piézométrique global de la nappe n'a pas subi un grand changement.

Pour les paramètres hydro-chimiques, on a remarqué que le pH reste neutre à légèrement alcalin. La conductivité varie de 1900 a 2100 (µs/cm) et l'O2 dissous varie de façon irrégulière et en fonction de la température.

La plus grande source de pollution dans cette nappe c'est les nitrates dont l'origine potentille serait liée à la mauvaise protection des ouvrages hydrauliques et à la pollution domestique.

En ce qui concerne la qualité d'eau de cette nappe, elle est de moyenne à mauvaise qualité dans la plupart des puits en raison de la présence excessive des nitrates dans la nappe.

Pour le bilan hydrique, la nappe est surexploitée ce qui impose quelques recommandations pour la gestion et la préservation de cette ressource :

- Délimitation de la consommation annuelle des eaux souterraines de la nappe, ceci par une restriction des eaux destinées à l'irrigation en imposant le procédé goutte à goutte et intensifier l'irrigation à partir du réseau de séguias ;
- Réaliser une étude sur les possibilités de recharge artificielle de la nappe.

Références bibliographiques

-M. Bahir1, P. Carreira2, M. Oliveira da Silva3, P. Fernandes2 (2008) : Caractérisation hydrodynamique, hydrochimique et isotopique du système aquifère de Kourimate (Bassin d'Essaouira, Maroc)

-Zakaria SMAIJ (2011) : Rapport Typologie de la qualité des ressources en eaux du bassin de Tensift Al-Haouz et cadre juridique de protection et de préservation

-Thèse de M. JALAL (2001). « Potentialités hydrogéologiques de l'aquifère Cénomano-Turonien du bassin synclinal de Meskala- Kourimate-Ida Ou Zemzem (Essaouira, Maroc) ». (C.E.A Géosciences et matières premières). Université Cadi Ayyad – F.S.S.M.

-M. Bahir, M. Jalal (2001) : Pollution nitratée des eaux souterraines du bassin synclinal d'Essaouira (Maroc)

Liste des Figures

Figure 1 : Répartition des agences des bassins hydrauliques sur le territoire nationale (ABHT)……..7
Figure 2 : Localisation des nappes de tenseft dans le bassin hydraulique Tensift(ABHT).....**.....**8
Figure 3 : Variation des températures interannuellesmensuelles (°C) à la station d'Igrounzar……10
Figure 4 : Carte géologique de la région Meskala-Kourimate (extraite de la carte géologique de Marrakech au 1/500000)…….....12
Figure 5 : Lithologie des formations du Crétacé moyen a Jbel Aganane, au sud du Kourimate (d'après : Içame, 1994)……...13

Figure 6 : Les sous bassins constitutifs du bassin versant de l'Oued Ksob (d'après Mimouni, 2009)……..15
Figure 7 : Variation des précipitations annuelles au niveau de la station Adamna (1977-2011)…….....16
Figure 8 : Variation des précipitations Annuelles au niveau de la station Igrounzar (1968-2011)……...17
Figure 9 : Variation des précipitations mensuelles au niveau de la station Adamna (2007-2011)…….....17
Figure 10 : Variation des précipitations mensuelles au niveau de la station Igrounzar (2007-2011)……18
Figure 11 : Etape 1 de la numérisation des cartes topographiques : effacement des limites des cartes…...20

Figure 12 : Etape 2 de la numérisation des cartes topographiques : géoréférencement des cartes……...20
Figure 13 : Etape 3 de la numérisation des cartes topographiques : rassemblement des cartes et délimitation de la nappe Meskala-Kourimate……21
Figure 14 : Etape 4: Ajout des piézomètres à la zone de délimitation de la nappe Meskala-Kourimate……...21
Figure 15: Carte topographique numérisée de la nappe Meskala-kourimate……22
Figure 16: Carte piézométrique de la nappe Meskala-Kourimate au mois de Mars 2012……....24
Figure 17: Carte piézométrique de la nappe Meskala-Kourimate au mois de Mars 2010……25

Figure 18 : Evolution du niveau piézométrique en mois de Mai dans le piézomètre IRE 430/51…….26
Figure 19 : Evolution du niveau piézométrique en mois de Juillet dans le piézomètre IRE 430/51……....26
Figure 20 : Evolution du niveau piézométrique en mois de Septembre dans le piézomètre IRE 430/51…..27
Figure 21 : Variation du niveau piézométrique depuis Avril 2007 à Juillet 2010 au niveau du piézomètre IRE 430/51……27
Figure 22 : Evolution du pH dans le piézomètre IRE 430/51……29
Figure 23 : Evolution de la conductivité dans le piézomètre IRE 430/51……..30
Figure 24 : Evolution de la conductivité dans le piézomètre IRE 430/51……..30
Figure 25 : Faciès chimiques des eaux de la nappe Meskala-Kourimate. a) Turonien; b) Cénomanien (Bahir et al. 2001)……..32
Figure 26 : Prélèvements en m3 de l'eau potable dans la région Meskala-Kourimate……34
Figure 27 : Répartition de la surface irriguée dans la région Meskala-Kourimate……..35
Figure 28 : Répartition en % des volumes prélevés (en m3) pour l'irrigation dans certaines communes de la région Meskala-Kourimate……36
Figure 29 : Bilan hydraulique du système aquifère de Meskala-Kourimate……37

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Variation des moyennes des températures interannuelles mensuelles maximales, minimales et moyennes à la station d'Igrounzar……11

Tableau 2 : Evaporation totale annuelle à la station d'Igrounzar de1989 à 1997……11

Tableau 3 : Caractéristiques morphologiques du bassin versant de Ksob……14

Tableau 4 : Tableau des coordonnées des piézomètres et leurs niveaux piézométriques…….23

Tableau 5 : Paramètres hydro-chimiques au niveau du piézomètre IRE 430/51 (Année 2008)……..28

Tableau 6 : La grille des normes de la qualité des eaux souterraines……...33

Tableau 7 : Entrées de la nappe Meskala-Kourimate……34

Tableau 8 : Taux des prélèvements dans quelques communes de la région Meskala-Kourimate……36

Tableau 9 : Sorties de la nappe Meskala-Kourimate…….37