



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et
Techniques

Etude hydrogéologique et élaboration d'une base de données spatiale du bassin Crétacé de la province d'Errachidia.

Présenté par:

EI Hassan BEN-SAID

Encadré par:

- Mr Ahmed BOUKDIR, MEDITEC-IN Béni Mellal,
- Mr Abderrahim Lahrach, FST - Fès

Soutenu le 27 Juin 2015 devant le jury composé de:

- Mr. Lahrach A.,
- Mr. Boukdir A.,
- Mr. Chaouni A.,
- Mr. El Azzab D.,
- Mr. Benaabidate L.,
- Mr. Benabdelhadi M.,

Stage effectué à : MEDITEC-IN Béni Mellal,



Dédicace

À La mémoire de ma Mère.

À Mon Père.

À Mes Frères et Sœurs.

À la Famille Ben-Said.

*À Mes Encadrants, mes Formateurs et mes
Formatrices.*

*À Toute Personne qui a Toujours Apporté le Conseil et le
Soutient, et qui m'a Aidé de Près ou de Loin dans ce
Travail.*

À Mes Amis.

REMERCIEMENTS

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui nous m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Je voudrais remercier la Faculté des sciences et techniques de Fès, et aussi l'entreprise MEDITEC-IN Béni Mellal, l'aide et le suivi précieux qu'ils ont déployé dans le cadre de l'encadrement de ce travail et pour l'intérêt qu'ils portent à la recherche scientifique.

A Monsieur Pr. Abderrahim LAHARACH

Ma première pensée va au mon professeur et encadrant interne Abderrahim ELHARACH. Je vous remercie de m'avez confié ce sujet et m'avez initié à la recherche scientifique. Votre gentillesse et votre modestie, votre enthousiasme pour la recherche, votre compétence scientifique resteront pour moi un exemple. Qu'il trouve dans ces quelques mots l'expression de ma vive reconnaissance.

A Monsieur Pr. Ahmed BOUKDIR

Je tiens à vous exprimer mes vifs remerciements de m'avoir donné l'occasion d'élaborer mon projet de fin d'étude et pour les conseils les plus précieux que vous avez su prodiguer. Je garderai toujours les meilleurs souvenirs de votre immense savoir et de votre sens du devoir. Vous m'avez impressionné par votre rigueur scientifique et vos qualités humaines exceptionnelles.

A Monsieur Pr. Lahcen BENAABIDATE

C'est un grand honneur et une extrême fierté de m'avoir aidé et orienté à réaliser ce travail tout en sacrifiant inlassablement vos efforts et votre temps précieux. Veuillez trouver ici le témoignage de ma respectueuse gratitude, mon grand respect et ma haute considération.

A Monsieur Dr. Abdessalam ELAISSAMI

Je suis heureux et honoré d'avoir au jour de ma soutenance le Docteur Abdessalam ELAISSAMI. Je le remercie pour son aide, ses encouragements et son soutien durant la préparation de ce travail.

Je tiens à remercier vivement les membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à Nadia, Amina, Abdelhamid, Zehour, Wissal et tout le personnel de Sté MEDITEC-IN.

Mes remerciements sincèrement tous les enseignants à la faculté FST Fès, pour leur contribution à notre formation durant ces deux années d'étude, notamment les responsables de ce Master.

Merci encore à tous.

TABLE DES MATIERES

Résumé	1
Abstract	2
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Avant-propos	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	2
<i>I. Cadre géographique</i>	2
I.1. Situation de la province d'Errachidia à l'échelle du Maroc	2
I.2. Situation de la zone d'étude à l'échelle des bassins du Maroc	3
<i>II. Cadre administratif</i>	3
<i>III. Relief</i>	4
<i>IV. Activités économiques</i>	5
<i>V. Démographie et Demande en eau</i>	6
V.1. Analyse démographique	6
V.2. Prévisions démographiques	7
V.3. Evaluation des besoins en eau potable dans la zone d'étude	7
CHAPITRE 2 : HYDRO-CLIMATOLOGIE ET GEOLOGIE	8
<i>I. Hydro-climatologie</i>	8
I.1. Climatologie	8
I.1.1 Bassin Guir	9
I.1.2 Bassin Ziz	10
I.1.3 Bassin Rhéris	12
I.1.4 Conclusion :	15
I.2. Hydrologie	15
I.2.1 Caractéristiques physiographiques des bassins versants GZRM	15
I.2.2 Réseau hydrographique :	17
I.2.3 Etat actuel de l'aménagement et de l'utilisation des eaux de surface.	20
I.2.4 Sources de pollution	20
I.2.5 Qualité des eaux superficielles au fil de l'eau :	21
I.2.6 Qualité des retenues de barrages	22
<i>II. Cadre géologiques et géophysique</i>	22
II.1. Cadre géologique régional	22
II.1.1 Structure du bassin crétacé d'Errachidia	24
II.1.2 Tectonique au contact de Haut Atlas et le bassin d'Errachidia	25
II.2. Synthèse des reconnaissances géophysiques anciennes	26
II.2.1 Description des études géophysiques existantes	26
II.2.2 Exploitation des Résultats	27
II.2.3 Conclusion	32
CHAPITRE 3 : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU BASSIN CRETACE D'ERRACHIDIA	33
<i>I. Introduction</i>	33
I.1. Inventaire des points d'eau existants dans le bassin	33
I.2. Identification des différents horizons aquifères du bassin	34
I.2.1 Nappes phréatiques (Quaternaire)	34
I.2.2 Nappes profondes	34
I.2.2.1. Nappe de Sénonien	34

I.2.2.2. Nappe de Turonien	34
I.2.2.3. Nappe d'Infracénomannien	35
I.3. Prise des mesures et élaboration de la fiche d'enquête	36
II. Piézométrie et structure de l'écoulement	37
III. Paramètres hydrodynamiques et productivités	38
III.1. Infracénomannien	38
III.2. Turonien	40
III.3. Sénonien	41
IV. Bilan hydrique des nappes.....	43
IV.1. Entrées	43
IV.2. Sorties	44
IV.3. Les résultats	44
V. Qualité et utilisation des eaux des aquifères	45
CHAPITRE 4: ELABORATION DE SIG	49
I. Généralités et présentation d'outil de SIG	49
I.1. Généralités et Composantes d'un SIG	49
I.1.1 Généralités sur un SIG	49
I.1.2 Composantes d'un SIG	49
I.2. Organisation des données géographiques	50
I.3. Présentation du logiciel SIG « ArcGis 10 » utilisé	50
II. Elaboration du SIG du bassin crétacé d'Errachidia Boudnib.....	51
II.1. Méthodologie adoptée	51
II.2. Résultats obtenus.....	52
II.2.1 Cartes thématiques	52
II.2.1.1. Etablissement des cartes de toit, de mur et d'épaisseur de l'aquifère Sénonien	52
II.2.1.2. Etablissement des cartes des profondeurs	54
II.2.2 Les requêtes spatiales	56
II.3. Conclusion	56
CONCLUSION GENERALE.....	58
Bibliographie	
Annexes	

Résumé

Le bassin crétacé d'Errachidia, faisant partie de l'unité structurale du sillon sud-atlasique, est limité au Nord par l'accident sud-atlasique et au Sud par les affleurements de l'Anti-Atlas et la Hamada du Guir. Il s'étend sur une superficie de 13 000 km². L'altitude moyenne est comprise entre 1000 et 1100 m et s'accroît à l'Ouest vers le seuil d'Imider.

La sécheresse et le climat semi désertique de cette zone ont eu des répercussions négatives sur les réserves en eau surtout de surface, il s'agit notamment des enjeux liés à l'intensification, voire à la surexploitation locale des nappes, qui sont bien réels : fort potentiel en surfaces irriguées, bonne accessibilité des eaux et productivités élevées localement, d'où l'intérêt d'une bonne connaissance du fonctionnement des aquifères de cette zone et le recours à une gestion appropriée.

L'essai de bilan tenté pour l'année 2011 a montré un faible déficit total de l'ordre de 0,13 Mm³/an, dû à l'effet conjugué de la surexploitation et de la sécheresse et que le complexe turonien-sénonien est l'aquifère le plus affecté par des prélèvements énormes avec un déficit de 8.11 Mm³/an.

La caractérisation hydrochimique des eaux du bassin témoigne de la complexité structurale de l'aquifère Crétacé.

Les données acquises pour la province d'Errachidia et notamment celles concernant l'aquifère multicouche de bassin crétacé, ont été regroupées dans un système d'information géographique, qui est un véritable outil d'aide à la prise de décision. L'exploitation du SIG de la zone d'étude en mode vecteur par le logiciel ArcGis, a permis d'élaborer un certain nombre de cartes, soit structurales, soit hydrodynamiques. Ces documents cartographiques ont permis de préciser la géométrie de l'aquifère et les modalités de l'écoulement.

L'exploitation de quelques résultats hydrogéologiques (piézométrie, transmissivité...etc) et géophysiques nous permet de conclure que les niveaux résistants de l'Infracénomanien (sable gréseux) sont bien développés et le niveau statique est généralement situé suffisamment près de la surface pour saturer une grande partie de ces terrains.

A l'opposé, la moitié orientale de l'étude paraît défavorable car la couverture mésozoïque y est peu épaisse. Le principal réservoir pourrait être constitué par la frange altérée du substratum résistant (sables dérivant des grès) lorsque le niveau statique est suffisamment proche de la surface pour permettre la saturation de ces terrains.

En effet, cela nous permet de dégager les endroits qui sont favorables à l'implantation des nouveaux captages, il s'agit principalement des deux parties sud et sud-ouest du bassin.

Mots

clés : Aquifère, bilan, climat, Crétacé, Errachidia, géométrie, géophysique, gestion, ressources en eau, hydrochimie, hydrodynamique, SIG, substratum, surexploitation.

Abstract

The Cretaceous basin Errachidia, part of the structural unit of the South Atlas furrow, is limited to the North by the South Atlas accident and south by del'Anti Atlas outcrops and Hamada Guir. It covers an area of 13,000 km². The average altitude is between 1,000 and 1,100 meters and is growing in the West to the threshold of Imider.

Drought and semi-desert climate of this area have had negative repercussions on the water reserves especially surface. These include issues related to intensification or even local overexploitation of aquifers, which are real: potential in irrigated areas, good accessibility of water and high productivities locally, hence the interest of a good working knowledge of the aquifers of the area and the use of efficient management.

Trying to balance tried for 2011 showed a low total deficit of about 0.13 million m³ / year of a combined effect of the overuse and drought and the Turonian-Senonian complex the most affected by huge aquifer sampling with a deficit of 8.11 million m³ / year.

The hydrochemical characterization of basin water reflects the structural complexity of the Cretaceous aquifer.

The acquired data for the province of Errachidia in particular concerning the multilayered aquifer Cretaceous Basin were consolidated into a geographic information system, which is a real tool for decision making. The operation of the GIS vector fashion study area by the ArcGIS software is used to develop a number of cards, either structural or hydrodynamic. These cartographic documents have clarified the geometry of the aquifer and the terms of flow.

The exploitation of some hydrogeological results (piezometry, transmissivity etc ...) and geophysical allows us to conclude that resistant levels Infracénomanien (sandstone sand) are well developed and the static level is usually located close enough to the surface to saturate much of this land.

In contrast, the eastern half of the study appears unfavorable because the Mesozoic cover is thin. The main reservoir could be formed by the altered fringe of resistant substratum (drifting sands sandstone) when the static level is close enough to the surface to allow saturation of these lands.

Indeed, this allows us to identify the areas that are favorable to the implementation of new abstractions, it is primarily the two southern and southwestern parts of the basin.

Keywords: Aquifer, balance, climate, Cretaceous, Errachidia, geometry, geophysics, management, water resources, hydrochemistry, hydrodynamics, GIS, substratum, overexploitation.

Liste des figures

	Page
Figure1 : Situation géographique de la province d'Errachidia à l'échelle nationale.....	2
Figure2 : Situation de bassin crétaé d'Errachidia.....	3
Figure3 : Situation des communes de la province d'Errachidia.....	4
Figure 4 : Modèle numérique du terrain de la province Errachidia.....	5
Figure 5 :Périmètre irrigué de la province d'Errachidia.....	6
Figure 6 : Evolution démographique dans la province d'Errachidia.....	6
Figure 7 : Répartition des stations climatologique dans la province Errachidia.....	8
Figure 8 : Précipitations moyennes annuelles et mensuelles dans le BV du Guir (57-05)	9
Figure 9 : Températures moyennes mensuelles dans le bassin Guir (1982-2005).....	10
Figure 10 : Précipitations moyennes annuelles et mensuelles dans BV Ziz(1957-2009).....	11
Figure 11 :Températures moyenne mensuelle dans le bassin Ziz (1982-2005).....	12
Figure 12 : Précipitations moyennes annuelles et mensuelles dans BV Rhéris (57-09).....	13
Figure 13 : Températures moyennes mensuelles dans le bassin Rhéris.....	14
Figure 14 : Carte des isohyètes de la province d'Errachidia.....	15
Figure 15 : Réseau hydrographique de la province Errachidia.....	19
Figure 16 : Carte des principaux foyers de pollution dans la province d'Errachidia.....	21
Figure 17 : Situation géologique de la province Errachidia.....	23
Figure 18 : Coupe géologique globale du Haut Atlas et Bassin Crétaé.....	25
Figure 19 : Couverture Géophysique de la province Errachidia.....	27
Figure 20 : Carte de la résistance transversale de l'Infracénomanien Nord Erfoud.....	28
Figure 21 : Carte de la résistance transversale de l'Infracénomanien.....	29
Figure 22 : Répartition des points d'eau dans la zone d'étude.....	33
Figure 23 : Réseau de mesures effectuées dans la zone d'étude.....	36
Figure 24 : Carte piézométrique de la nappe profonde de bassin crétaé (2015).....	37
Figure 25 : Carte piézométrique de la nappe profonde de bassin crétaé (2006).....	38
Figure 26 : Transmissivités de l'aquifère Infracénomanien $10^{-2}m^2/s$	39
Figure 27 : Débits de l'aquifère Infracénomanien	39
Figure 28 : Evolution du débit artésien du forage N°IRE 4037/57.....	40
Figure 29 : Transmissivités de l'aquifère Turonien $10^{-2}m^2/s$	40
Figure 30 : Débits de l'aquifère Turonien.....	41
Figure 31 : Transmissivités de l'aquifère Sénonien.....	42
Figure 32 : Débits de l'aquifère Sénonien (l/s).....	42
Figure 33 : Diagramme de Piper de faciès chimique des eaux prélevées.....	48
Figure 34 : Organigramme de méthodologie adoptée pour l'élaboration du SIG.....	51
Figure 35 : Isohypes du toit de l'aquifère sénonien.....	52
Figure 36 : Isohypes du mur de l'aquifère sénonien.....	53
Figure 37 : Epaisseur de l'aquifère sénonien.....	54
Figure 38 : Profondeurs de la nappe Infracénomaniene.....	55
Figure 39 : Profondeurs de la nappe turonienne.....	55
Figure 40 : Profondeurs de nappe sénonienne.....	56

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des stations climatologiques.....	9
Tableau 2: Caractéristiques des bassins versants GZRM.....	17
Tableau 3: Débits moyens annuels (en m ³ /s) des oueds au niveau des principales stations hydrométriques.....	19
Tableau 4: Sources d'eau dans la Province d'Errachidia.....	35
Tableau 5: Bilan des aquifères du crétacé.....	44
Tableau 6: Résidus secs (en g/l) de quelques ouvrages captant l'aquifère Infracénomanien dans la zone d'Ain El Atti.....	45
Tableau 7: Résidu sec dans quelques ouvrages captant l'aquifère turonien.....	45
Tableau 8: Résidus secs de quelques ouvrages captant l'aquifère du Sénonien.....	46

Abréviations et Acronymes

ABH-GZG : Agence de bassin hydraulique Guir Ziz Ghéris

AEP : Approvisionnement en Eau Potable

BDG : Base de Données Géographiques.

B.H.A: Barrage Hassan Addakhil

CAG : Compagnie Africaine de Géophysique

CE : Conductivité Électrique

DRPE : Direction Recherche et Planification de l'Eau

IRE : Inventorié des Ressources en Eau

NGM : Nivellement Général du Maroc

MNT : Modèle Numérique du Terrain

N.P : Niveau Piézométrique

ONEE : Office National de l'Eau et de l'Electricité.

RGPH : Recensement générale de population et l'habitat

RT : Résistance Transversale

SGBD : Système de Gestion de base de données

SIG : Système d'Information Géographique

BV : Bassin Versant

TIN :Triangulated Irregular Network

AVANT-PROPOS

Ce travail, aboutissement d'une formation stage au sein de la société **MEDITEC-IN Béni Mellal** dans le cadre d'effectuer mon projet de fin d'étude, n'aurait pu voir le jour sans l'aide de nombreuses personnes à qui je tiens à exprimer ma reconnaissance.

Au cours de cette période de cinq mois, j'ai l'occasion de se familiariser avec le travail au terrain ainsi d'approfondir et d'enrichir mes connaissances acquises le long de cette formation scientifique et technique.

Elle prévoit mettre le point sur les aspects géologique, géophysique, hydrologique, climatologique et hydrogéologique pour une meilleure compréhension du fonctionnement hydrologique et hydrogéologique de la zone d'étude, ainsi l'exploitation de différentes données alphanumériques et géographiques pour produire une application SIG, permettant de mieux organiser les données notamment hydrogéologiques et de faciliter leur manipulation sur les supports informatiques.

Introduction générale

Au Maroc, l'eau est un des problèmes majeurs car elle représente un facteur limitatif clé du développement durable, de l'amélioration de la qualité de la vie et de la paix. La gestion quantitative et qualitative des ressources en eaux souterraines et superficielles est actuellement une nécessité, compte tenu d'une part de l'accroissement continu des besoins, et d'autre part de la dégradation constatée durant ces dernières décades de la qualité de l'eau dans ce pays en voie de développement. De surcroît, lorsque les ressources sont limitées et que la sécheresse qui touche la majeure partie du pays devient conjoncturelle, cette nécessité devient urgence.

Une bonne connaissance du fonctionnement des aquifères régionaux et le recours à une gestion appropriée sont ainsi reconnus par l'ensemble des usagers (agriculture, régies, industries) et par le législateur (promulgation de la loi sur l'eau en 1995). Cette connaissance nécessite au préalable, une identification géologique et hydrogéologique poussée (reconnaitances géophysiques, essais par pompage, analyses physico-chimiques...etc)

Au Sud-est du Maroc, ou plus précisément à la province d'Errachidia, La rareté et le caractère aléatoire des précipitations, la désertification de plus en plus inquiétante, la surexploitation des eaux souterraines, liée à la forte pression démographique et aux activités d'agriculture et d'élevage, ont accentué la tendance à la baisse des niveaux des nappes d'eaux souterraines. Il s'avère donc nécessaire de mettre en œuvre, parallèlement aux programmes d'exploitation, des études globales pour la reconnaissance et la gestion des ressources en eaux.

Le bassin Crétacé d'Errachidia-Boudnib, cette partie qui fait l'objet de notre étude hydrogéologique, située dans la zone sud atlasique du Maroc, est confrontée à d'énormes difficultés alliant rareté et faible qualité de l'eau suite, aux longues périodes de sécheresse sévère qui l'ont affectée durant ces dernières décennies, et dont les conséquences écologiques sont considérables, comme l'atteste le recul du domaine irrigué sous l'action de la désertification et la progression des sols salés,

Ce travail de recherche hydrogéologique propose une méthodologie d'étude pour cet aquifère multicouche. Il vise à étudier avec précision les points suivants :

-Caractérisation de la province d'Errachidia sur les plans géographique, climatique, hydrologique, géologique et géophysique ;

-Synthèse actualisée de l'information hydrogéologique basée essentiellement sur les forages profonds ;

-Elaboration et exploitation d'un système d'information géographique (SIG) de la zone d'étude.

-Identification de la géométrie de l'aquifère;

-Etude des modalités de l'écoulement de la nappe profonde ;

-Caractérisation des eaux de bassin crétacé sur les plans quantitatif de qualitatif

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

I. Cadre géographique

I.1. Situation de la province d'Errachidia à l'échelle du Maroc

Située au aux confins du sud-est du Royaume (Fig. 1), la province d'Errachidia couvre une superficie totale de l'ordre de 59.585 km² (coordonnées Lambert : 492 < X < 702 km et 185 < Y < 320 km). Elle fait partie du bassin du Ziz, Guir, Rhéris et Maïder, elle est délimitée par:

- La province de Midelt au Nord ;
- La province de Figuig au Nord-est ;
- L'Algérie au sud et au Sud-Est ;
- Les deux provinces de Tinghir et Zagora à l'Ouest ;

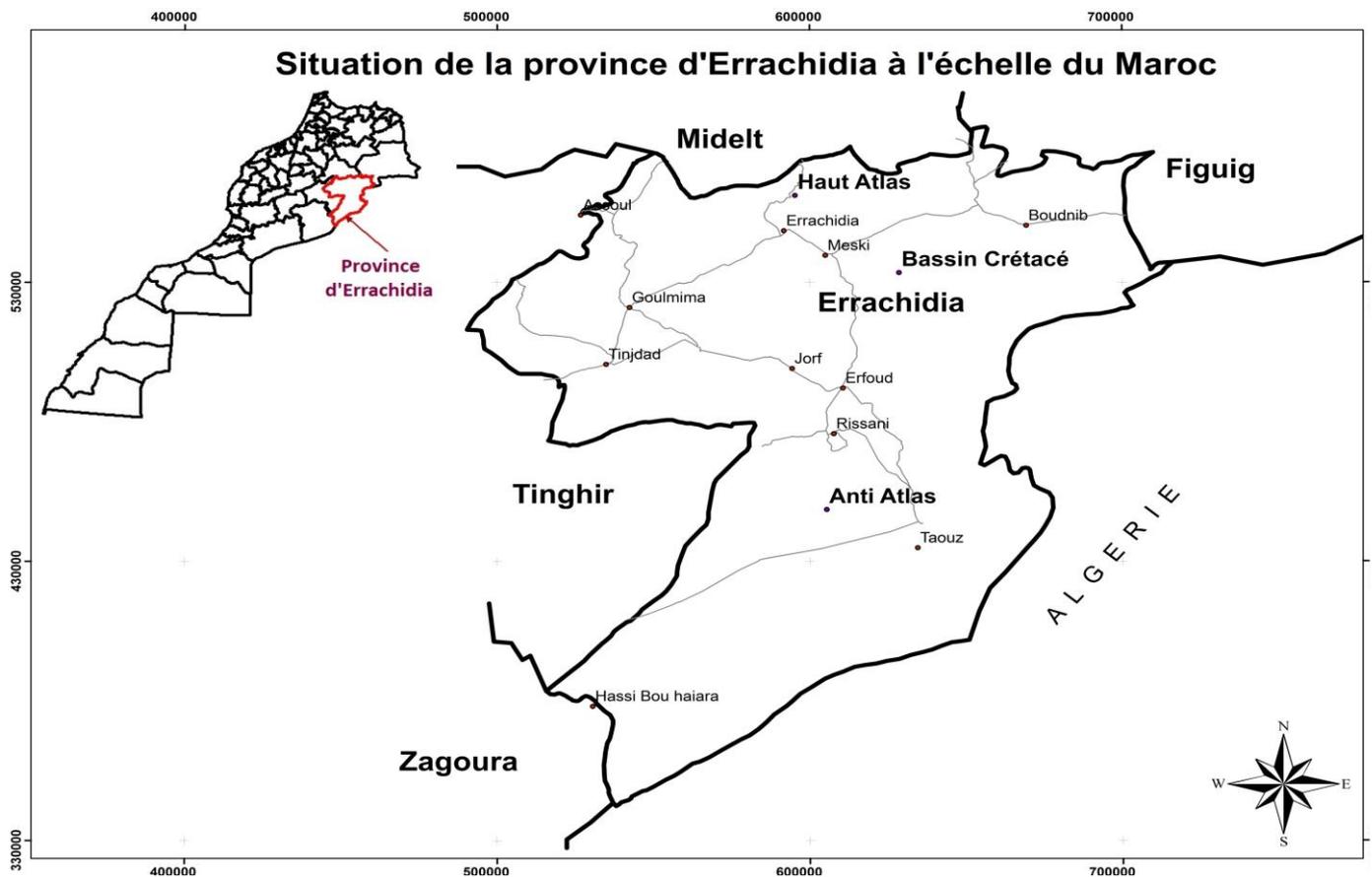


Figure 1: Situation géographique de la province d'Errachidia à l'échelle nationale

La province d'Errachidia comprend trois domaines différents sur le plan morphologique et géologique :

- Un premier domaine montagneux situe au nord, correspondant au Haut Atlas calcaire.
- Un second domaine qui constitue un vaste synclinal, il s'agit de bassin Crétacé d'Errachidia qui fait l'objet de notre étude hydrogéologique
- Un troisième domaine au sud de la province appartenant à l'unité de l'Anti Atlas

I.2. Situation de la zone d'étude à l'échelle des bassins du Maroc.

Le bassin crétacé relevant de la province d'Errachidia (figure 2) fait partie de l'unité structurale du sillon sud-atlasique. Il est limité au Nord par l'accident sud-atlasique et au Sud par les affleurements de l'Anti-Atlas et la Hamada du Guir au Sud-est. L'altitude moyenne du bassin est comprise entre 1000 et 1100 m.

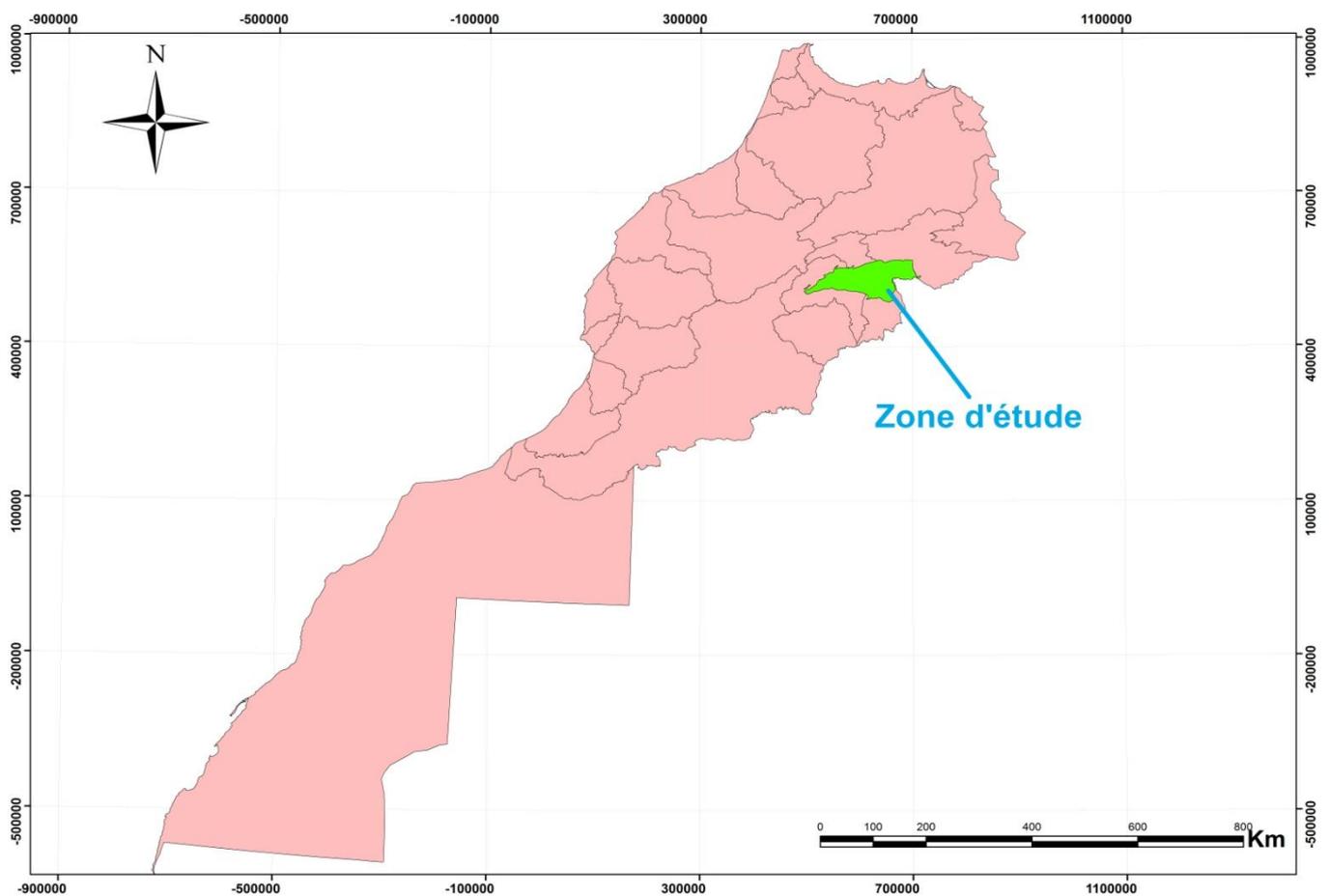


Figure 2 : Situation de bassin crétacé d'Errachidia

II. Cadre administratif

La province d'Errachidia est composée de : 29 communes dont sept communes sont urbaines et 22 commune rurales (Figure 3).

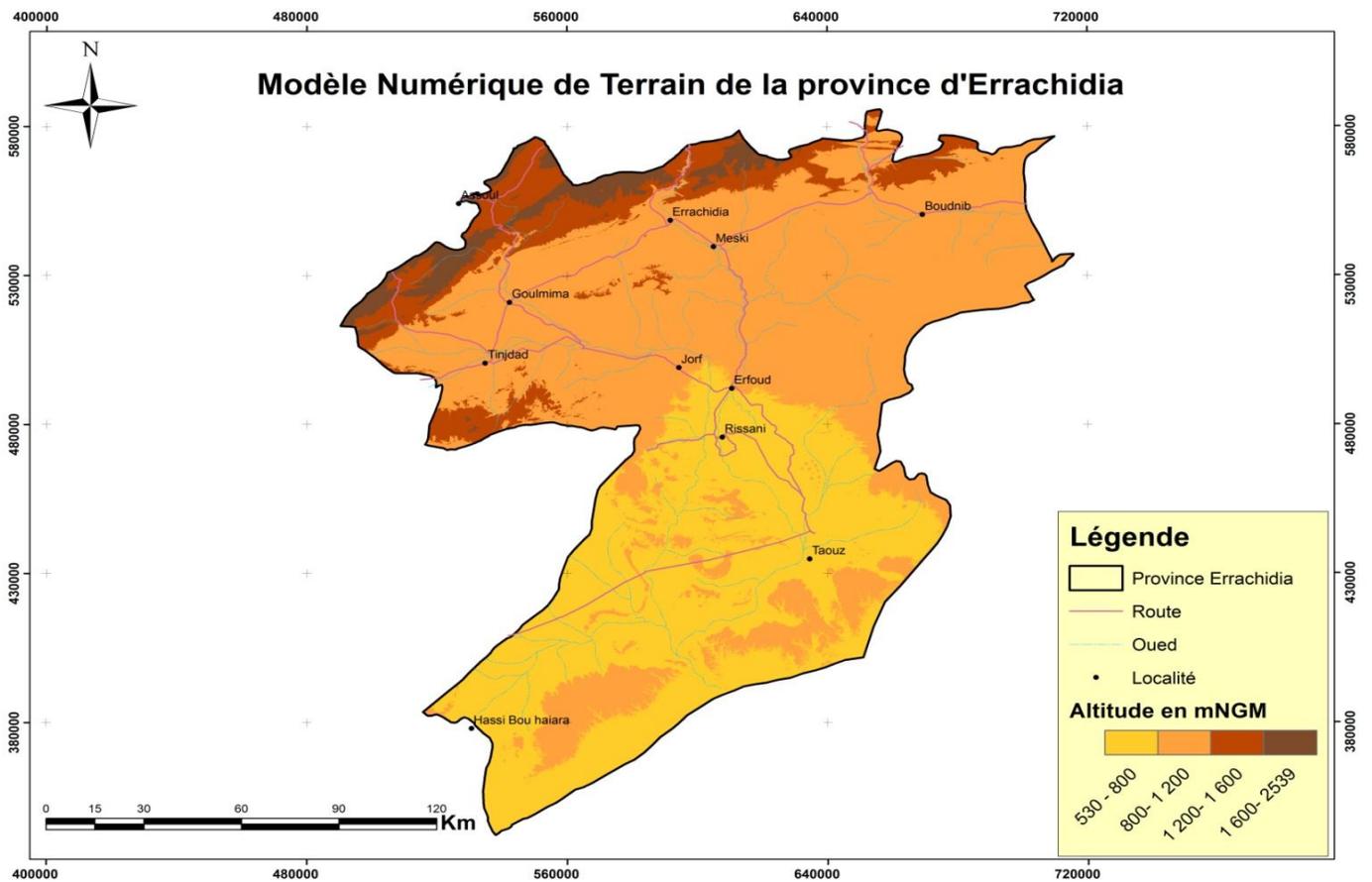


Figure 4: Modèle numérique de terrain de la province d'Errachidia

IV. Activités économiques

Le secteur agricole constitue l'une des principales sources de revenus et fait travailler la majeure partie de la population active de la province. Le système de production est de type oasisien ; les palmeraies sont localisées autour de sources ou khattaras, et le long des cours d'eau, sous forme de vallées étroites. Ces zones sont irriguées par les eaux des sources, des khattaras, des puits, des oueds, auxquelles s'ajoutent les lâchers du barrage pour le cas de la vallée du Ziz. Les palmeraies constituent un milieu spécifique dont l'équilibre, soumis aux fluctuations des ressources en eau, demeure fragile.

La superficie irriguée (figure 5) dans l'unité Ziz-Rhéris est estimée à 56.350 Ha . Le plus grand périmètre est la plaine du Tafilalet qui s'étend sur 20.000 ha, irriguées en partie à partir du barrage Hassan Addakhil sur l'Oued Ziz.

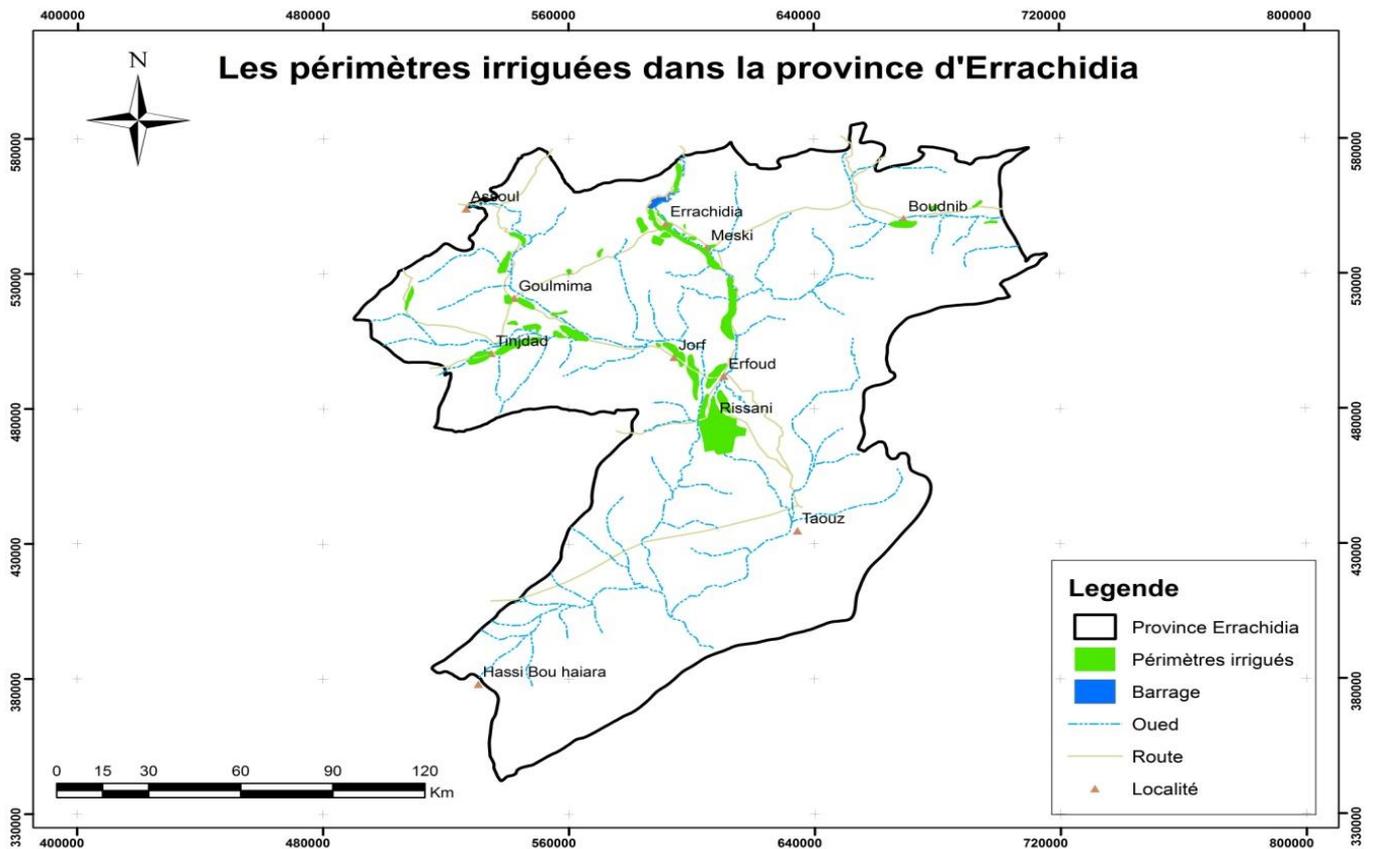


Figure 5 : le périmètre irrigué de la province d'Errachidia

V. Démographie et Demande en eau

V.1. Analyse démographique

L'exploitation des données du recensement de 2014 accorde à la province d'Errachidia une population de 418 451 habitants (75 264 ménages) soit 1,23 % de la population du Maroc.

Cette population est répartie entre 22 communes et 7 municipalités (nouveau découpage) dont centre d'Errachidia qui concentre 23% du total.(voir annexe1)

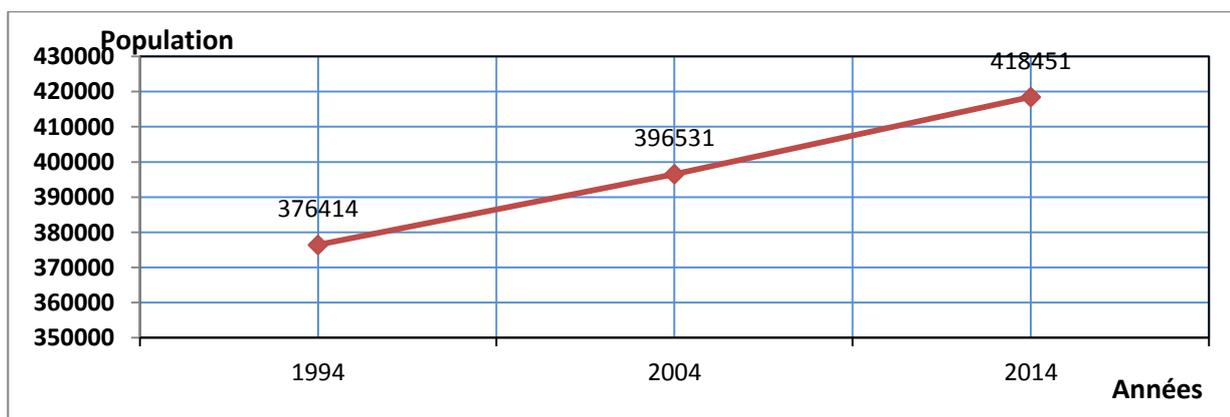


Figure 6: Evolution démographique dans la province d'Errachidia

En termes d'accroissement, la population de la province est passée de 396531 habitants en 2004 à 418 451 habitants en 2014 (nouveau découpage) enregistrant ainsi un taux

d'accroissement de l'ordre 5,52%. Cependant, malgré cet accroissement, le poids démographique de la province a continué à diminuer par rapport à l'ensemble de la population Marocaine. Il est passé de 1.33 % en 2004 à 1,23 % en 2014.

Il est à signaler que l'accroissement de la population de la Province est provoqué essentiellement par la population urbaine qui ne cesse d'augmenter face à l'urbanisation croissante que connaît la province.

La Province enregistre en effet un phénomène combiné d'urbanisation/exode rural assez important qui s'est caractérisé ces dernières années par l'augmentation de la population urbaine et la formation de nouvelles agglomérations mais également par la migration d'une partie de la population active rurale vers d'autres régions/provinces du Royaume.

L'importance de l'exode rurale peut en effet justifier la diminution du poids de la population de la Province dans la population totale du Royaume.

Cependant, malgré cette baisse, la population rurale de la Province continue à représenter une part assez importante de la population rurale de la Région Drâa-Tafilalet (20.88 % en 2014).

V.2. Prévisions démographiques

Si les tendances démographiques récentes se maintiennent, la province d'Errachidia comptera 441550 habitants en 2024, soit 23100 habitants de plus qu'en 2014.

Grâce au phénomène de l'exode rurale, et l'accroissement démographiques, les centres urbaines de la province seront subit une population intense ainsi l'apparition des nouvelles agglomérations et centres urbains ce qui favorisera l'augmentation des besoins en eau, ainsi que la pollution des nappes phréatiques qui sera provoquée par les différents mode d'évacuation des eaux usées et les déchets domestiques.

Jusqu'en 2024, le taux d'accroissance devrait continuer à croître, mais à un rythme plus sensible aux différentes hypothèses sur les évolutions démographiques quelles que soient les hypothèses retenues sur l'évolution de la fécondité ou de la mortalité. Cette faible augmentation sera agit par le phénomène de l'exode rural vers les autres provinces et les régions de Royaume.

V.3. Evaluation des besoins en eau potable dans la zone d'étude

Devant le contexte climatique défavorable qui sévit ces dernières années (depuis 2010) dans la région d'Errachidia, l'évaluation des besoins en eau potable dans la province revêt une importance primordiale pour la planification des projets d'approvisionnement en eau potable.

En effet, la prévision à moyen et long terme de la demande et sa confrontation aux ressources mobilisées et à mobiliser aux différents horizons permet de prévoir les renforcements à entreprendre au niveau de la production d'eau potable.

L'approche consiste à analyser l'historique des variables étudiées (population, nombre de ménages, volumes d'eau, nombre d'abonnés...). Ceci permet de procéder à un cadrage des prévisions des besoins futurs (voir tableau 2 en annexe 1)

Chapitre 2 : Hydro-climatologie et géologie

I. Hydro-climatologie

I.1. Climatologie

Les mesures climatologiques sont nombreuses dans la province et plus particulièrement dans la partie Nord. De plus, la répartition des stations est très irrégulière, la majorité se trouvant concentrés dans le Haut Atlas, alors que les secteurs Sud Est et Sud West sont très dépourvus.

La répartition de ces stations est représentée dans la figure suivante :

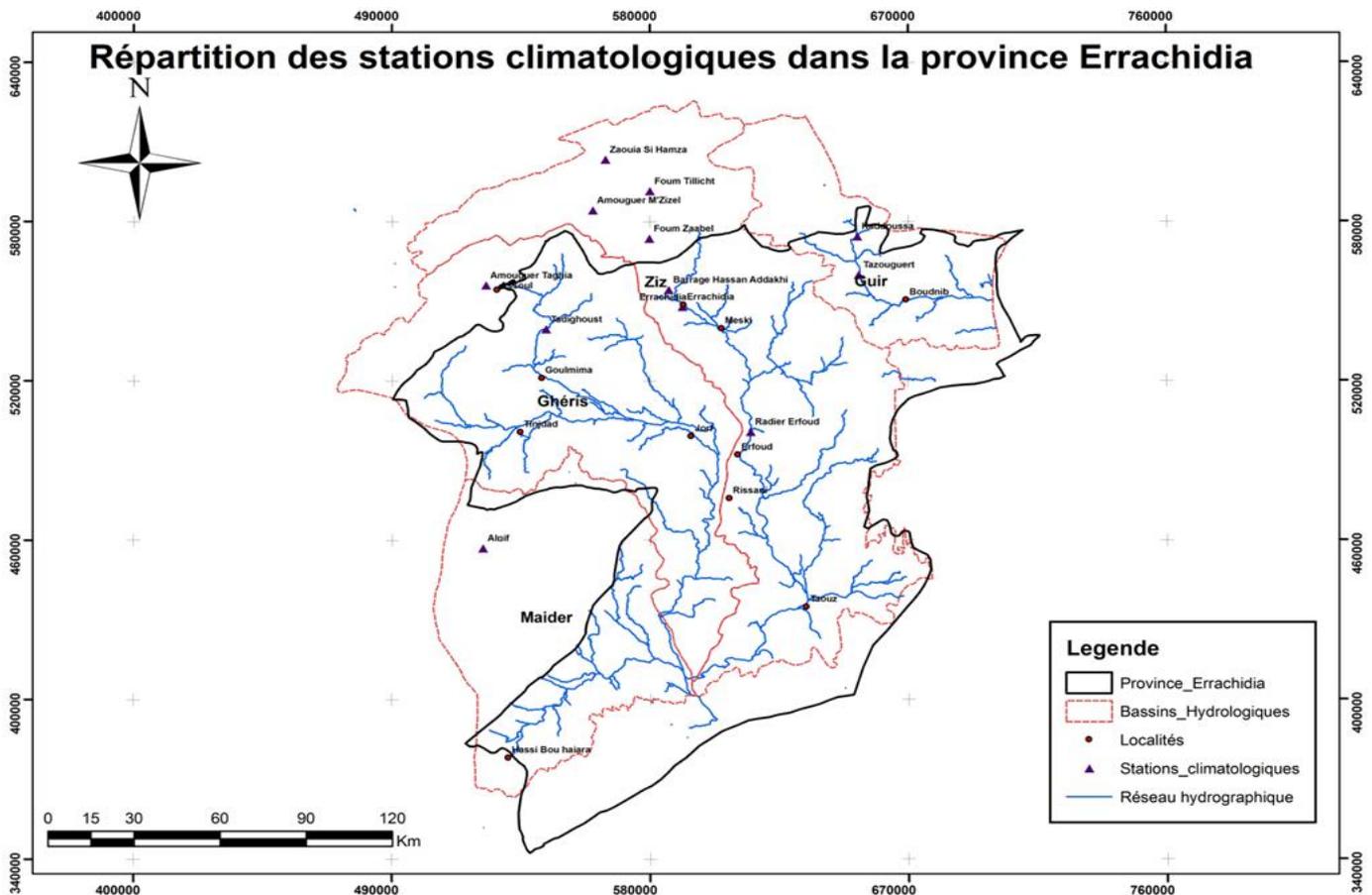


Figure 7: Répartition des stations climatologique dans la province Errachidia

Les stations climatologiques utilisées pour caractériser le climat de la province d’Errachidia sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4:Caractéristiques des stations climatologiques

Nom de la station	Bassin versant	X	Y	Précipitation moyenne interannuelle
-------------------	----------------	---	---	-------------------------------------

Zaouiat Sidi Hamza	Ziz	564400	204390	259.33
Amouguer M'Zizel	Ziz	560000	185300	179,01
Foum Tillicht	Ziz	579850	192500	196.59
Foum Zaâbel	Ziz	579700	174650	181.36
Barrage Hassan Addakhil	Ziz	586450	155330	123.01
Errachidia	Ziz	591230	148970	119.11
Radier Erfoud	Ziz	615000	101880	65.66
Amouguer Taghia	Rhéis	522820	157000	184.58
Tadighoust	Rhéis	543700	140500	141.25
Kaddoussa	Guir	652100	175550	123.06
Tazouguert	Guir	652595	161045	108.12

I.1.1 Bassin Guir

La pluviométrie moyenne annuelle, varie de 108 mm à 123 mm. Les périodes pluvieuses sont enregistrées en octobre ou novembre, janvier-février et avril ou mai, tandis que la période sèche s'étale généralement sur 6 mois. Les précipitations annuelles se caractérisent par un régime pluviométrique très variable d'une année à l'autre.

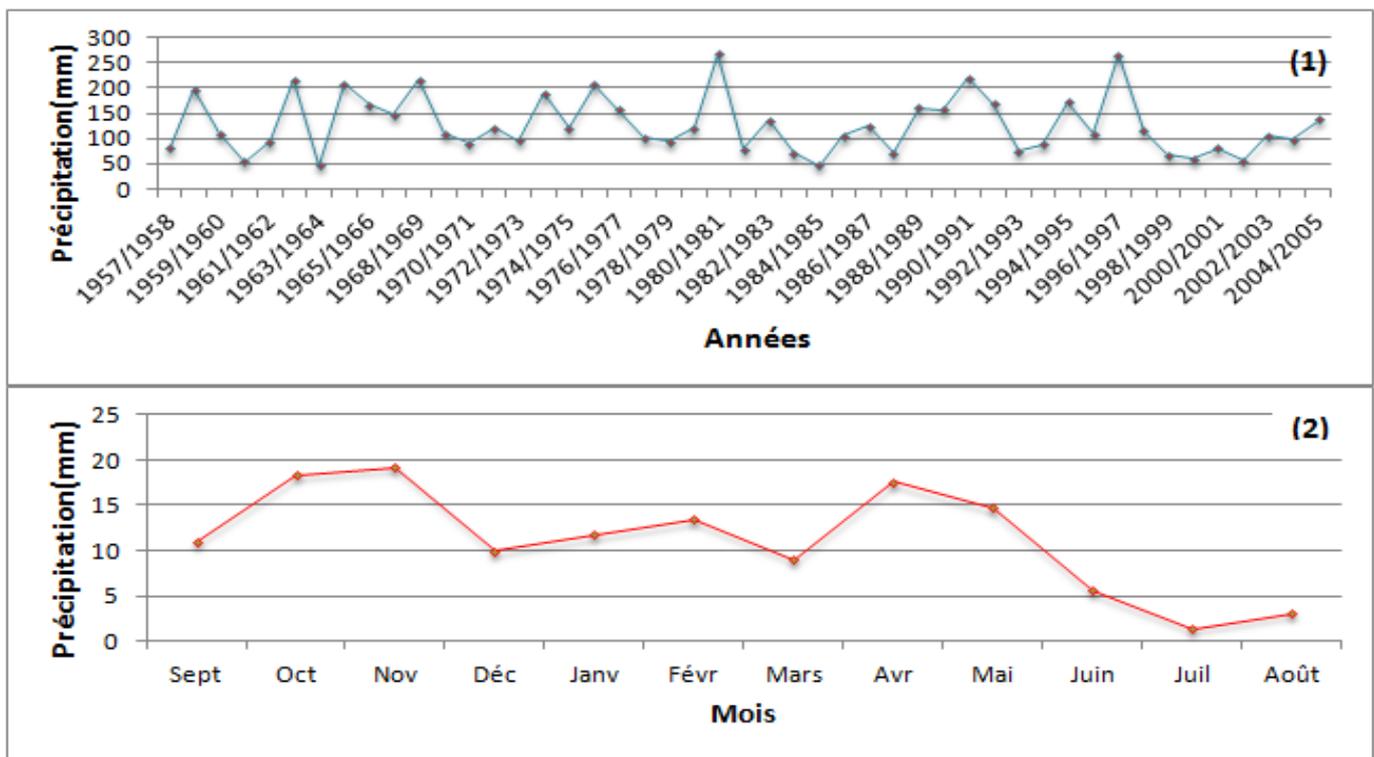


Figure 8: Précipitations moyennes annuelles (1) et mensuelles (2) dans le bassin du Guir période (1957-2005)

Les températures extrêmes oscillent entre des gelées en hiver dans le bassin amont et une moyenne des maxima en juillet de 41°C dans la station Kaddoussa. La période chaude s'étale de mai-juin à septembre-octobre, la période à temps froid s'étale de novembre à mars-avril.

La température moyenne annuelle est de 19°C avec des maxima moyens pouvant atteindre 31°C en juillet et des minima moyens s'abaissant à 10°C pendant l'hiver.

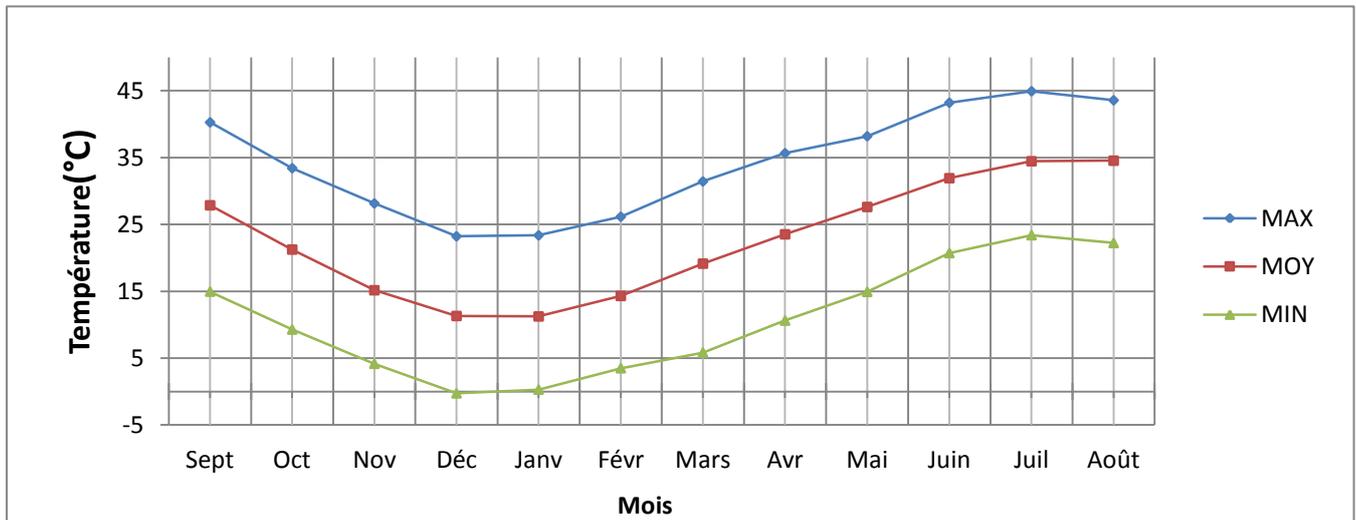


Figure 9:Températures moyennes mensuelles dans le bassin Guir (1982-2005)

L'humidité relative moyenne interannuelle varie généralement entre 41% et 63%. L'humidité relative la plus élevée, soit près de 70%, est enregistrée à Kaddoussa, pendant les mois de novembre, décembre et mars.

L'évaporation annuelle varie de 3482 mm à Kaddoussa à 3207 mm à Anoual avec des valeurs extrêmes en décembre et juillet.

Les vents violents ont lieu généralement entre les mois de février et septembre. Les vitesses moyennes enregistrées au niveau de Bouânane et Anoual, sont respectivement de l'ordre de 3.13 et 2.74 m/s.

I.1.2 Bassin Ziz

La pluviométrie décroît de 260 mm (station Z. Sidi Hamza) dans les hauts reliefs à 123 mm au piémont (Barrage Hassan Addakhil).

Au Sud, la pluviométrie est de l'ordre de 65.66 mm (Station Radier Erfoud). Cette faible pluviométrie au Sud est due d'une part au fait que la chaîne atlasique empêche toute influence océanique et d'autre part, à la présence des masses d'air chaud provenant du Sahara.

Les pluies mensuelles sont caractérisées par un régime pluviométrique très variable d'une année à l'autre et traduisent l'irrégularité des précipitations.

Le module pluviométrique interannuel augmente du Sud vers le Nord. Il est de 65.66 mm au niveau de la station Radier Erfoud et atteint 259.33 mm à Zaouiat Sidi Hamza.

Le régime annuel des précipitations est caractérisé par deux saisons humides d'automne et de printemps séparées par une brève saison d'hiver avec un minimum relatif faible, et par une longue saison d'été très marquée par la sécheresse.

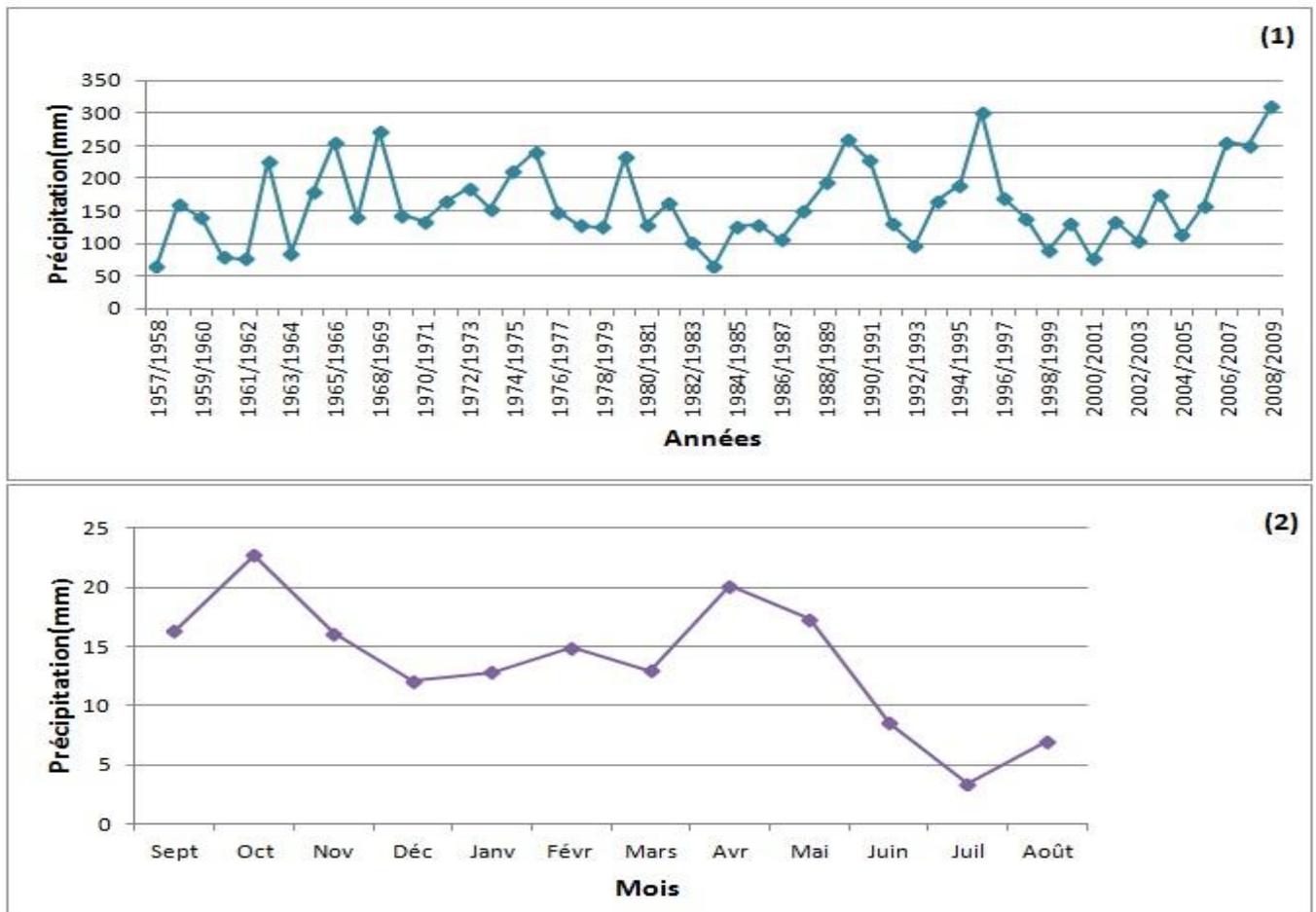


Figure 10: Précipitations moyennes annuelles (1) et mensuelles (2) dans le bassin Ziz(1957-2009)

Les températures moyennes annuelles sont relativement élevées. Elles augmentent de Fom Zaâbel au Nord à Taouz plus au Sud et sont respectivement de l'ordre de 18.2°C et 22.5°C. Les températures présentent de très importantes variations saisonnières avec un été très chaud et un hiver très froid. Ce dernier présente des températures diurnes peu élevées tandis que les températures nocturnes descendent rarement en dessous de 0°C.

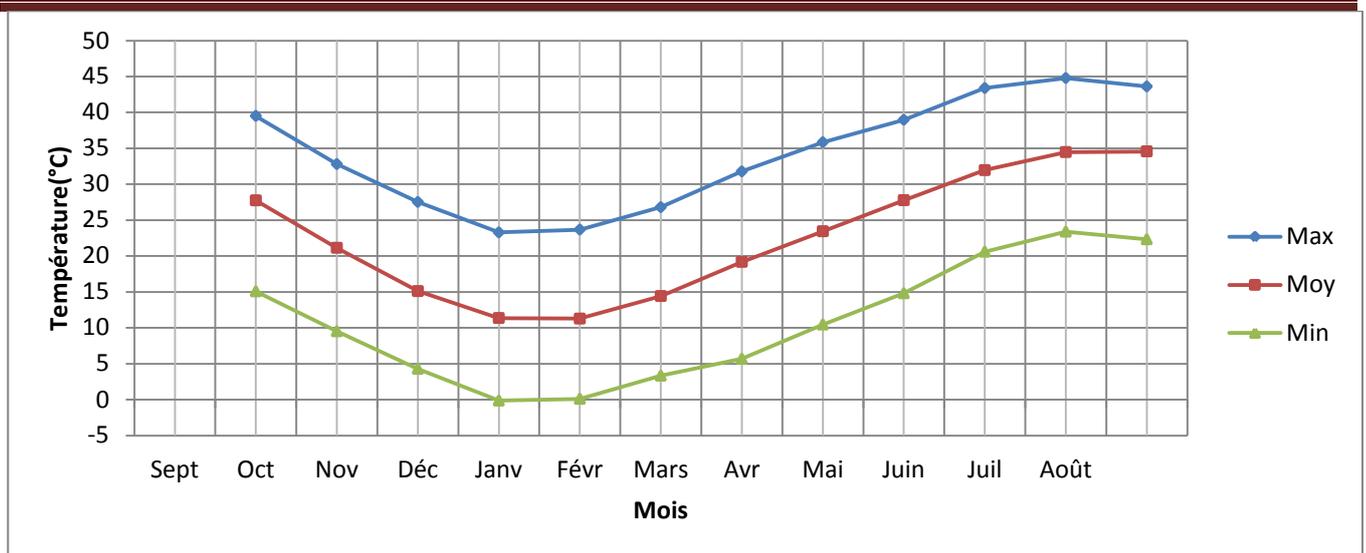


Figure 11: Températures moyenne mensuelle dans le bassin Ziz (1982-2005)

L'évaporation annuelle varie de 2962 mm au barrage Hassan Addakhil à 5342 mm à Taouz avec des valeurs extrêmes en décembre-janvier et juillet.

L'humidité relative, la plus élevée, est enregistrée pendant les mois de décembre et janvier, tandis que l'humidité relative, la plus faible, est enregistrée au cours des mois de juin, juillet et août.

Les vents violents chauds soufflent essentiellement pendant la période s'étalant de mars à septembre. Les plus violents arrivent entre les mois d'avril et août. Ce sont généralement des vents Est-Ouest, Sud-ouest et Sud-Sud-est. La vitesse moyenne du vent enregistrée au niveau de la station de Fom Zaâbel est de l'ordre de 2.42 m/s.

I.1.3 Bassin Rhéris

La pluviométrie décroît généralement de 200 mm dans les hauts reliefs pour atteindre 50 mm vers le Sud. Les pluies mensuelles sont caractérisées par un régime pluviométrique très variable d'une année à l'autre, traduisant l'irrégularité des précipitations. Le module interannuel des précipitations est de 141.25 mm à Tadighoust.

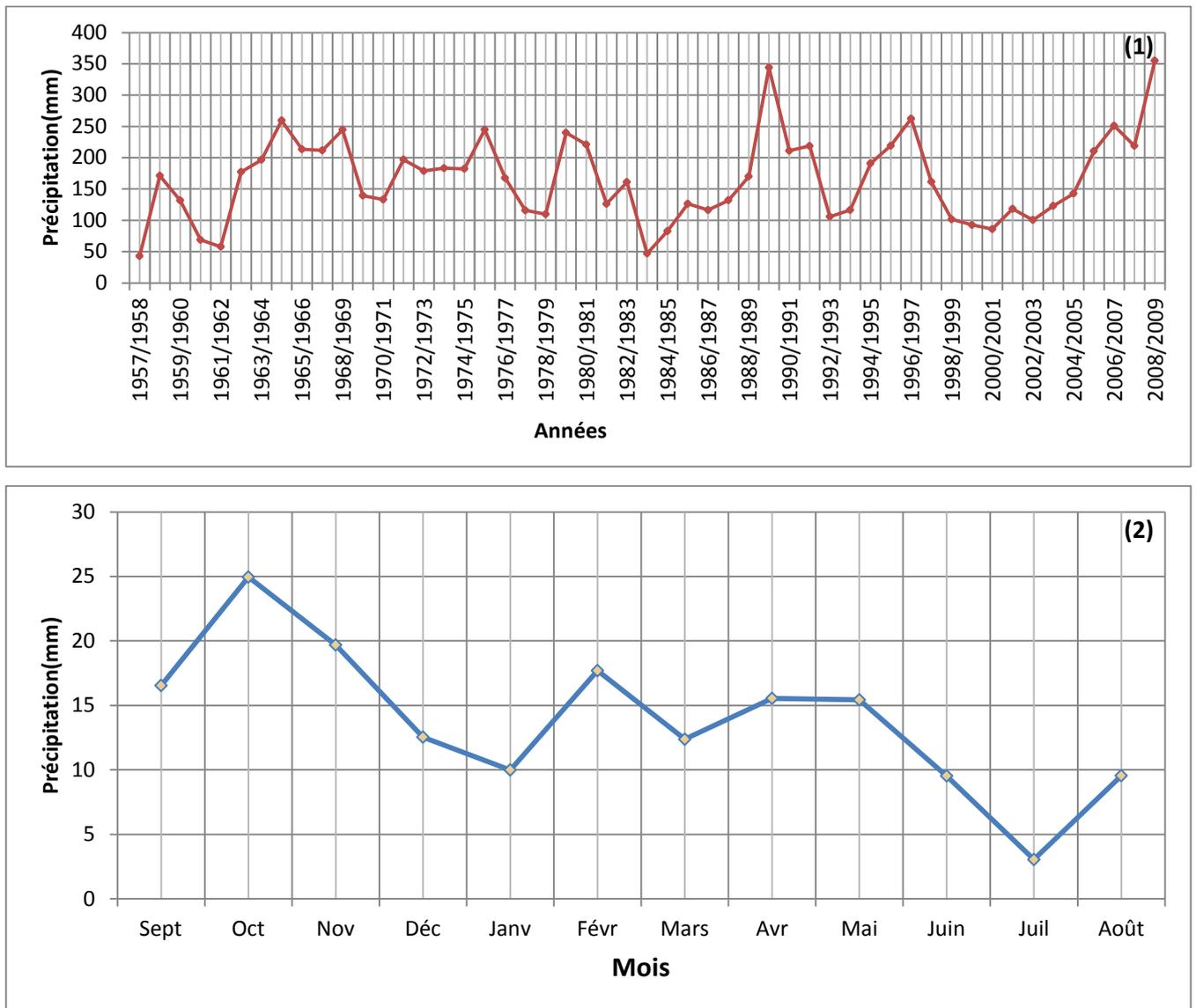


Figure12: Précipitations moyennes annuelles(1) et mensuelles (2) dans le bassin Rhéris (1957-2009)

Les températures moyennes annuelles sont relativement élevées. Elles sont respectivement de l'ordre de 22.76°C à Tadighoust et 22.61 à Amouguer Taghia.

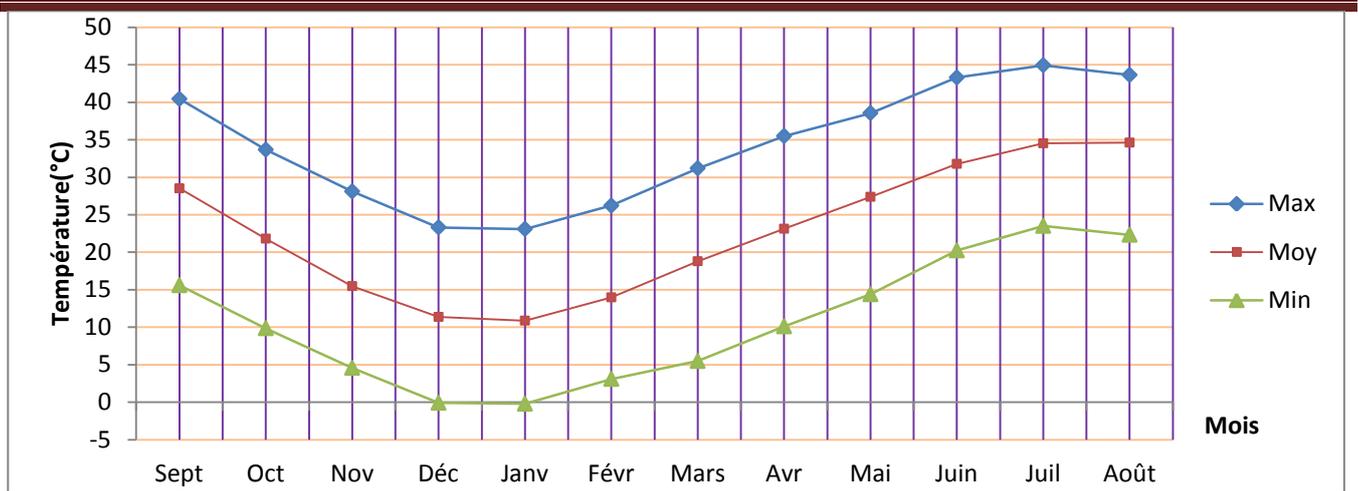


Figure 13: Evolution des Températures moyennes mensuelles dans le bassin Rhéris

L'évaporation annuelle varie de 2678 mm à Amouguer Taghia à 2928 mm à Ait Bouijjane avec des valeurs extrêmes en décembre et juillet.

L'humidité relative, la plus élevée, est enregistrée pendant les mois de décembre et janvier, tandis que l'humidité relative, la plus faible, est enregistrée au cours des mois de juin, juillet et août.

Les vents les plus violents arrivent entre les mois d'avril et août. Ce sont généralement des vents Est-Ouest, Sud-ouest et Sud-Sud-est. Les vitesses moyennes enregistrées au niveau de Tadighoust et Ait Bouijjane sont respectivement de l'ordre de 2.02 et 2.45 m/s.

▪ Carte des isohyètes

La carte des isohyètes est élaborée sur la base des moyennes interannuelles de l'ensemble des stations pluviométriques pour la période 1957-2003. Cette carte montre que le module interannuel diminue du Nord (Haut Atlas) vers le Sud (Anti Atlas) de la province d'Errachidia accompagnée de la diminution de l'altitude.

Les faibles valeurs des précipitations enregistrées au Sud du bassin peuvent être dues d'une part au fait que la chaîne atlasique empêche toute influence océanique et d'autre part à la présence des masses d'air chaud provenant du Sahara.

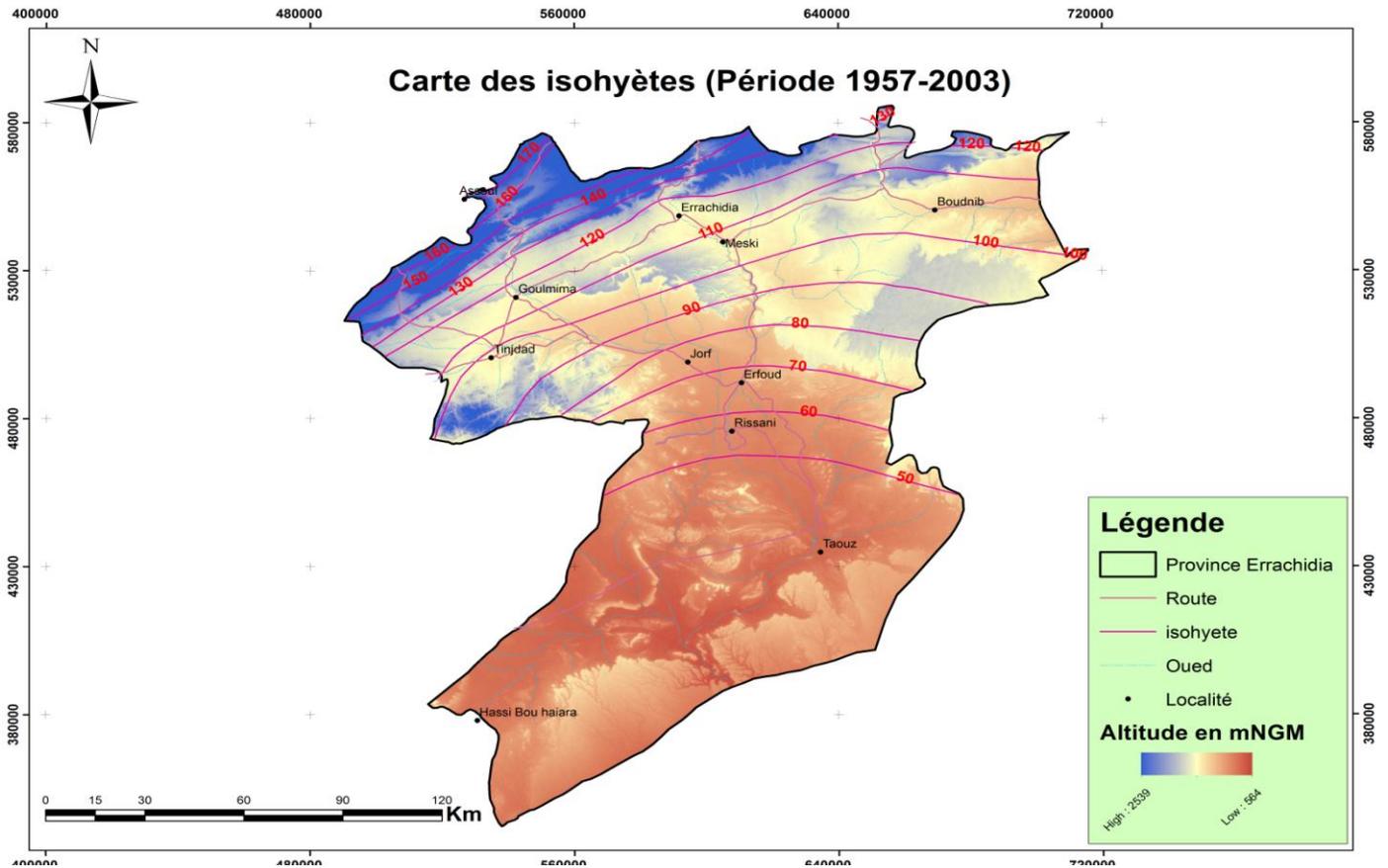


Figure 14: Carte des isohyètes de la province d'Errachidia

I.1.4 Conclusion :

Compte tenu de la situation géographique de la province Errachidia le climat est semi-désertique se caractérise par :

- L'importance de l'écart thermique entre les températures très élevées de l'été (31,5°C comme moyenne au moi de Juillet) et les plus basses de l'hiver (5°C comme moyenne au mois de Janvier).
- La faible quantité des précipitations et leur répartition irrégulière dans le temps et dans l'espace, sachant que la majorité du territoire rassoie moins de 100mm des pluies par ans.

I.2. Hydrologie

I.2.1 Caractéristiques physiographiques des bassins versants GZRM

Les principales caractéristiques physiographiques et géomorphologiques du bassin versant étudié ont une importance majeure car elles interviennent, et souvent d'une façon combinée, dans les modalités de l'écoulement superficiel. Les caractéristiques physiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique. Son comportement hydrologique est influencé par les facteurs physiographiques suivants:

▪ **Surface**

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont donc être en partie reliés à sa surface. Celle-ci correspond à l'aire délimitée par l'ensemble des points les plus hauts qui constituent la ligne de partage des eaux.

▪ **Périmètre**

Le périmètre représente toutes les irrégularités du contour ou de la limite du bassin versant, il est exprimé en km. Le contour du bassin est constitué par une ligne joignant tous les points les plus élevés.

▪ **L'indice de compacité (Kc)**

Renseigne sur la forme du bassin versant qui a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau et surtout sur l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin, résultant d'une pluie donnée. Il est établi en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle qui aurait la même surface. Il s'exprime par la formule suivante (ROCHE, 1963) :

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

Kc : Indice de compacité de Gravelius (K_G)

P : Périmètre stylisé en km du bassin versant, mesuré au curvimètre en estompant les irrégularités de la limite réelle qui n'ont aucune influence sur les écoulements.

A : Superficie du bassin versant en km^2 .

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa superficie. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée. Un bassin versant circulaire est mieux drainé qu'un bassin allongé.

▪ **Rectangle équivalent**

Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius correspond à une transformation purement géométrique du bassin versant. Il prend alors une forme rectangulaire tout en gardant la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Dans ce cas, les courbes de niveau deviennent parallèles aux cotés du rectangle équivalent. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau. Plus un rectangle équivalent est allongé moins il sera drainé. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules suivantes (ROCHE, 1963) :

La longueur L :

$$L = \frac{Kc * \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

La largeur l :

$$l = \frac{Kc * \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right]$$

Avec :

Kc : Indice de compacité de Gravelius

A : Superficie du bassin versant en km²

L : Longueur du rectangle équivalent en km

l : Largeur du rectangle équivalent en km.

▪ **Longueur du cours d'eau principal**

Elle s'appelle aussi LOG, c'est la distance mesurée le long du cours d'eau principal depuis l'exutoire jusqu'à la ligne des partages des eaux d'un bassin versant.

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques citées au dessus, et qu'on a calculé à l'aide de l'outil de SIG (ArcGis):

Tableau 5: Caractéristiques des bassin versants GZRM

Sous bassin	Surface en Km ²	Périmètre en Km	KG	L (Longueur du rectangle en Km)	l(Largeur du rectangle en Km)	LOG(Km)
Ziz	15462	1060.9	2.13	497.37	31.08	390
Rhéris	10763	694.83	1.87	312	34.5	290
Guir	19409	982	1.97	447.81	43.34	280
Maïder	12331	568	1.43	230.57	53.47	185

I.2.2 Réseau hydrographique :

I.2.2.1 Bassin Guir

Plus des deux tiers de la superficie des bassins sont situés dans le Haut-Atlas d'où débouchent les deux Oueds principaux : l'Oued Guir et l'oued Bouânane. Dans son cours atlasique, le Guir est presque pérenne en raison des apports de nombreuses sources qui compensent les prélèvements pour l'irrigation. L'Oued Aït Aïssa qui est le principal affluent alimentant le Bouânane ressemble beaucoup au Haut Guir et reçoit également de forts apports de sources assurant un cours pérenne.

Les deux oueds (Guir et Bouânane) se rejoignent dans le bassin d'Errachidia-Boudnib et le Guir quitte le territoire marocain en aval d'Aïn Chouater

I.2.2.2 Bassin du Ziz

Le bassin versant du Ziz est très vaste et présente une forme assez régulière. Le réseau hydrographique est riche en vallées importantes mais à faible développement de cours pérennes ; l'Oued Ziz présente un régime à tendances sahariennes. Le collecteur principal comprend :

Un cours supérieur, de direction Est-Ouest sur 122 km devenant nord-sud au coude de Kerrando. Ce cours draine le bassin amont du Ziz qui est limité au Sud par le barrage Hassan Addakhil. Le Ziz et ses affluents recourent les axes des structures du Haut-Atlas en formant des cluses dites "Foum".

Un cours moyen, de direction générale Nord-Sud, collecte les eaux du bassin intermédiaire depuis le barrage Hassan Addakhil au Radier d'Erfoud. Dans la partie sud, le Ziz coule dans ses alluvions largement étalées.

Un cours inférieur, de direction générale Nord-Sud, traverse la plaine du Tafilalet.

Les principaux affluents sont issus de l'Atlas : Oued Outerbat, Oued Nasla, Oued Talsast et Oued Sidi Hamza.

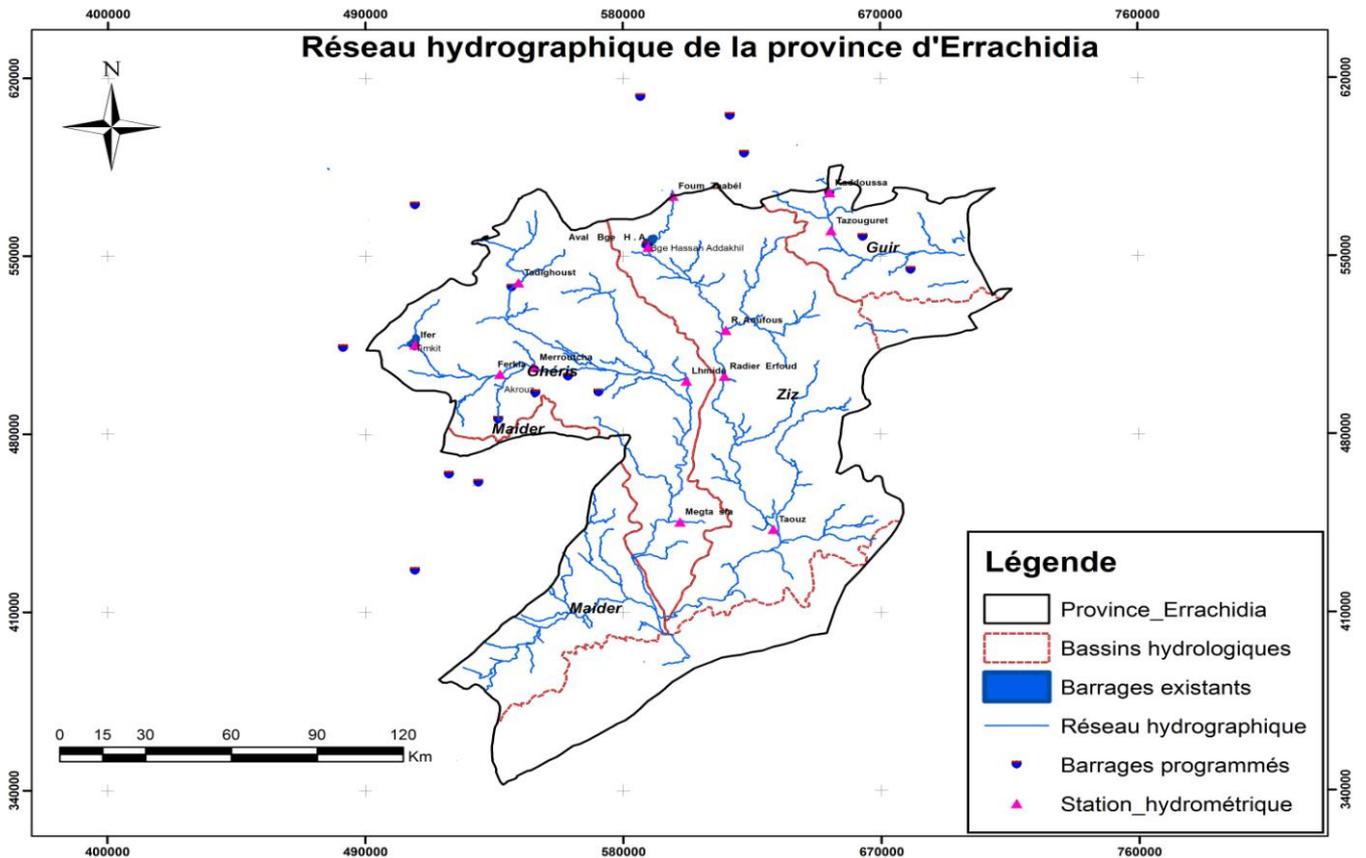
Sur la rive droite du Ziz (bassin intermédiaire), débouchent plusieurs affluents qui n'atteignent le Ziz qu'à l'occasion de fortes crues, tandis que sur la rive gauche, le Ziz reçoit deux importants affluents : l'Oued Meski formé par la confluence de plusieurs petits Oueds et l'Oued Aoufous dont les affluents, les oueds Boubarnous et Rahma et sources d'Aoufous lui confèrent un régime permanent.

I.2.2.3 Bassin du Rhéris

L'étendue et les conditions climatiques du bassin versant du Rhéris sont voisines de celles du bassin du Ziz, aussi les caractères essentiels des régimes annuels et interannuels des deux Oueds sont-ils analogues. Deux facteurs principaux déterminent une différence: l'extension du bassin du Rhéris dans les massifs de l'Ougnate et du Saghro (alors que le Ziz ne collecte que les eaux du Haut-Atlas seul), la longueur du trajet entre le débouché du Rhéris (et de ses affluents) du Haut-Atlas et la plaine du Tafilalet, ainsi que les caractères morphologiques de ces vallées (larges plaines alluviales).

La grande superficie du bassin du Rhéris se situe dans le Haut-Atlas d'où débouchent quatre oueds principaux : l'Oued Todgha, l'Oued Tanguerfa-Ferkla ; l'Oued Rhéris et l'Oued Tarba.

Le cours aval du Rhéris traverse une plaine aride avant d'entrer dans la plaine de Tafilalet où il coule parallèlement à l'Oued Ziz, qu'il rejoint plus en aval.



❖ Hydrologie des Oueds

Les apports des eaux de surface proviennent principalement des bassins haut-atlasiques sous forme de crues violentes et aléatoires. Le régime annuel des apports se caractérise par deux saisons de hautes eaux (sous forme de crue), automne et printemps séparées par deux saisons d'étiage, l'hiver et l'été pendant lesquelles, le débit est très faible et capté totalement en amont des bassins versants.

Les débits maximums sont observés en novembre, les minimums sont enregistrés en juillet et/ou août .Le module annuel varie de 0.71 à près de 4.16 m³/s(tableau ci-dessous).

Tableau 6: Débits moyens annuels (en m³/s) des oueds au niveau des principales stations hydrométriques (calculé)

Station	étendu	débit moyen annuel (m ³ /s)	débit maximum instantanée (m ³ /s)
Foum Zaâbel	1970-2008	4,16	622,82
Méroutcha	1986-2008	0,71	434,31
Tadighoust	1961-2007	1,24	336,34
Tazzouguert	1961-2007	1,15	552,10

I.2.3 Etat actuel de l'aménagement et de l'utilisation des eaux de surface.

L'équipement hydro-agricole conçu pour exploiter les ressources en eau de surface varie dans son type et son importance suivant les disponibilités en eau tant par leur régime que par leur origine.

Ces équipements ont été installés pour exploiter les potentialités hydroagricoles existantes selon des systèmes d'irrigation bien appropriés :

- des prises au fil de l'eau sur les cours pérennes des oueds ;
- Des barrages d'eau de crue dérivant les ressources temporaires ;
- Le barrage de retenue Hassan Addakhil pour la régularisation des débits de l'oued Ziz.

❖ Barrage Hassan Addakhil

Le barrage Hassan Addakhil (voir album photo en annexe 2) mis en eau en 1971 permet de régulariser les apports du Ziz au profit des périmètres irrigués dans la moyenne vallée et la plaine de Tafilalet. Le volume moyen affecté à l'irrigation depuis la mise en eau du barrage s'élève à 84,30 Mm³ dont 57% sont fournis au Tafilalet et les 43% restants aux périmètres de recasement et à la moyenne vallée du Ziz. En plus un important réseau de barrages existant ou projeté dans la zone d'étude (Tableau annexe 1). Ces ouvrages assurent la dérivation des eaux pérennes dans la province d'Errachidia.

I.2.4 Sources de pollution

La plus importante altération des eaux des bassins de la province d'Errachidia est essentiellement d'origine urbain. Cette pollution urbaine est formée en grand partie par les eaux usées émanant des habitations, les décharges publiques et des cimetières (Figure 16) les rejets des unités industrielles généralement faibles et par les activités agricoles (Périmètres irriguées).

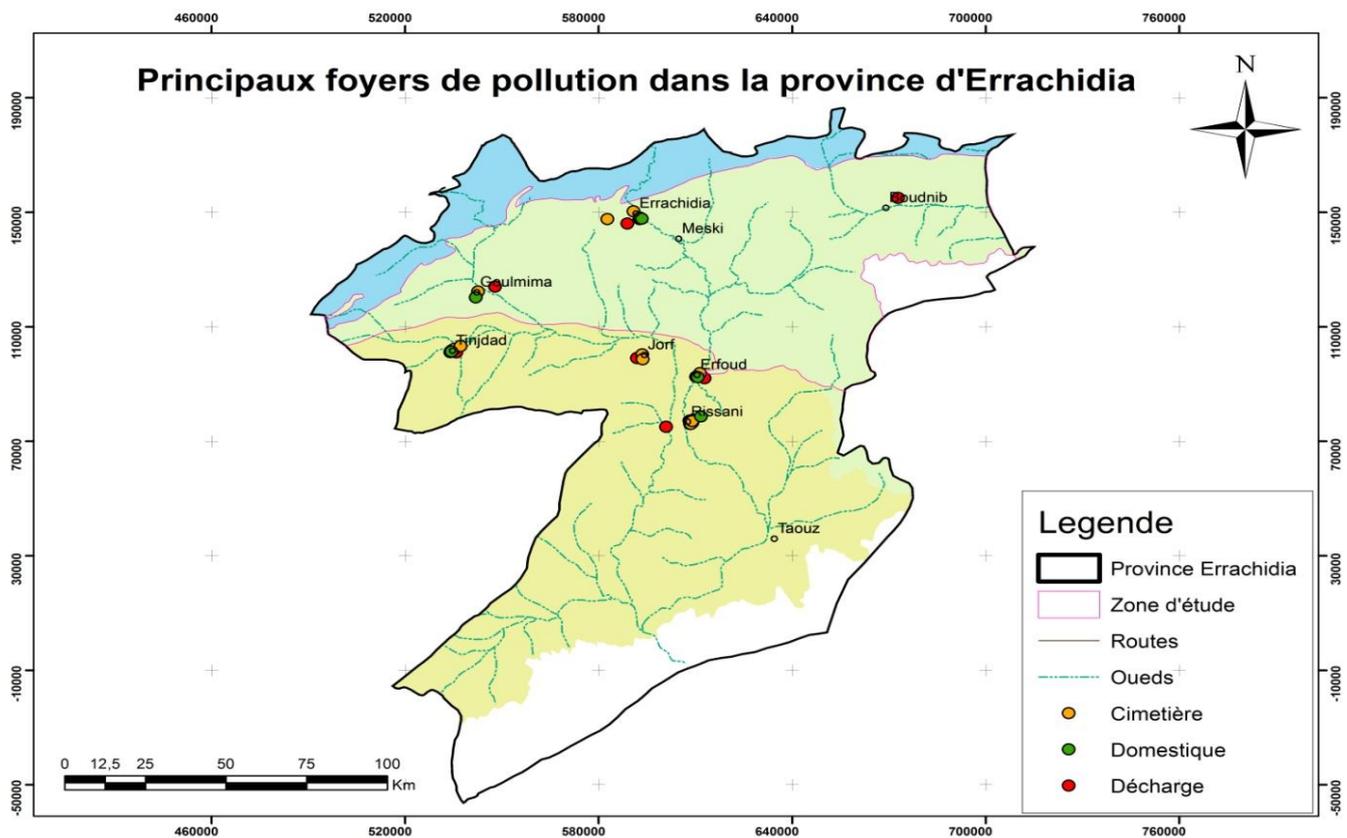


Figure 16: Carte des principaux foyers de pollution dans la province d'Errachidia

1.2.5 Qualité des eaux superficielles au fil de l'eau :

L'appréciation de la qualité des eaux de surface a été établie à partir de différents paramètres caractéristiques notamment (ABH-GRZ, 2012)

- **La qualité azotée :**

Les concentrations en azote ammoniacal relevées au niveau des stations échantillonnées le long des Oueds formant le bassin, sont inférieures à la norme (< 0.1 mg/l) ainsi la qualité de l'eau vis-à-vis de l'azote est très bonne à bonne au niveau de la majorité des points sauf en aval des agglomérations où la qualité est très mauvaise à savoir : Aval Erfoud, aval Ain Atti, et à la ville d'Errachidia au niveau de la confluence de l'Oued Lahmer où les valeurs enregistrées dépassent 8mg/l.

- **L'oxygène dissous :**

Pour tous les points, les valeurs de l'oxygène dissous sont supérieures à 7 mg/l indiquant une très bonne qualité des eaux due à une bonne oxygénation des eaux superficielles du bassin GRZ, à l'exception des stations situées en aval des villes où le taux d'oxygène dissous est inférieure à 1mg/l et peut même atteindre 0 mg/l. Cette désoxygénation est due aux rejets urbains déversés directement dans les cours d'eau au niveau de ces points.

- **La qualité phosphorée :**

Généralement, la teneur en phosphore est très bonne à bonne. Les teneurs en phosphore total relevées au niveau des différentes stations sont inférieures à 0.1mg/l sauf en aval de la ville d'Erfoud et à la confluence oued Ziz-oued Aoufous où la qualité phosphorée est très

mauvaise (2.5 mg/l. Cette pollution par le phosphore total est due essentiellement au lessivage d'engrais utilisé dans l'agriculture.

- **Qualité organique et bactériologique :**

Les valeurs relevées pour les paramètres de pollution relatifs à la demande biochimique et chimique en oxygène et l'état bactériologique (nombre de coliforme fécaux) montrent une très bonne à bonne qualité des eaux dans presque toutes les stations situées en amont des rejets urbains pour devenir très mauvaise en aval de ces rejets.

Cette détérioration de la qualité de l'eau vis-à-vis de ces substances est engendrée par les rejets des eaux usées déversés dans le milieu récepteur sans aucun traitement préalable.

Au fur et à mesure qu'on s'éloigne du point du déversement des rejets, le niveau de qualité de ces eaux s'améliore progressivement grâce au pouvoir auto-épurateur naturel des cours d'eau.

I.2.6 Qualité des retenues de barrages

Globalement, La qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des retenues de barrages : Hassan Addakhil, Achbaro, Boutaârich et Akerouz est bonne (tableau annexe 1)

II. Cadre géologiques et géophysique

II.1. Cadre géologique régional

La zone d'étude s'étend depuis le Haut-Atlas au Nord jusqu'à l'Anti-Atlas au Sud. Sa partie centrale contient le sillon préafricain, avant-fosse située entre le Haut-Atlas et l'Anti-Atlas et renferme le bassin crétacé d'Errachidia-Boudnib. Les formations qui affleurent largement sont d'âge crétacé, elles surmontent par endroit les terrains jurassiques où sont discordantes sur le socle paléozoïque. Un aperçu stratigraphique est présenté ci-après, il permettra de mieux comprendre les caractéristiques principales de l'hydrogéologie dans la zone d'étude. Les informations stratigraphiques s'échelonnent du Précambrien au Quaternaire (figure17).

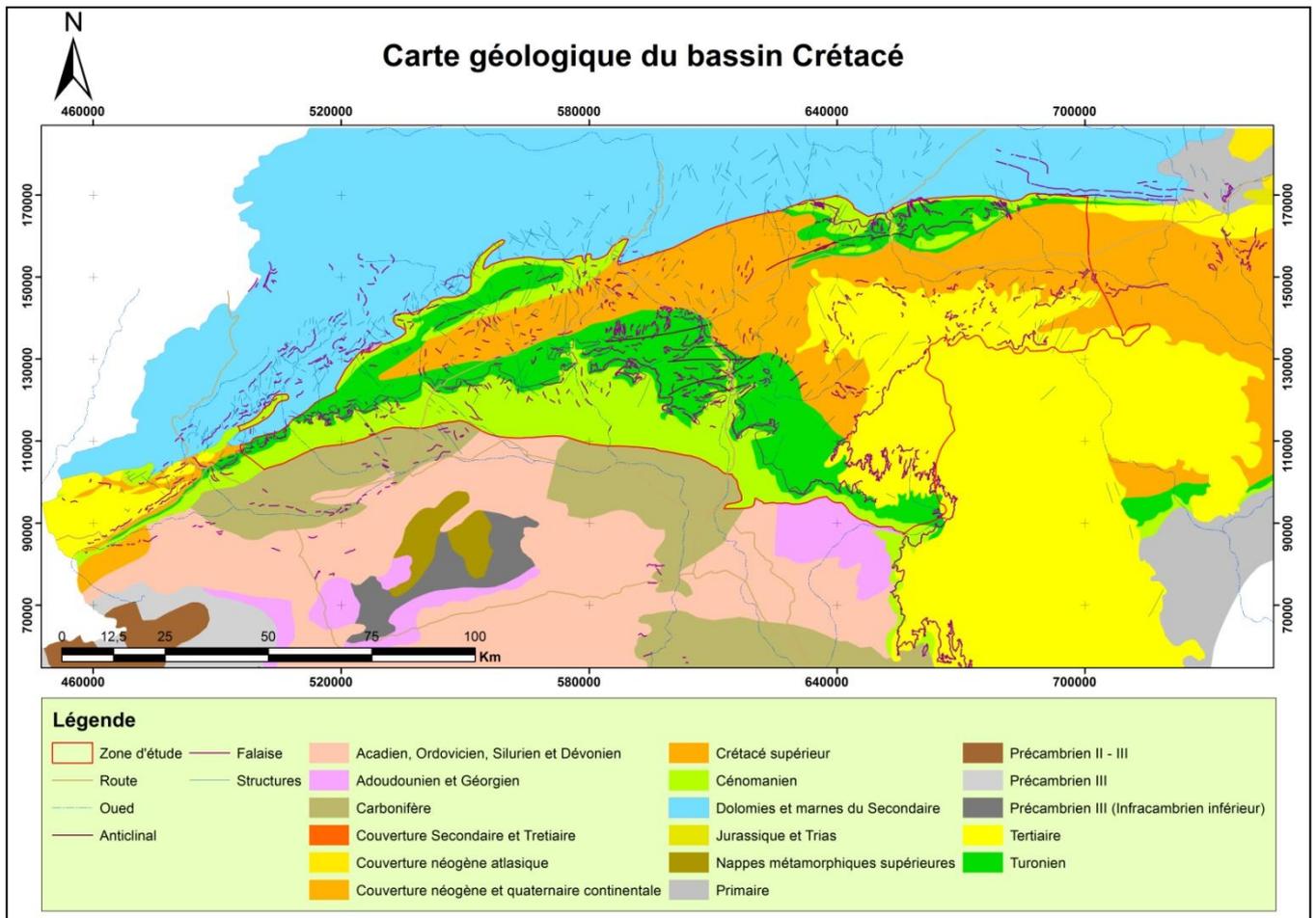


Figure 17: Situation géologique du bassin Crétacé

Les formations crétacées affleurent dans le bassin d'Errachidia depuis les environs de Tinghir à l'Ouest jusqu'au delà de Bouânane à l'Est. Au Nord, elles se trouvent généralement en contact anormal avec les calcaires du Haut Atlas central et oriental. Au Sud, elles reposent sur les terrains primaires de l'Anti Atlas. (Margat ,1954).

II.1.1 L'Infracénomannien qui affleure vers le Sud de la zone d'étude, est constituée d'une alternance de couches de grès et de couches d'argiles marneuses. Elle a une épaisseur variable qui dépasse 500 m dans la plus grande partie de la région.

L'Infracénomannien est recouvert d'un litho-faciès différent attribué au Cénomannien.

Cette formation est constituée de calcaires et de calcaires dolomitiques, intercalés de marnes.

Ces marnes intercalaires deviennent plus fréquentes vers la base de la formation. Vers le centre de la zone d'étude, le contenu en marnes semble augmenter. La partie supérieure de la formation, qu'on retrouve dans les plateaux, contient plus de calcaires massifs et y forme des escarpements spectaculaires.

II.1.2 Le Turonien est recouvert par le Sénonien qui est constitué de sables et d'argiles. Cette formation affleure dans le Nord et dans l'Est de la province Errachidia, son épaisseur dépasse 200 m et le Sénonien forme aussi un grand plateau avec des escarpements d'érosion.

Ainsi dans la partie Est de la zone d'étude, des sédiments miocènes récents, avec des épaisseurs et une lithologie variables, recouvrent le Sénonien.

II.1.3 Quaternaire : Les terrains quaternaires sont très développés et occupent les cuvettes synclinales et les zones de plaines, notamment à l'Est. Selon les endroits, ces terrains sont représentés par des poudingues plus ou moins cimentés, des alluvions graveleuses, des calcaires lacustres, des limons et alluvions de basses terrasses ou des cailloutis. Dans la zone d'étude, il est important de noter l'abondance de cônes d'alluvions ou de déjections et de glacis de versant ou de piedmont.

II.1.1 Structure du bassin crétacé d'Errachidia

Le bassin crétacé d'Errachidia forme, entre le Haut Atlas et l'Anti Atlas, un vaste synclinal. Les études géologiques antérieures ont montré qu'il s'agit d'un synclinal dissymétrique dont l'axe, orienté sensiblement WSW-ENE, est parallèle à l'orientation structurale du Haut Atlas.

Une structure tabulaire prédomine dans la zone sud du synclinal où les terrains secondaires, généralement réduits au Crétacé, reposent sur le Paléozoïque peu profond.

Dans la zone nord, avant-fossé du Haut Atlas, la série secondaire est très puissante.

On peut diviser cette zone nord, de l'Ouest vers l'Est, en trois unités d'importance inégale :

- A l'Ouest, entre Goulmima et Tinghir, où le synclinal est relativement étroit. Il se raccorde à l'Ouest avec le bassin d'Ouarzazate. Dans la région de Tinghir, on y observe, sur le flanc nord, des chevauchements des terrains jurassiques sur les formations crétacées ;
- Au centre, le « bassin du Ziz » qui s'étend entre Goulmima et Boudnib. Sa largeur est grande entre le Haut Atlas au Nord et la région d'Aoufous au Sud (suivant la vallée du Ziz) ;
- A l'Est, le « bassin du Guir » qui s'étend à l'Est de Boudnib.

Cette zone nord du bassin, montre une structure synclinoriale dont les plis s'accroissent à proximité du Haut Atlas.

Entre Ighri n'Taltfraout à l'Ouest et Jbel Ikhf n'Tafounast, s'étend, sur des dizaines de kilomètres, l'anticlinal crétacé de Timidroust. Son axe est orienté SW-NE. Son cœur est constitué de terrains infracénomaniens.

Un grand accident ; l'accident de Taltfraout-Errachidia, affecte les terrains crétacés de la partie nord du bassin d'Errachidia, entre ces deux localités. Il borde, au Sud, l'anticlinal de Timidroust.

Entre Tinghir, à l'Ouest, et Jbel Bou Izroust à l'Est, l'accident sud-atlasique met le Crétacé du bassin d'Errachidia en contact anormal avec le Jurassique du Haut Atlas. Ce dernier est parfois chevauchant le long de l'accident.

A l'Est du Ziz, le contact anormal Jurassique-Crétacé est masqué par les dépôts quaternaires, jusqu'à Missendal. Entre Missendal et Jbel Bou Izrou, le contact Jurassique-Sénonien est parfois visible.

Vers l'Est, on observe d'autres structures anticlinales : Boubarnous, Mechmech et la grande flexure au Nord-Ouest de Bouanane.

II.1.2 Tectonique au contact de Haut Atlas et le bassin d'Errachidia.

Les terrains du versant sud du Haut Atlas central et oriental sont affectés par un certain nombre de failles, de fractures, de plis et de flexures qui se relayent d'Ouest en Est. Chacune de ces structures forme un anticlinal ou un accident plus ou moins important, généralement de direction SW-NE. Ainsi, un grand accident apparaît dans la région au Nord de Tinghir, pénètre dans le Haut Atlas, passe par Jbel Tizi n'Firest et se poursuit jusqu'au Nord de Gourrama, au Nord-est. Cet accident, appelé accident de Tizi n' Firest, est relayé à l'Est par l'accident de Jbel Bou Arous.

La figure ci-dessous représente une coupe géologique qui montre la situation tectonique de la zone d'étude.

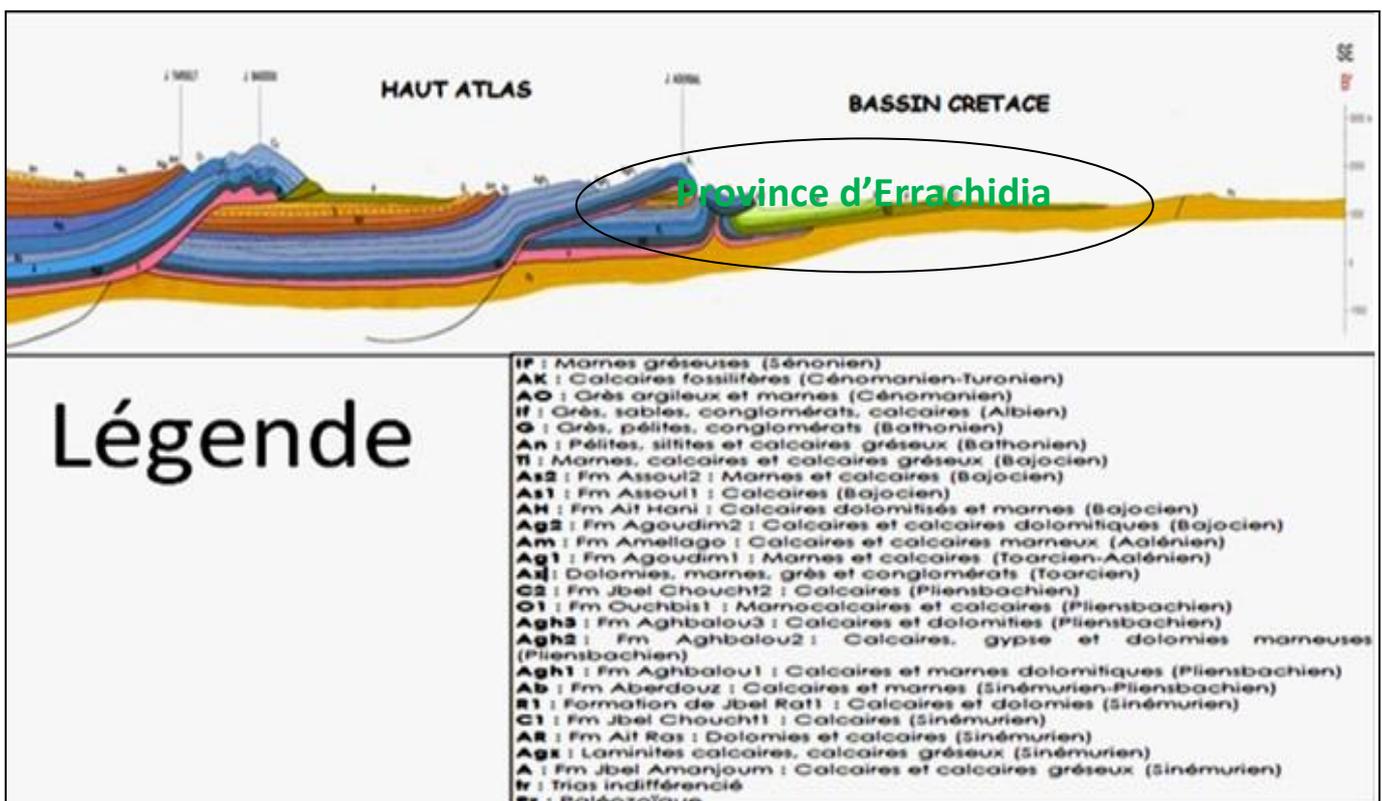


Figure 18: Coupe géologique globale du Haut Atlas et Bassin Crétacé (Etude ANZAR,2009, modifiée)

II.2. Synthèse des reconnaissances géophysiques anciennes

II.2.1 Description des études géophysiques existantes

Les campagnes de prospection électrique réalisées dans la province d'Errachidia couvrent une grande étendue dans le bassin Crétacé. La figure 21 montre la situation de ces études à l'échelle de ces deux bassins.

Les principales études géophysiques existantes dans le bassin crétacé d'Errachidia Boudnib sont :

- Etude par prospection électrique dans la région nord d'Erfoud (1987) ;
- Synthèse géophysique du bassin d'Errachidia-Boudnib (1988) ;
- Etude par prospection électrique dans la région Erfoud-Tinghir (1989) ;
- Prospection géophysique par méthode électrique dans la région nord-est d'Erfoud (1991) ;
- Prospection géophysique par méthode électrique dans le bassin d'Errachidia-Boudnib : région nord de Goulmima (1991) ;
- Prospection géophysique par méthode électrique dans le bassin d'Errachidia-Boudnib : région nord de Tarda-Errachidia (1991) ;
- Prospection géophysique par méthode électrique dans le bassin d'Errachidia-Boudnib (1991) ;
- Etude géophysique par sondages électriques dans la région Boudnib (2007).

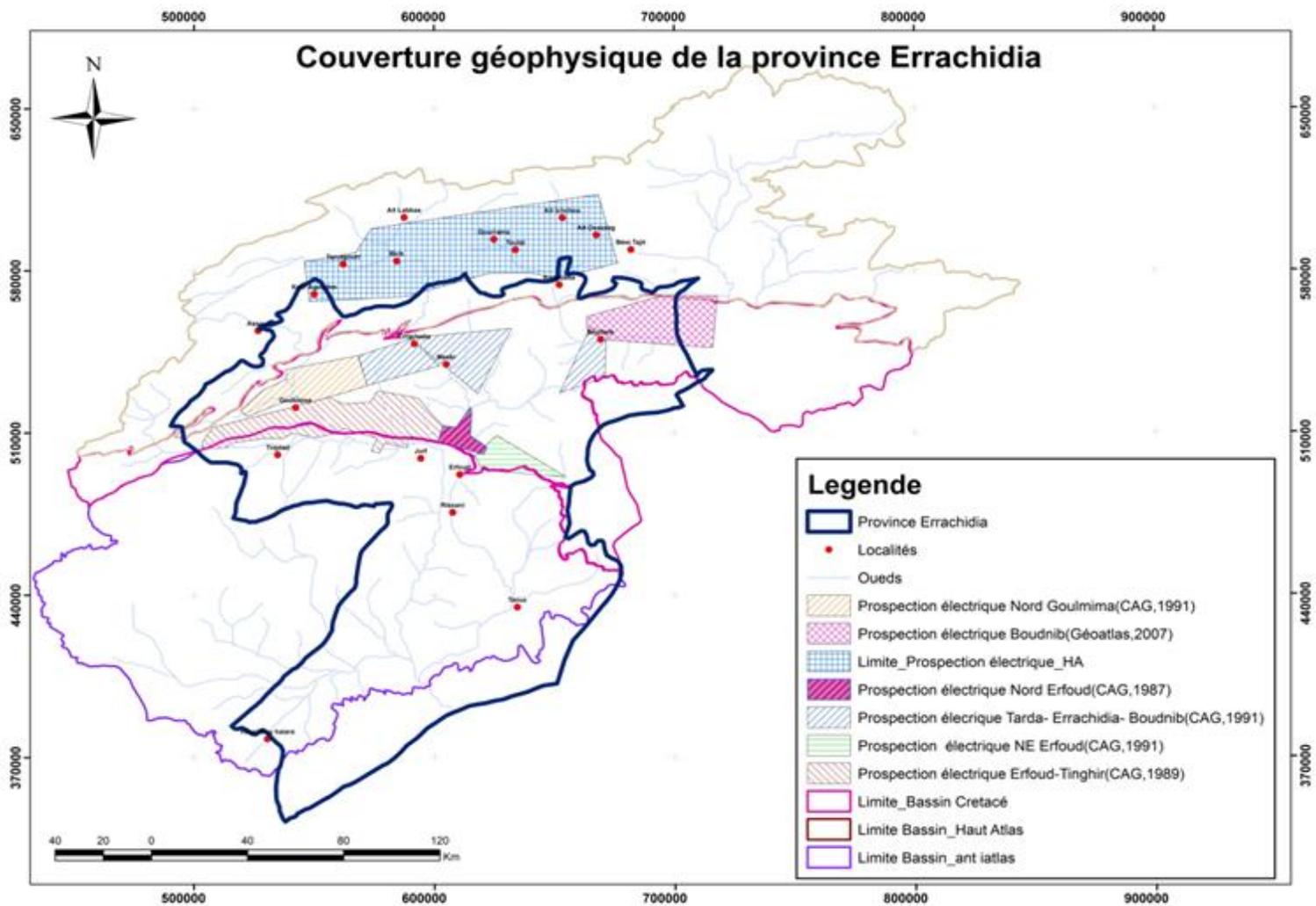


Figure19: Couverture Géophysique de la province Errachidia

II.2.2 Exploitation des Résultats

a) Etude par prospection électrique dans la région nord d'Errachidia (1993)

Cette prospection par sondages électriques réalisée en 1993 avait pour objectif de suivre les formations du Domérien en profondeur, de fournir des indications précises sur la topographie du toit de ces formations et d'estimer l'épaisseur du recouvrement.

Cette étude qui a comporté sur la réalisation de 220 sondages électriques avec des longueurs de lignes AB de 8 à 10 Km. Elle a mis en évidence les niveaux suivants :

- Niveau marno-calcaire à dominance marneuse attribués au complexe Bathonien-Bajocien avec des variations d'épaisseurs.
- Niveau marno-calcaire à dominance calcaire de l'Aalénien.
- Niveau marno-calcaire à dominance marneuse du Toarcien assez épais et met en charge les terrains sous jacents du Domérien.
- Niveau calcaire et marno-calcaire du Domérien.

b) Etude par prospection électrique dans la région nord d'Erfoud (1987)

En se basant sur les données des forages situés sur le secteur d'Ain El Atti (Figure 20), CAG a complété l'état de connaissances de la nappe Infracénomaniene entre Aoufous et Erfoud par la réalisation de cette prospection électrique en 1987 au Nord d'Erfoud ; 145 sondages électriques (SE) ont été réalisés.

Cette étude a montré l'existence d'une discontinuité électrique qui est sub-parallèle aux reliefs actuels bordant la plaine d'Erfoud au Nord. Cette discontinuité marque une substitution brutale d'un substratum résistant assimilé aux schistes viséens au Sud (≥ 25 Ohm.m) par un ensemble plus résistant (≥ 400 Ohm.m) représentant pour partie les faciès gréseux de la base de l'Infracénomaniien au Nord.

La carte de la résistance transversale (Figure 20) montre au centre de la zone, un secteur avec des valeurs de la RT très faibles (< 500 Ohm.m²) témoignant de l'existence de formations à faciès argileux ; deux autres secteurs de faible RT existent au SE et SW.

Les plus fortes valeurs de la RT (> 2000 Ohm.m²) sont situées suivant une bande qui épouse en grande partie la limite d'affleurement du Turonien au N, NE et NW.

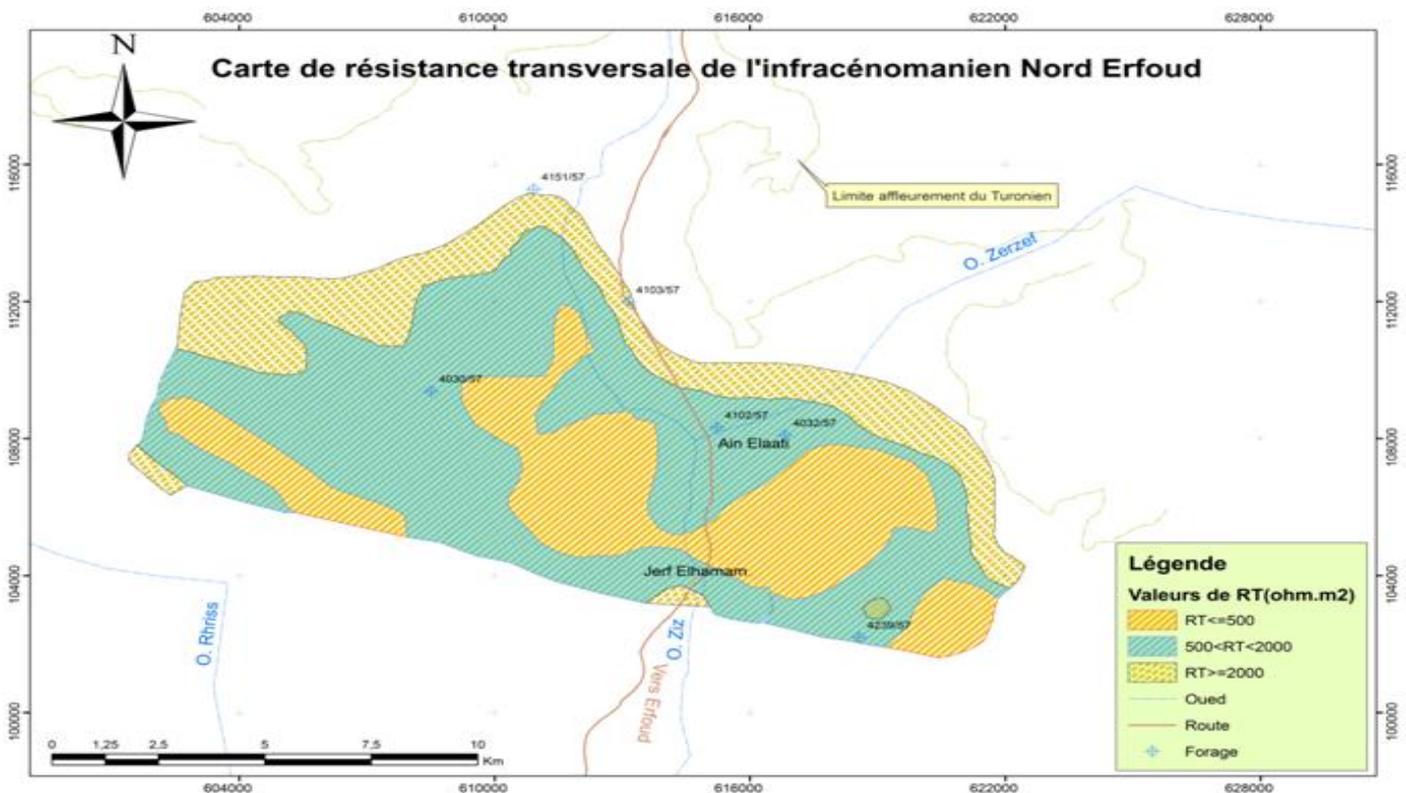


Figure 20 : Carte de la résistance transversale de l'Infracénomaniien Nord Erfoud

c) Etude par prospection électrique dans la région Erfoud-Tinghir (1989)

Cette étude qui a porté sur la réalisation de 354 sondages électriques avec des longueurs de lignes AB comprises entre 1 et 8 Km.

Elle a permis de préciser la lithologie de l'ensemble des formations à faciès continental de l'Infracénomanien et d'en déterminer l'épaisseur avec une précision relative. En effet, du Sud vers le Nord, l'Infracénomanien, essentiellement argilo-sableux ou marneux et d'épaisseur réduite (0-100 m), se développe (300 à 400 m de puissance) et renferme de nombreuses intercalations de calcaires, grès et gypse. reposant sur les schistes et marnes noires paléozoïques assez conductrices (50-100 Ohm.m) dans la moitié méridionale de la zone étudiée, cet Infracénomanien recouvre vers le Nord et au pied du plateau de Goulmima-Errachidia un substratum résistant (plusieurs centaines d'Ohm.m) constitué de calcaires, de grès et de schistes allant du Lias jusqu'au Cambrien.

La figure 21 ci-dessous montre la résistance transversale obtenue à partir des résultats de cette étude.

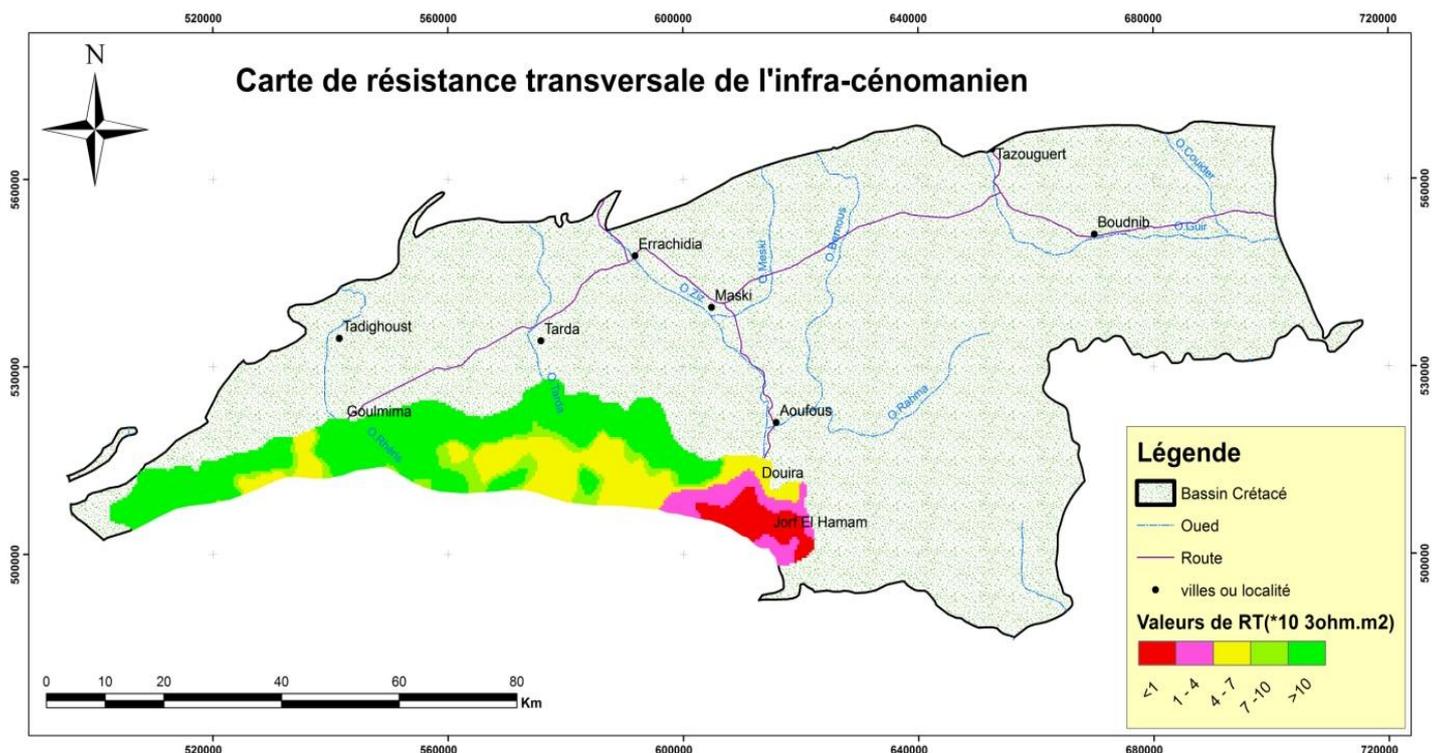


Figure 21 : Carte de la résistance transversale de l'Infracénomanien

d) Prospection géophysique par méthode électrique dans la région Nord-est d'Erfoud (1991)

Cette étude a porté sur la réalisation de 68 sondages électriques avec des longueurs de lignes AB comprises entre 2 et 10 Km. Les résultats obtenus montrent que :

- La zone prospectée se divise en deux entités distinctes, localisées de part et d'autre de l'éperon de calcaire turonien de Slilim.
- A l'Ouest, le substratum faiblement résistant (30-80 Ohm.m) correspond aux schistes viséens. L'Infracénomanien qui s'épaissit du Sud vers le Nord y est bien développé

puisque sa puissance dépasse couramment 50 m tandis que sa résistivité peut dépasser 200 Ohm.m.

- A l'Est, le substratum devient très résistant (résistivité supérieure à 2000 Ohm.m) et généralement peu profond (quelques dizaines de mètres). Cette zone correspond à une remontée vers la surface de niveaux plus anciens (Ordovicien, Précambrien) très résistants formés de grès quartzitiques et de roches éruptives.
- Dans cette partie d'étude, l'Infracénomaniens est peu développé, sauf en bordure Nord au pied de la falaise turonienne où quelques sondages électriques ont montré la présence d'un résistant profond (50 à 90 m de profondeur) qui ont été attribué à l'Infracénomaniens, bien que son appartenance à la série primaire ne soit pas exclue.

e) Prospection géophysique par méthode électrique : région nord de Goulmima (1991)

La région Nord de Goulmima (située entre Timekit et Tarda) a fait l'objet d'une prospection géophysique par méthode électrique réalisée par la CAG en 1991. Cette prospection avait pour but de compléter les connaissances géologiques et hydrogéologiques concernant le bassin mésozoïque compris entre l'accident sud-atlasique au Nord et les affleurements Infracénomaniens au Sud.

Les résultats de cette prospection ont permis de mettre en évidence les faits suivants :

- Une majorité de sondages électriques présentent une forme "en cloche" (Figure 24) correspondant à un puissant ensemble résistant intercalé entre des terrains de surface et un substratum plutôt conducteur. Cet ensemble résistant a été attribué dans sa majorité aux terrains turoniens, Infracénomaniens et jurassiques.
- Quant au substratum, il a été assimilé aux schistes primaires, aux terrains permotriassiques, voire à une fraction argileuse du Jurassique.
- Les niveaux conducteurs de surface ont été attribués au sénonien.
- Il existe des secteurs où les terrains résistants sont plus développés et présentent ainsi de fortes valeurs de la RT, c'est le cas, en particulier, de la région centrée sur le sondage électrique 8N160 et la région constituant l'extrémité Sud-ouest de l'étude.
- Ces zones sont en partie limitées par des discontinuités électriques d'orientation subméridienne à SSW/NNE suggérant l'existence éventuelle d'une tectonique transverse au plateau.

f) Prospection géophysique par méthode électrique dans le bassin d'Errachidia-Boudnib (1991)

Cette étude a porté sur la réalisation de 235 sondages électriques avec des longueurs de lignes AB comprises entre 2 et 10 Km. Elle a permis de montrer que la région concernée par cette étude paraît hydrogéologiquement moins favorable que celle située à l'Ouest d'Errachidia. Les résultats obtenus sont les suivantes :

- Le développement de faciès conducteurs.
- Dans l'ensemble, la diminution des résistivités au niveau des aires conductrices, concerne aussi bien les terrains profonds que les plus superficiels sans préciser si cette diminution est liée à la présence d'argile ou d'eau salée.

- Lorsqu'ils existent, les horizons résistants anti-turonien, sont souvent situés à grande profondeur et le risque de capter localement une eau de mauvaise qualité est plus élevé (dissolution du gypse).
- En bordure Nord de la zone d'étude, les Sondages électriques (résistants) sont moins nombreux que dans la partie septentrionale du plateau de Goulmima-Errachidia. Ils se cantonnent principalement aux alentours de l'anticlinal de Tazougert.
- Les niveaux attribués au Sénonien se présentent sous forme d'une alternance d'horizons résistants et conducteurs se biseautant vers la bordure sud et sud-ouest du bassin.
- Les niveaux conducteurs ont tendance à se développer vers l'Est, notamment dans la région de Boudnib. Toutefois, lorsque le Turonien est très profond (> 600 m), la partie inférieure du Sénonien est relativement résistante (argile plus sableuse, marneuse ou gypseuse) et le toit de cette formation coïncide localement avec le toit de l'horizon intra-sénonien.
- Le Turonien peut parfois présenter des valeurs de résistivité assez faibles (une centaine d'Ohm.m).

g) Etude géophysique par sondages électriques dans la région de Boudnib (2007)

Cette étude a pour objectif de suivre l'évolution des niveaux résistants susceptibles de constituer des aquifères potentiels, de donner une meilleure estimation sur leurs caractéristiques physiques (épaisseur, résistivité) et de préciser leurs extensions. On cite en particulier l'Oligocène, le Sénonien (Santonien) et le Turonien. Pour cela, 141 Sondages électriques ont été réalisés avec des longueurs de ligne AB de 10000 m.

Elle a permis de fournir les résultats décrits ci-dessous :

- Le toit et le mur du résistant, attribué aux grès et calcaires argileux du Sénonien supérieur-Paléogène, ont été suivis, de même que l'allure du toit du substratum résistant R_s attribué au Santonien-Turonien. Ce dernier ne s'est pas manifesté électriquement au Nord de la zone d'étude.
- Les résultats ont permis aussi de localiser une dépression de vaste étendue qui plonge doucement vers l'ENE, des zones basses et d'extension réduite et une zone haute limitée au SE par la discontinuité électrique, caractérisée par une remontée accentuée des toits des niveaux résistants.
- Il paraît à la fois dispendieux et aléatoire de vouloir atteindre les formations carbonatées et dolomitiques du Turonien et de la base du Coniacien-Santonien (Sénonien) pour les raisons suivantes :
 - profondeur élevée (localement à plus de 1000 m de profondeur).
 - salinité probablement excessive des eaux : ces formations sont en effet encadrées d'évaporites.
 - absence possible de réseaux karstiques : en effet, l'absence du substratum résistant au Nord-est de l'étude et la subsidence, relativement forte, de la partie Nord du bassin permettent de douter du caractère continu de la formation des calcaires à rudistes.

II.2.3 Conclusion

Le Sénonien présente de grandes variations de résistivité tant latérale que verticale. En effet, les faciès gréseux (résistants) sont développés au Nord du bassin d'Errachidia alors que les faciès argileux et/ou sableux prédominent dans la zone sud du bassin.

Le Turonien est sub-affleurant au Sud et au Nord, et seulement masqué par les dépôts alluviaux après érosion du Sénonien. Lorsqu'il n'est pas érodé, son épaisseur varie et est comprise entre 25 et 100 m. Sa résistivité diminue lorsqu'il s'enfonce sous le Sénonien puis augmente dans la partie Nord. Dans cette dernière, le Turonien est plus épais et très résistant ; ainsi cette zone forme un site favorable pour l'implantation de forages. Cette variation de résistivité peut être expliquée par une variation de faciès (passages de calcaires francs à des calcaires marneux à l'est du bassin). Elle traduirait peu une variation de la qualité de l'eau : la qualité est bonne entre Goulmima et Errachidia et moins bonne au centre et à l'est du bassin.

L'Infracénomannien, essentiellement argilo-sableux ou marneux, d'épaisseur réduite au Sud devient gréseux, avec des intercalations gypsifères et une épaisseur bien développée vers le Nord. Il repose en discordance sur les schistes et marnes noires (conducteur) du Primaire dans la moitié sud du bassin alors que dans la partie Nord, il recouvre un substratum résistant constitué de calcaires, de grès et de schistes allant du Cambrien jusqu'au Lias. La concentration en sels dissous, supérieure à 8 g/l dans la région d'Ain El Atti, diminue vers le Nord et vers l'Ouest, ceci est mis en évidence clairement par les sondages électriques.

Du point de vue hydrogéologique, le domaine le plus prometteur semble être limité à la partie occidentale de l'aire prospectée. En effet les niveaux résistants de l'Infracénomannien (sable gréseux) sont bien développés et le niveau statique est généralement situé suffisamment près de la surface pour saturer une grande partie de ces terrains.

A l'opposé, la moitié orientale de l'étude paraît défavorable car la couverture mésozoïque y est peu épaisse. Le principal réservoir pourrait être constitué par la frange altérée du substratum résistant (sables dérivant des grès) lorsque le niveau statique est suffisamment proche de la surface pour permettre la saturation de ces terrains.

Chapitre 3 : Etude hydrogéologique du bassin Crétacé d'Errachidia

I. Introduction

I.1. Inventaire des points d'eau existants dans le bassin

L'étude hydrogéologique du bassin crétacé repose sur un inventaire de 1329 Point d'eau (figure 24), dont 132 sources et 1297 ouvrages répartis en piézomètres, puits, forages d'exploitation et forages de reconnaissance.

Au cours de campagne du terrain, on réussit d'effectuer un nombre considérable de mesures sur différents points d'eau, malgré les difficultés d'accès notamment pour les forages d'exploitation, ainsi celle de quelques forages de reconnaissance endommagés, bondonnés ou bien fermés.

Ces mesures ont nous permettent de corriger, d'actualiser et de compléter les données disponibles pour enrichir de plus cette étude.

Ces ressources sont représentées dans la figure suivante :

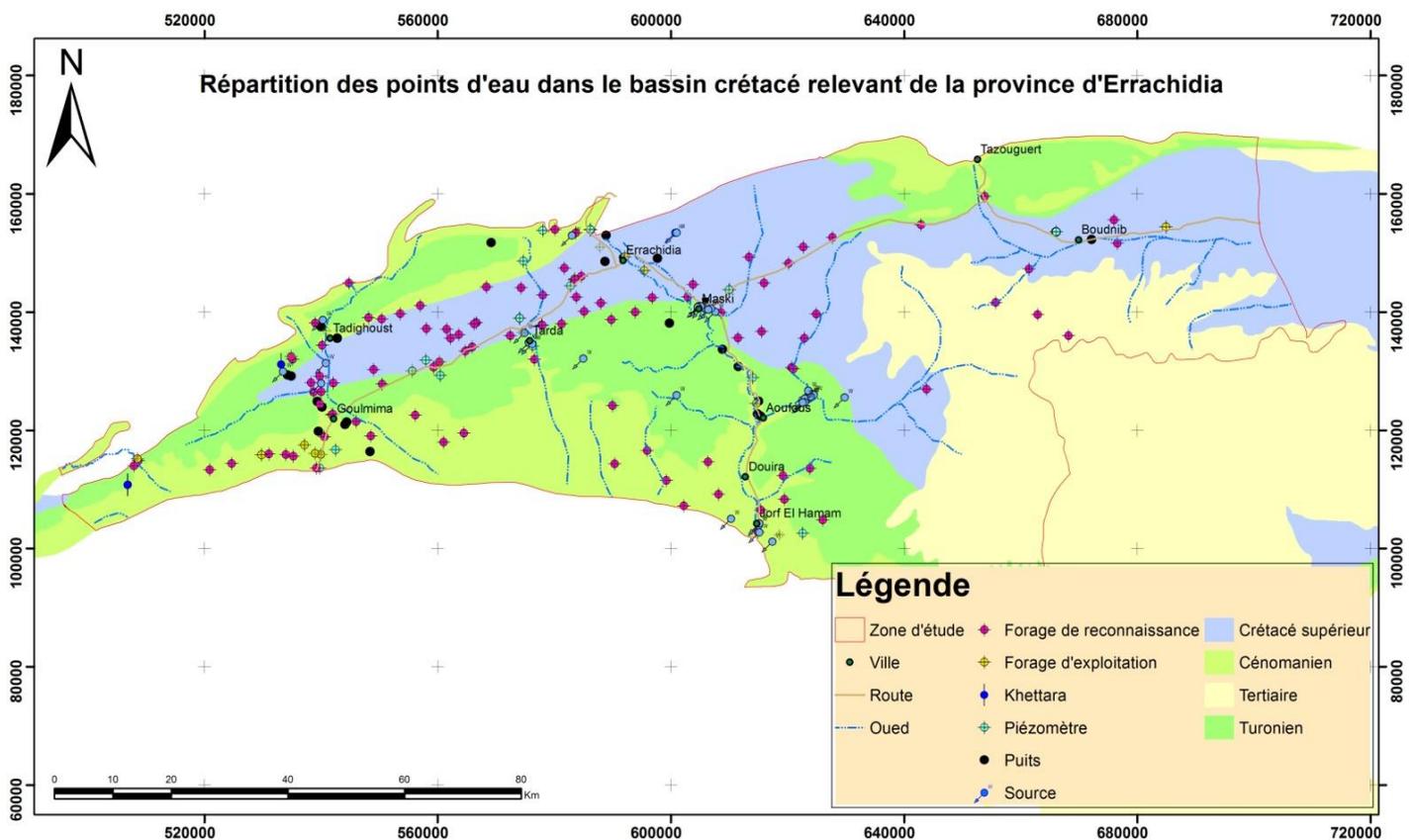


Figure 22 : Répartition des points d'eau dans la zone d'étude

I.2. Identification des différents horizons aquifères du bassin

Les eaux souterraines dans le bassin crétacé jouent un rôle primordial dans la satisfaction des besoins en eau de la province d'Errachidia. Ces ressources sont constituées d'une part de nappes phréatiques situées le long des vallées et caractérisées par leur faible étendue et leur dépendance directe des aléas climatiques et d'autre part, de nappes profondes qui sont subdivisées du bas en haut en trois aquifères : l'Infracénomannien, le turonien et le sénonien (Daba et Jalab, 2011)

I.2.1 Nappes phréatiques (Quaternaire)

Situées généralement le long des vallées caractérisées par leur dépendance directe des aléas climatiques. Excepté la plaine du Tafilalt dont la superficie est relativement importante, les autres aquifères quaternaires sont caractérisées par de faibles étendues.

La persistance du déficit pluviométrique cumulé depuis les cinq dernières années, conjugué avec l'exploitation intensive des ressources en eau les plus accessibles, a été à l'origine d'une baisse généralisée du niveau piézométrique de la plupart des nappes phréatiques de la

province. Cette baisse varie de 4 à 5 m et peut atteindre 8 à 10 m dans les nappes d'Errachidia et Tinjdad. (DRH GRZ, 2007)

I.2.2 Nappes profondes

Le bassin crétacé d'Errachidia qui s'étend entre le Haut et l'Anti Atlas et comprend des aquifères qui sont de haut en bas :

- Nappe du Sénonien qui présente un artésianisme entre Bouânane et Boudnib, exploitée par des puits et des forages;
- Nappe des calcaires turoniens qui donne naissance aux sources de Tifounassine, Meski et Tarda.
- Nappe de l'Infracénomannien localement artésienne, elle est drainée par un complexe de Khetaras au sud de la zone de Goulmima Tinjdad. Cette nappe est peu exploitée en raison de sa salinité dans la zone avale et de sa profondeur.

I.2.2.1. Nappe de Sénonien

L'aquifère du Sénonien présente une lithologie très diversifiée, constituée de sables très fins et d'argiles rouges plus ou moins sableuses ou gypseuses, le plus souvent à intercalations de bancs gréseux. L'épaisseur du Sénonien est variable. Il augmente de l'Ouest vers le Centre. En effet, les épaisseurs minimales 20 m environ se situent au Nord et au Nord-Ouest et les épaisseurs maximales sont rencontrées dans la dépression d'Errachidia. Le sens d'écoulement du Sénonien est généralement Nord-Sud, avec des axes d'écoulement préférentiel de mêmes directions que celles du Sénonien.

I.2.2.2. Nappe de Turonien

L'aquifère du Turonien constitue l'aquifère principal du bassin. Il offre les meilleures productivités et constitue un milieu hétérogène de type karstique et continu. Il est représenté à l'affleurement par des calcaires dolomitiques massifs au sommet et lités à la base et des

intercalations de marnes qui deviennent plus fréquente vers la base de la formation. Il est exploité essentiellement au Centre du bassin avec des débits variant entre 10 et 60 l/s.

L'écoulement général de l'aquifère est Nord-Sud avec toutefois des axes d'écoulement préférentielles de directions NE-SW et NW-SE qui se dirigent vers les exutoires principaux du Turonien qui sont : les sources Meski, Tarda et Mouy.

I.2.2.3. Nappe d'Infracénomanien

L'aquifère de l'Infracénomanien est constitué de grès, de sables fins à moyens à intercalations d'anhydrites. La puissance du réservoir est variable. En effet, à l'Ouest du bassin, l'aquifère montre des épaisseurs moyennes de l'ordre de 200 m, alors qu'au Sud et dans la région d'Aoufous, l'Infracénomanien est très développé avec des épaisseurs variant entre 300 et 400 m. Au cœur de synclinal, l'Infracénomanien présente une épaisseur d'environ 530 m, a été traversé par le forage pétrolier KES1 à une profondeur de 550 m. L'aquifère de l'Infracénomanien est exploité dans deux secteurs : le secteur de Goulmima-Tinjdad à l'Ouest et le secteur d'Erfoud au Sud.

Deux axes d'écoulement sont observées : un écoulement NW-SE dans le secteur de Goulmima –Tinjdad et un écoulement N-S dans le secteur d'Erfoud.

▪ Sources

Selon l'origine hydrogéologique, on distingue deux groupes de sources :

- Les sources émanant des formations calcaires du Turonien qui totalisent un volume annuel d'environ 14 Mm³/an.
- Les sources d'origine jurassique qui fournissent un écoulement annuel de l'ordre de 38 Mm³/an. Ces sources accusent d'importantes fluctuations saisonnières et inter annuelles. De fortes baisses des réserves renouvelables ont été enregistrées à cause des périodes de sécheresse successives et prolongées.

Les principales sources dans le bassin crétacé sont indiquées dans le tableau ci-après :

Tableau 4: Sources d'eau dans la Province d'Errachidia

Nom de la source	Date de mesure	Débit (l/s)	T (°C)	CE (µS /cm)	pH
Source bleue de Meski	16/05/2015	130	21	1943	6,9
Tamazirte (Tarda)	17/05/2015	48	22,1	263	7,28
Tinimi	19/05/2015	-	21	303	7,59
Mouy	19/06/2006	110	23,4	1807	7,16
Tifounassine	19/05/2015	105	26,4	1760	7,47
Zaouiat Aoufous	16/05/2015	12	21	1083	7,33

▪ Khetaras

La zone d'étude dispose d'un patrimoine hydraulique de mobilisation des eaux souterraines vers les oasis : les Khettaras.

L'eau de la Khetgara est mobilisée à des fins d'eau potable, d'eau domestique et d'eau pour l'irrigation. Bien que les habitants sachent l'utiliser avec modération et efficacité, les faibles volumes fournis ne permettent d'irriguer aujourd'hui que de petites superficies.

I.3. Prise des mesure et élaboration de la fiche d'enquête.

a. Prise des mesure du terrain.

Avant de commencer notre campagne de mesures, on a prédéterminé notre réseau de mesure (puit, forages et sources) pour faciliter sa mise en œuvre, mais lors de contact direct avec les conditions du terrain, on a confronté des problèmes surtout ceux qui ont liés aux forages de reconnaissances, parfois nous les trouvé abandonnés, endommagés ou fermés. Ce qui implique de chercher quelques autres points d'eau avoisinants.

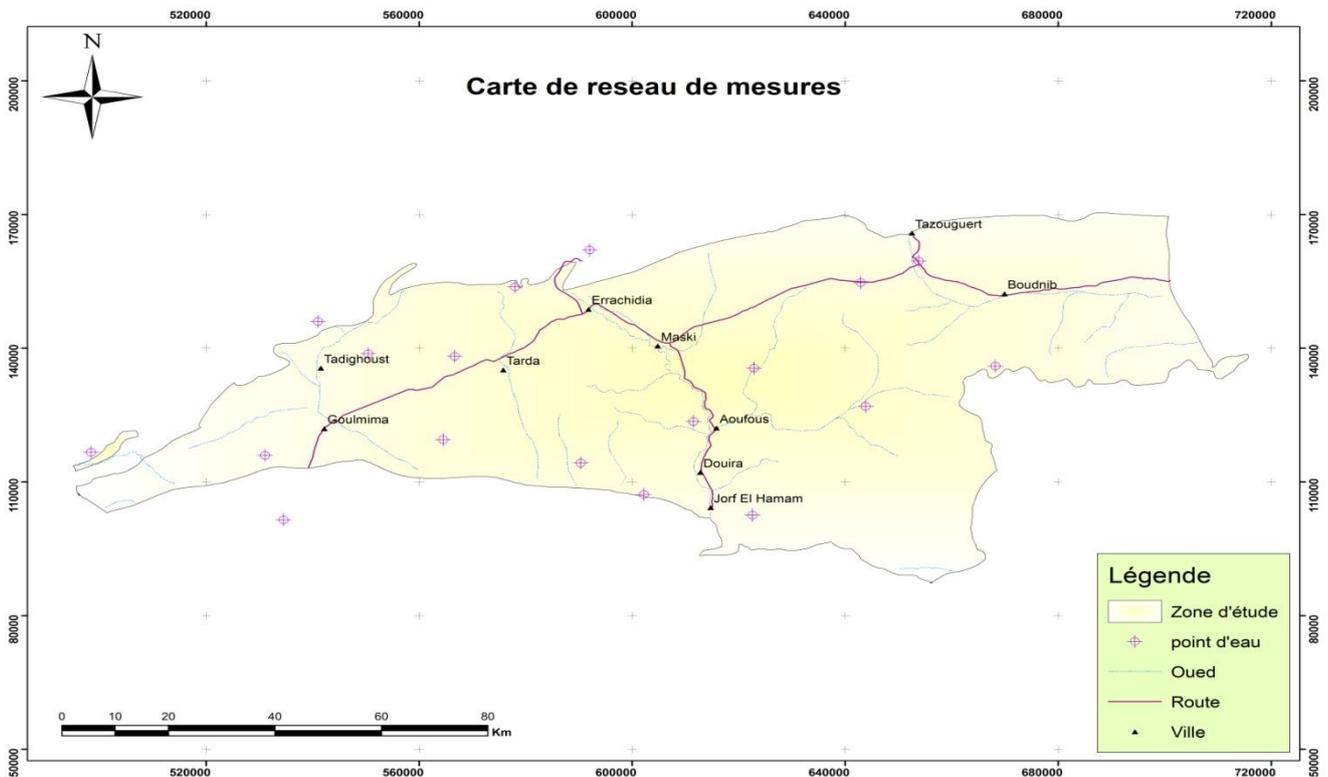


Figure 23 :Réseau de mesures effectuées dans la zone d'étude

Pour chacun de ces points d'eau on a mesuré les caractéristiques physicochimiques (conductivité électrique, pH et température) et les niveau piézométriques (pour les forages).

a. Elaboration d'une fiche d'enquête

Une fiche contient les mesures effectuées et toutes les informations liées aux forages ,puits et sources a été remplie pour chaque point de mesure (Voir annexe 3).

- Fiche d'enquête : Sources
- Fiche d'enquête : Forages/Puits

II. Piézométrie et structure de l'écoulement

La carte piézométrique (Figure 23) est établie sur la base des mesures piézométriques qu'on a réalisé lors de notre campagne du terrain (05/2015), complétée par les données actualisées des mesures piézométriques réalisées de l'année 2006.

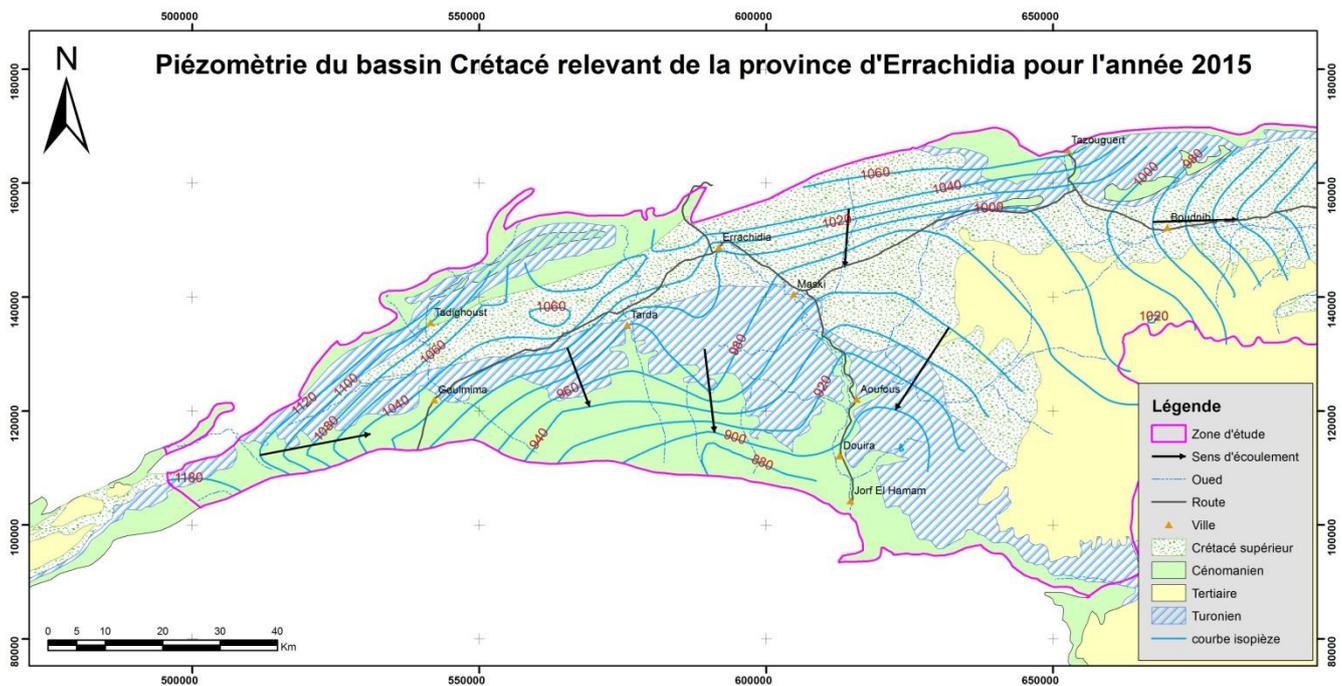


Figure 24 : Carte piézométrique de la nappe profonde de bassin créacé

L'écoulement général de la nappe se fait du Nord vers le Sud avec des axes de circulation orientés NE-SW et NW-SE. La structure de l'écoulement dans la partie nord du bassin est influencée par les sources de Tarda, Meski et Zaouiat Aoufous ; ce qui atteste l'échange probable entre les aquifères surtout le sénonien et le Turonien.

Dans le secteur ouest de Boudnib, on observe l'existence d'une ligne de partage des eaux souterraines, confirmée par le niveau piézométrique bas rencontré dans le forage N°IRE 1547/48. On peut noter aussi l'existence d'un dôme piézométrique sous la Hamada du Guir, ce dôme est soutenu par une recharge du Sénonien à partir des eaux d'orages sur la Hamada.

l'aquifère est drainé d'une part par les oueds principal du bassin et d'autre part par les sources de Tarda, Meski et Zaouiat Aoufous.

On constate que le niveau de la nappe est subit une baisse considérable au Nord-ouest du bassin justifiée par une anomalie à l'ouest de Tarda que l'on ne trouve pas dans la carte piézométrique de l'année 2006 (figure 24) cette dernière montre plus clairement un écoulement de Nord vers le sud dans cette zone.

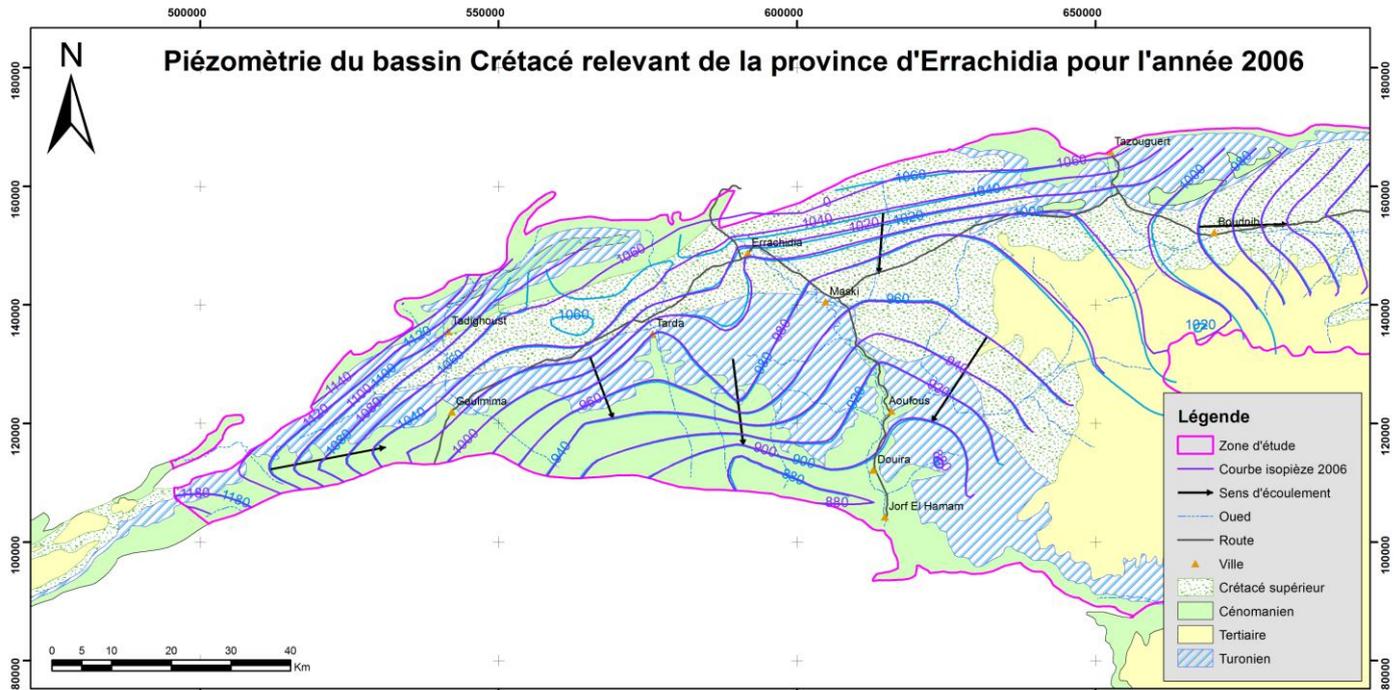


Figure 25 : Carte piézométrique de bassin Crétacé d'Errachidia pour l'année 2006.

Malgré les précipitations exceptionnelles que connaît cette année, et qui confirme un effet perfectible de réserve en eau, le niveau de nappe n'enregistre qu'une augmentation faible d'une moyenne de 1m au centre et l'ouest du bassin et de 0.5m pour la partie Est du bassin, ceci permet dire que le résultat de l'accentuation de la surexploitation des ressources en eau de cette région est en raison d'augmentation des superficies irriguées et aussi les besoins quotidiens en eau potable.

III. Paramètres hydrodynamiques et productivités

III.1. Infracénomaniens

Les valeurs des transmissivités de l'aquifère de l'Infracénomaniens varient généralement de $2.2 \cdot 10^{-5}$ à $6.8 \cdot 10^{-3}$ m²/s avec une moyenne de $1.7 \cdot 10^{-3}$ m²/s.

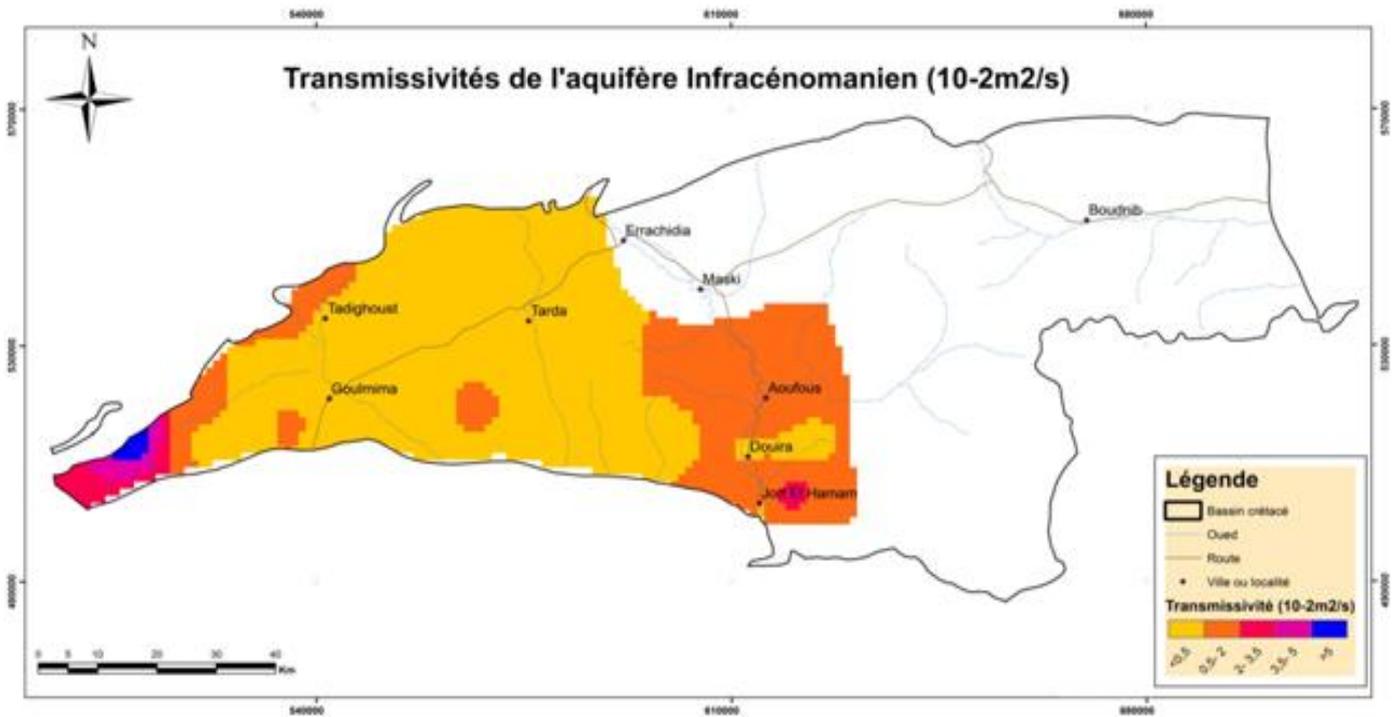


Figure 26 : transmissivités de l'aquifère Infracénomanien $10^{-2}m^2/s$

Les débits des ouvrages, captant l'aquifère de l'Infracénomanien, varient de 0.5 à 69 l/s, avec une moyenne d'environ 14 l/s. Les débits importants, dépassant les 10 l/s, sont situés au niveau des zones relevant des communes de Goulmima, Tadighoust, Rteb et Aarab Sebbah-Ziz.

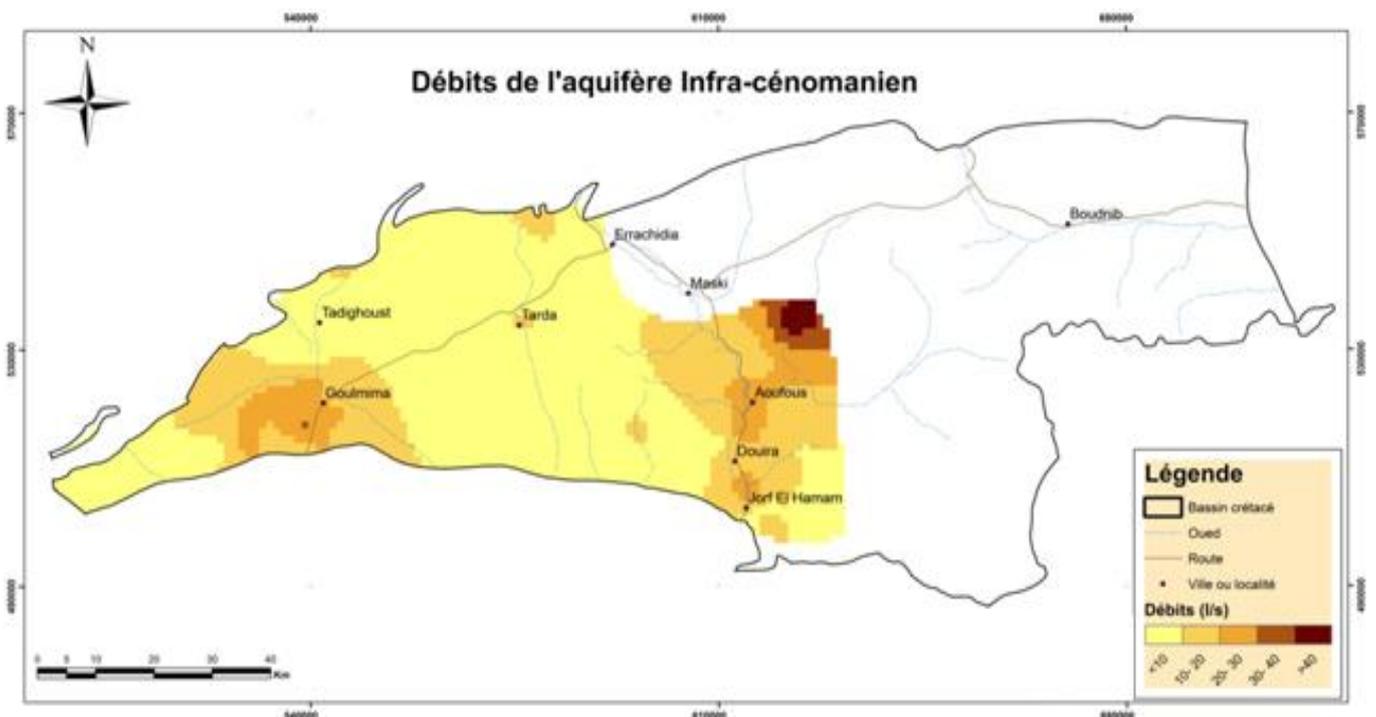


Figure 27 : Débits de l'aquifère Infracénomanien (l/s)

Dans la région d'artésianisme d'Ain El Atti, le débit des forages artésiens décroît continuellement, comme le montre l'évolution des débits mesurés au niveau du forage N°IRE 4037/57 (voir figure ci-dessous), ceci pourrait être dû à la diminution lente et progressive à la fois des réserves de la nappe et de la pression du gaz carbonique (DRH-GRZ, 2006). Le forage artésien N°IRE 4037/57 débite actuellement à près de 18 l/s.

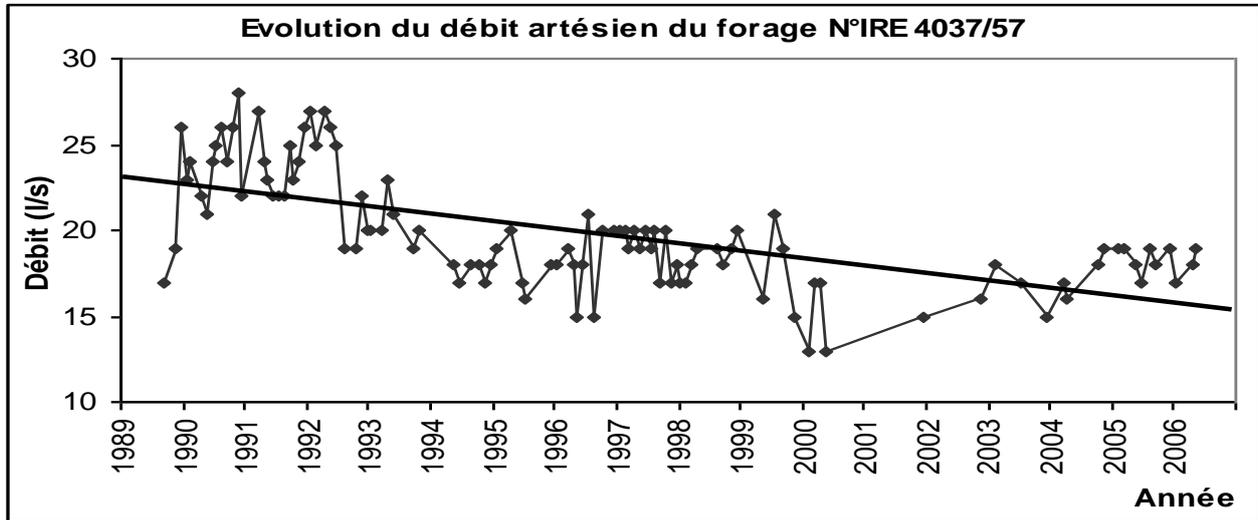


Figure 28: Evolution du débit artésien du forage N°IRE 4037/57

III.2. Turonien

Les valeurs des transmissivités disponibles de l'aquifère Turonien sont relativement importantes et varient de $10 \cdot 10^{-2}$ à $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$. Ce qui prouve sa bonne productivité dans le bassin.

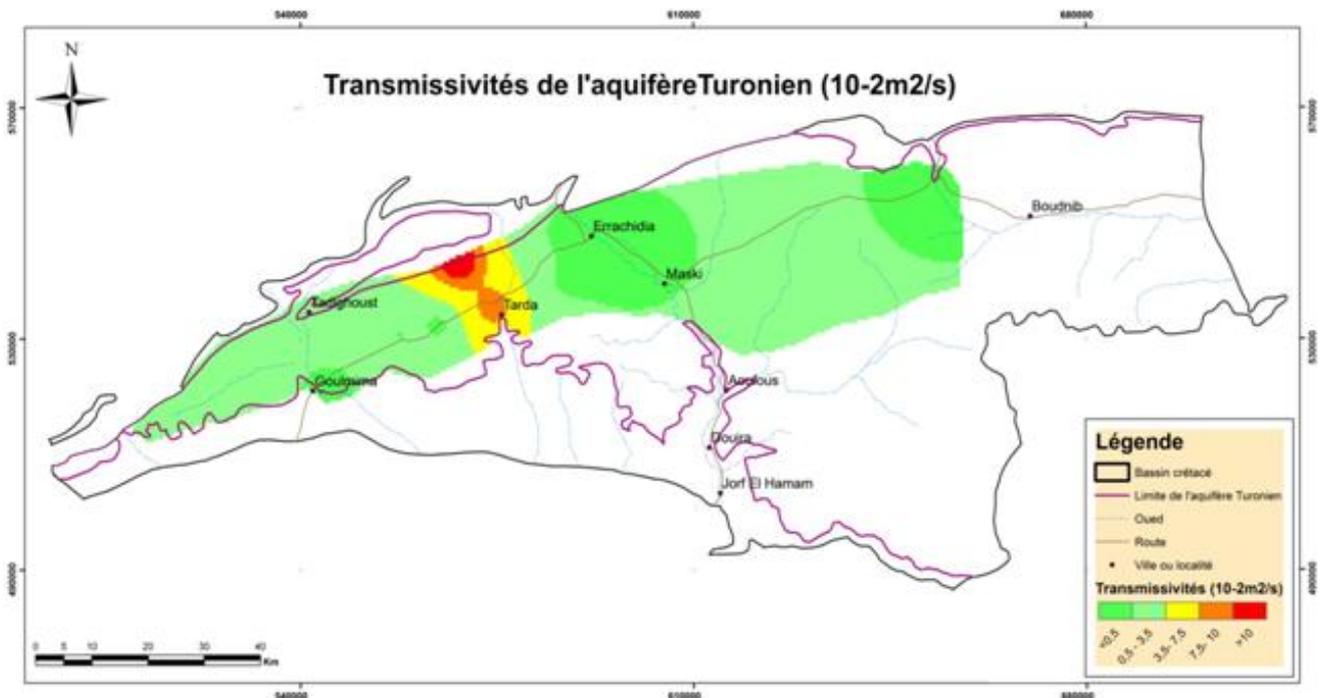


Figure 29 : Transmissivités de l'aquifère Turonien $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

La répartition spatiale des transmissivité montre que les zones sises au NW d'Errachidia sont les plus transmissives en relation avec la puissance et la nature du réservoir aquifère (calcaires fissurés).

Les valeurs relativement faibles des transmissivités au Sud d'Errachidia sont en relation avec les intercalations marneuses dans les formations calcaires Turoniens.

Les débits des forages captant l'aquifère Turonien varient de 0.2 à 120 l/s. les débits importants sont situés dans la zone Charfa Mdaghra avec des débits dépassant fréquemment 10 l/s.

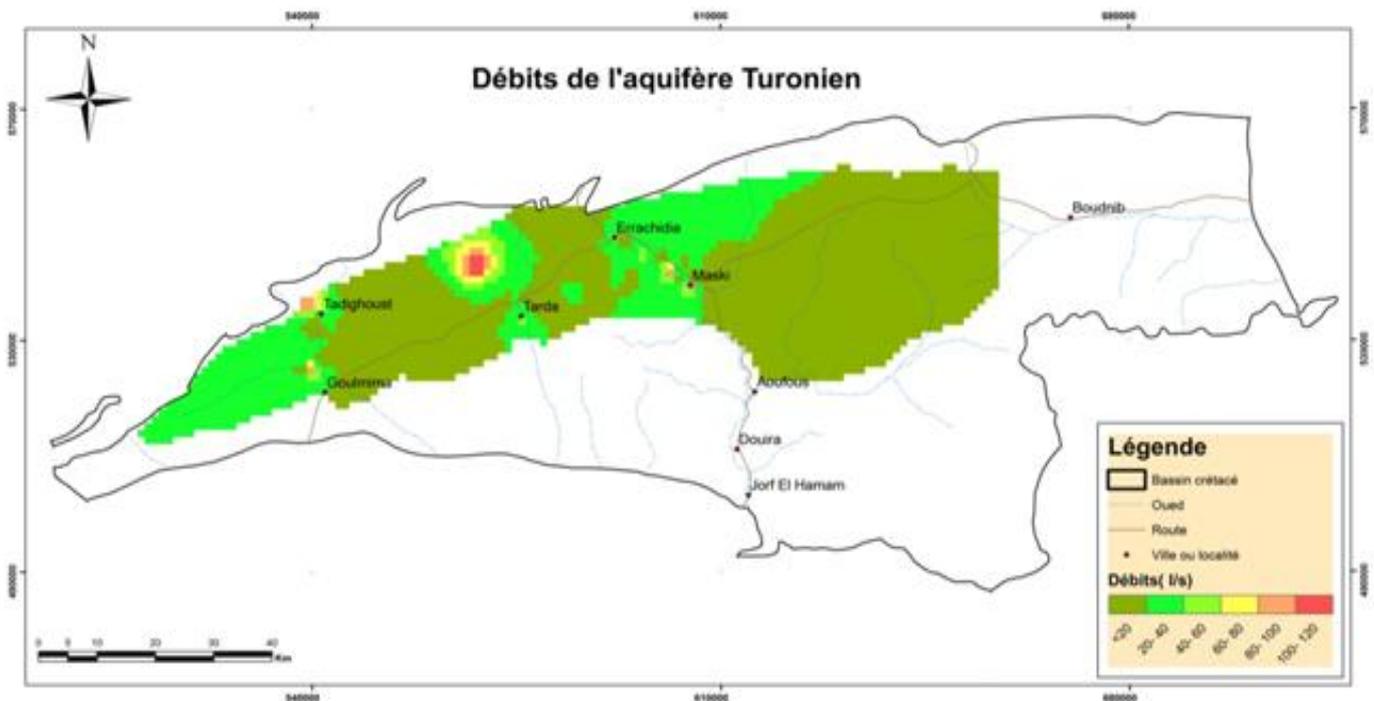


Figure 30 : Débits de l'aquifère Turonien

Les débits des sources attribuées au Turonien sont importants totalisant une décharge d'environ 430 l/s (Sources de Meski, Tifounassine, Tarda et Zaouiat Aoufous). Les débits spécifiques renseignant sur les productivités unitaires des ouvrages montrent que les régions les plus productives sont localisée dans la région NW d'Errachidia en relation avec les terrains les plus transmissifs.

III.3. Sénonien

Les valeurs de la transmissivité de l'aquifère varient de $20 \cdot 10^{-4}$ à $6.8 \cdot 10^{-2}$ m²/s

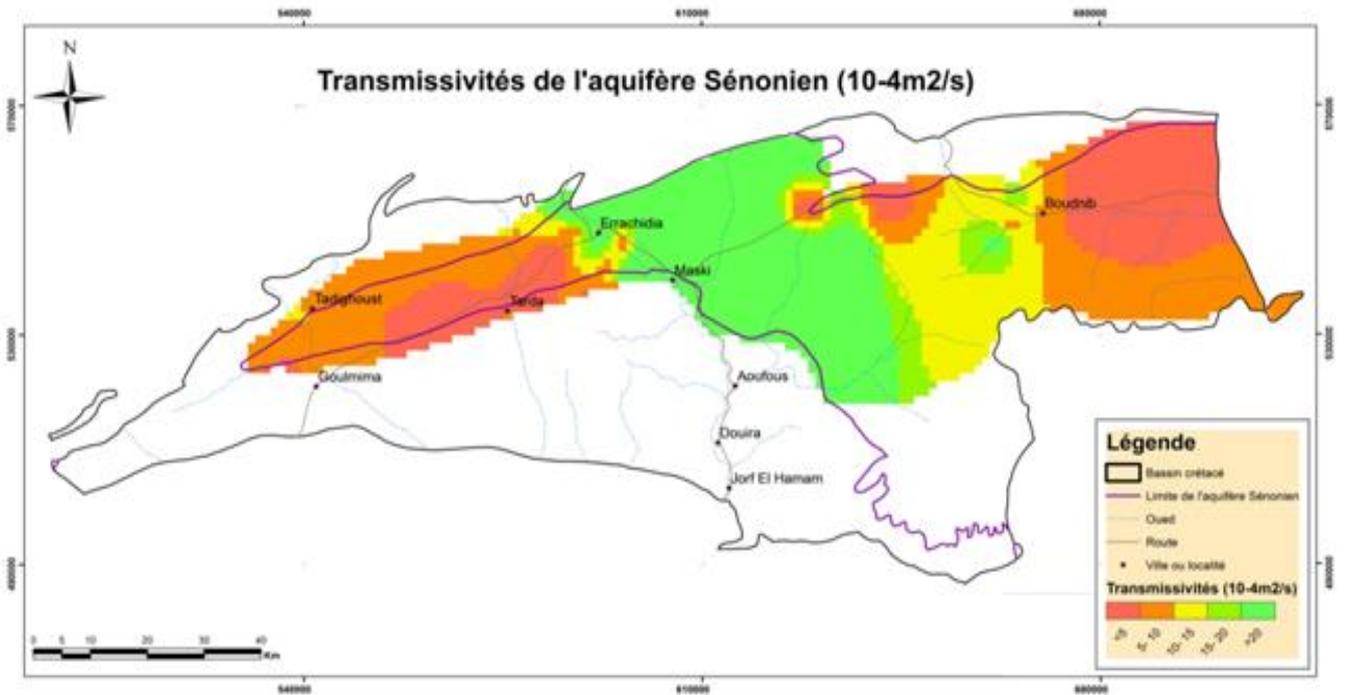


Figure 31 : Transmissivités de l'aquifère Sénonien

Les débits mis au jour sont variables avec une moyenne de près de 15 l/s. Les débits les plus importants se situent généralement dans les zones des vallées des oueds et dans le bassin de Boudnib (axe Boudnib-Sehli). Les zones de débits les plus faibles se localisent plus à l'Ouest du bassin, entre Tarda et Goulmima et à l'Est d'Errachidia, au niveau du secteur situé entre oued Meski et oued Aoufous. Les faibles débits sont dus aux fortes hétérogénéités de faciès argilo-marneux qui caractérisent les secteurs concernés.

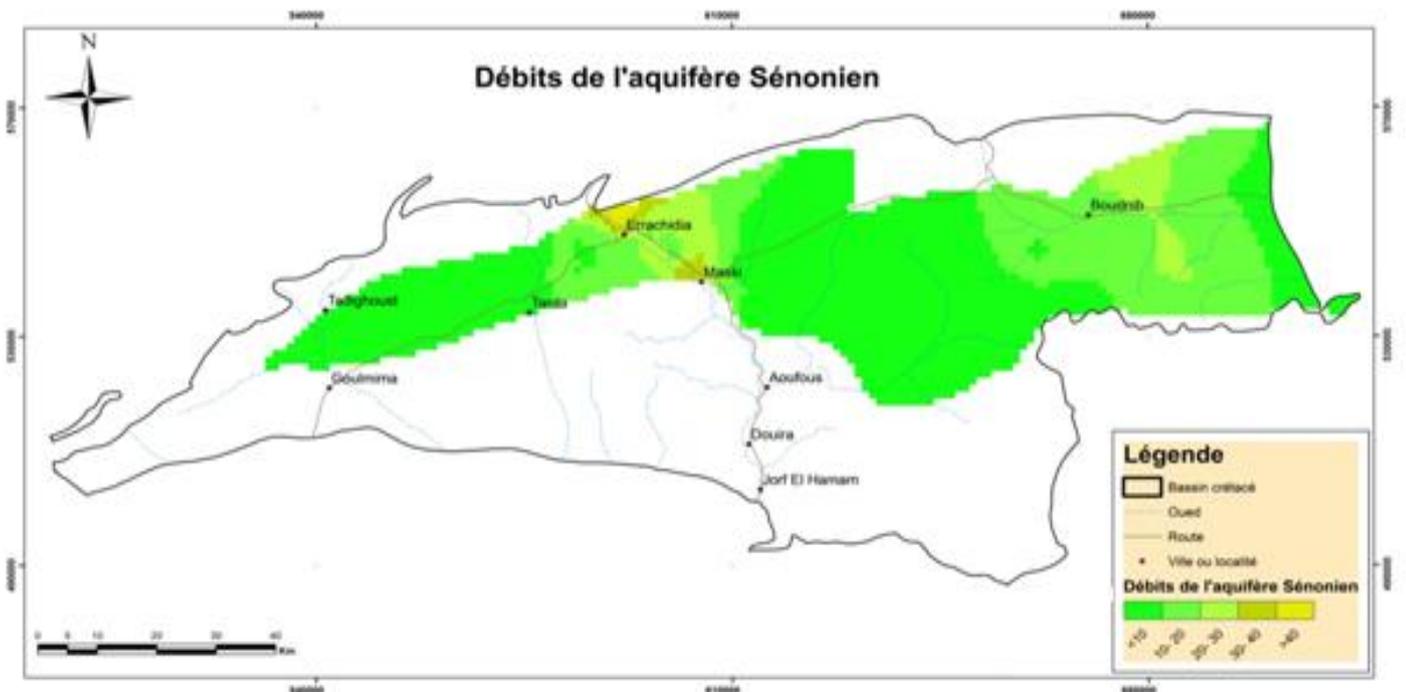


Figure 32 : Débits de l'aquifère Sénonien (l/s)

IV. Bilan hydrique des nappes.

IV.1. Entrés

a. *La recharge directe par les précipitations*

Ce paramètre a été quantifié à la base des moyennes interannuelles des séries actualisées de l'ensemble des stations pluviométriques et de la carte des isohyètes y afférentes

L'application des coefficients d'infiltrations a été effectuée tenant compte de des natures lithologique et structurale des affleurements, les pentes d'écoulement en surface, Les intensités d'évaporation des eaux de surface et le couvert végétal

Le calcul des lames d'eau infiltrées par les précipitations a été fait en appliquant ces coefficients d'infiltration au potentiel pluviométrique de chaque bassin versant, par secteur, selon les courbes isohyètes et données des stations pluviométriques disponibles.

Le volume infiltré par l'infiltration directe des précipitations a été calculé en appliquant les coefficients d'infiltrations aux volumes obtenus à partir des précipitations et des surfaces d'affleurement de chaque aquifère.

b. *La recharge par les apports de crues*

Les volumes infiltrés par l'infiltration des eaux de crues a été calculé en appliquant les coefficients d'infiltrations aux volumes obtenus à partir des données de crues et les données disponibles dans les études antérieures relatives aux surfaces d'épandages. Dans ces études, les volumes infiltrés issus des crues sont parfois directement mentionnés.

c. *La recharge par réinfiltration des eaux d'irrigation*

Ce paramètre a été quantifié à la base des volumes d'eau mobilisés pour l'irrigation

- L'application des coefficients d'infiltrations a été effectuée tenant compte de la nature lithologique des affleurements, le mode d'irrigation, les intensités d'évaporation des eaux de surface et les assolements pratiqués

Dans l'étude du PDAIRE des bassins Sud Atlasiques 1996, a chiffré ce type de recharge à la base des aménagements hydroagricoles (grande hydraulique) et les changements survenus depuis son établissement ne sont pas très significatifs. Le seul paramètre qui est mis à jour est celui des prélèvements sur la base des études réalisées par la DRH-GRZ/2006 et 2007

d. *Les flux entrants à partir du Haut Atlas*

Comme signalé précédemment, les échanges latéraux existent entre le Haut Atlas et le bassin Crétacé. Cet échange a tété mis en évidence par les synthèses géologique, géophysique et aussi par des études isotopiques.

Ce flux entrant à partir du Haut Atlas vers le bassin Crétacé a tété estimé dans l'étude de synthèse hydrogéologique DRH-GRZ/2006 grâce aux bilans des entités aquifères du Haut Atlas.

En régime permanent l'excédent de recharge a été considéré comme flux entrant au bassin Crétacé.

e. Infiltration des lâchers du BHA

L'existence d'une corrélation entre le niveau de la nappe et le niveau barrage explique son alimentation à partir de barrage Hassan Addakhil.

IV.2. Sorties

a. Les prélèvements des puits, forages et Khettaras

Les données de prélèvement sont issues des campagnes réalisées dans le cadre des études antérieures (DRH-GRZ, 2007) pour le bassin crétacé et le Haut Atlas. Les données de prélèvements pour le reste des bassins ont été relevées de l'étude de projet de développement rural à travers la réhabilitation des Khettaras au niveau de toute la zone d'action de la DRHGRZ (Etude ORMVATF 2005)

b. Les sources

La décharge à partir des sources a été obtenue à partir des données de campagne dans le cadre des études antérieures et mise à jour à partir des données de suivis de la DRH-GRZ

IV.3. Les résultats

Pour le bassin Crétacé d'Errachidia-Boudnib le complexe Sénonien-Turonien est considéré comme un seul complexe aquifère en raison des échanges verticaux au sein de cette

même unité hydrogéologique, et les termes de bilans concerneront ce complexe en entier en absence des données nécessaires pour l'estimation des drainances entre les deux aquifères

La répartition du flux de recharge, à partir du Haut Atlas entre le complexe Sénonien-Turonien et l'Infracénomien a été estimée moyennant les longueurs des fronts de nappes en utilisant la loi de Dracy.

Le bilan actualisé montre que la recharge la plus importante est celle issue de l'infiltration directe des précipitations et les apports de crues 50%. Les apports profonds du Haut Atlas représentent 24%. Les réinfiltrations des eaux d'irrigation et des eaux des lâchés du barrage Hassan Addakhil représentent respectivement 3% et 23%.

Les sorties sont dominées les drainances vers le Quaternaire (46%), puis par les prélèvements qui représentent 37%. Le drainage par les sources contribue à la décharge par 12% et les khettaras mobilisent 5% des eaux

65% des pompages globaux sont localisés dans le complexe Sénonien-Turonien et mobilisent 24% de des réserves renouvelables du tout le bassin crétacé.

Le tableau ci-dessous synthétise le bilan général des eaux souterraines de bassin crétacé d'Errachidia-Boudnib

Tableau 5: Bilan des aquifères du crétacé (Source : ABH-GRZ)

Composant du Bassin		Complexe Sénomien-Turonien	Infra-Cénomannien	Total
Recharge (Mm ³ /an)	Infiltration directe des pluies	34.80	5.30	40.10
	Réinfiltrations des eaux d'irrigation	15.80	15.80	31.60
	Recharge à partir des eaux de crues	24.10	5.10	29.20
	Lâchés des barrages	3.50	1.00	4.50
	Abouchement du Haut Atlas	21.28	10.96	32.24
	Total Recharge Bassin Crétacé	99.48	38.16	137.64
Décharge (Mm ³ /an)	Sources	16.20	0.00	16.20
	Prélèvements	33.60	18.00	51.60
	Khettaras	4.70	2.00	6.70
	Drainance	53.17	10.10	63.27
	Total décharge Bassin Crétacé	107.67	30.10	137.77

On constate donc un déficit total relativement faible (0,11 Mm³/an) justifiée par les fortes valeurs des sorties qui correspondent à la drainance et les prélèvements d'eau potable et d'irrigation.

Le tableau ci-dessus montre que ce déficit est mise en jeu principalement dans le complexe sénonien-turonien qui présente un déficit de 8.19 Mm³/an.

V. Qualité et utilisation des eaux des aquifères

V.1 Infracénomannien

Le faciès chimique des eaux de l'aquifère Infracénomannien est chloruré magnésien à l'Ouest (région de Goulmima). Plus au Nord, les eaux sont chlorurées calciques (Tadighoust). A l'Est (Aïn El Atti), les eaux sont chlorurées sodiques.

La concentration en sels dissous, supérieure à 10 g/l dans la région d'Ain El Atti, diminue vers le nord et vers l'ouest.

Les eaux sont captées par des forages, puits et khettaras principalement à des fins d'irrigation. L'usage de l'AEP représente à peu près 25% des prélèvements.

Le tableau, donné ci-après, regroupe les caractéristiques de quelques ouvrages captant l'aquifère de l'Infracénomanien

Tableau 6: Résidus secs (en g/l) de quelques ouvrages captant l'aquifère Infracénomanien dans la zone d'Ain El Atti (Source : ABH-GRZ)

N°IRE	Zone	PT (m)	NS (m)	Résidu sec (g/l)
4032/57	Ain El Atti	221.6	Artésien	8.3
4033/57	Ain El Atti	95	Artésien	8.09
4036/57	Ain El Atti	217	Artésien	14.7
4037/57	Ain El Atti	164	Artésien	8.12
4041/57	Ain El Atti	180	Artésien	8.7
2178/56	Goulmima	120	6.2	0.9
2312/56	Goulmima	172	12.5	0.8

V.2Turonien

Le faciès chimique des eaux de l'aquifère Turonien est variable selon les secteurs. Il est soit chloruré-magnésien, chloruré-calcique, chloruré-sodique ou sulfato-calcique.

Contrairement aux eaux de l'Infracénomanien, celles de l'aquifère turonien ne dépassent pas 2.5g/l.

Le tableau ci-dessous donne le résidu sec dans quelques ouvrages captant le Turonien.

Tableau 7: Résidu sec dans quelques ouvrages captant l'aquifère turonien (Source : ABH-GRZ)

N° IRE	Zone	Profondeur totale(m)	NS(m)	Débit (l/s)	Résidu sec (mg/l)
823/47	Tarda	90.7	25. 2	0.25	2000
830/47	Tarda	44.7	7.9	4.5	1770
843/47	Imarighene	105	11. 2	120	2100
1224/48	Meski	55	70. 2	2.5	1100
1339/48	Meski	73	5	25	1814
1340/48	Meski	88	9.2	0.5	1141
1498/48	Tazouguert	73	4.5	20	640
1545/48	Tazouguert	129.5	7.3	8	1573

Les eaux de l'aquifère sont principalement captées à des fins d'irrigations (sources et forages).

Les sources du Turonien représentent un débit global de près de 430 l/s, ce débit est capté pour l'irrigation.

V.3 Sénonien

Les eaux du Sénonien sont en général assez minéralisées. La conductivité électrique de l'eau est généralement comprise entre 632 et 8600 $\mu\text{S/cm}$ avec une moyenne de

2080 $\mu\text{S/cm}$. La salinité varie entre 0.4 et 12.5 g/l. Le faciès chimique des eaux de la nappe est chloruré-magnésien dans la région de Boudnib et chloruré-sodique dans les régions de Bouânane et d'Errachidia. Les salinités élevées sont vraisemblablement dues à la présence locale de bancs de gypse.

Les principales caractéristiques de quelques ouvrages captant l'aquifère du Sénonien sont données suivantes :

Tableau 8: Résidus secs de quelques ouvrages captant l'aquifère du Sénonien (Source : ABH-GRZ)

N°IRE	Zone	Formation captée	Profondeur totale(m)	Niveau statique(m)	Q (l/s)	Résidu sec (g/l)
1509/48	Taourirt	Quaternaire et Sénonien	180	17.3	25	2
1536/48	Oued Tguir	Sénonien	85	17.5	7	1.8
1548/48	Sehb	Quaternaire et Sénonien	155	17	40	1.06
146/49	Ksar Sehli	Sénonien	250	Artésien	8	1.2

V.4 Faciès chimique des eaux prélevées

Sur la base des résultats des analyses chimiques présentés dans le tableau en annexe 1, on a élaboré le diagramme de piper appliquée aux eaux souterraines prélevés du système aquifère révèle généralement trois types de faciès.

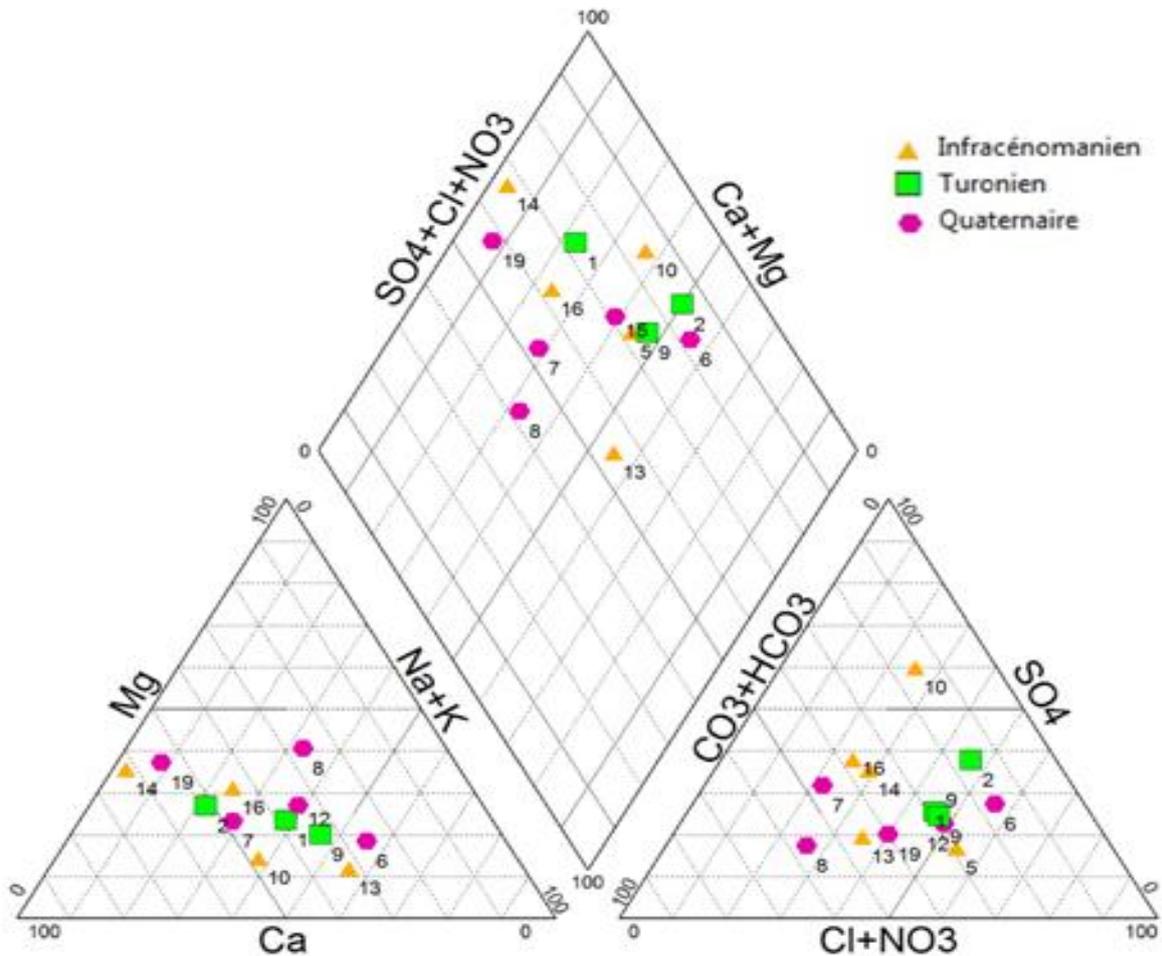


Figure 33 : Faciès chimique des eaux prélevées dans la zone d'étude

Un faciès chloruré, sulfaté, calcique et magnésienne pour presque la quasi-totalité des échantillons : Les sources Meski, Tarda, Tifounassine, Mouy, les forages Taoudaate, Tadighoust, Aïn Atti, Puits Fezna et Khettara Talfraout et Elkroyer.

Un faciès bicarbonaté calcique et magnésien (Aï Snan, Touroug);

Un faciès chloruré sodique et potassique (Goulmima);

Cette hétérogénéité de faciès chimique, observée notamment au niveau des eaux d'Infracénomanien et qui révèle une large dispersion entre ces points d'eau, pourrait être liée soit à une variation de faciès lithologique ou à un échange avec différentes masses d'eau.

Chapitre 4: Elaboration de Système d'Information Géographique (SIG)

I. Généralités et présentation d'outil de SIG

I.1. Généralités et Composantes d'un SIG

I.1.1 Généralités sur un SIG

Un SIG peut se définir comme un système informatique d'acquisition, de stockage, de gestion, d'analyse, de représentation et de mise à jour des données géoréférencées. Au sens large, le SIG comprend aussi bien l'ensemble des données géographiques numérisées relatives a une région, que le logiciel qui les manipule. Au sens restreint du terme, le SIG désigne le seul outil informatique utilisé (Didon, 1990).

Le SIG est une technologie relativement nouvelle apparue au début des années 1980 et a connu un développement rapide du fait de ses performances. Il constitue en fait un outil puissant d'aide a la prise de décision par la qualité et la rapidité des réponses qu'il fournit aux requêtes formulées par l'utilisateur. L'utilité du SIG dans le cadre de la gestion qualitative et quantitative des ressources en eau souterraine a été discutée par (Vassilos et al.1996, Sinan 2000.)

Les logiciels de SIG sont relativement nombreux (ArcInfo, ArcGis, MapInfo, Idrisi, ...).

Le logiciel ArcGis a été choisi en raison de sa relative facilité d'utilisation et pour le fait qu'il soit opérationnel sur des ordinateurs modernes.

I.1.2 Composantes d'un SIG

Le cœur d'un Système d'Information Géographique est constitué par la base de données géographiques (BDG), composée de deux éléments (Collet, 1992) :

- Une base de données décrivant les objets spatiaux (cartes);
- Une base de données alphanumérique (attributs) définissant les caractéristiques thématiques (profondeur de l'eau, cote du substratum, productivité...) des objets spatiaux.

Autour de cette base de données gravite un ensemble de systèmes informatiques avec lesquels elle est en interaction. Chaque système a une fonction précise au sein du SIG (Didon, 1990) :

-Le système de saisie numérique : permet de saisir les documents a caractère spatial (telles que les cartes topographiques, géologiques..) et de convertir l' information analogique en une information numérique. Les bases de données alphanumériques (attributs) peuvent être directement saisies dans de nouvelles tables du SIG ou importées à partir d'autres logiciels (Excel, Access, Dbase...).

-Le système de traitement d'images : les images qui ne peuvent être digitalisées (photos aériennes, satellitaires, etc.) peuvent être scannées et calées : attribution de coordonnées (x, y) a chaque point de l'image dans le type de projection correspondant a la zone étudiée.

-Le système d'analyse spatiale : l'analyse spatiale de l'information représente l'outil le plus puissant d'un SIG. Elle constitue une extension des capacités d'interrogation des bases de données traditionnelles, en tenant en compte de la localisation des observations. Ce système permet par exemple de fusionner plusieurs objets selon des critères et des conditions fixes par l'utilisateur, et de créer ainsi de nouvelles tables plus renseignées. Un deuxième exemple consiste a sélectionner les zones de meilleure productivité et les moins vulnérables a la pollution et a mettre les résultats de cette combinaison dans une nouvelle carte. Le système d'analyse spatiale a une liaison bidirectionnelle avec les bases de données géographiques. Ainsi, il prélève à la fois de l'information de la BDG et la complète à l'aide des résultats des analyses effectuées.

-Le système de représentation cartographique : Ce système permet de sélectionner des éléments de la BDG et de les représenter cartographiquement a l'écran de l'ordinateur ou a l'imprimante.

I.2. Organisation des données géographiques

Dans un SIG, le monde réel est modélisé sous forme de couches d'information séparées, relatives a différents thèmes (ex : réseau hydrographique, nature des sols, faciès géologiques, profondeur de la nappe..). Ces couches peuvent être recombinaées pour analyse, pour la création d'un nouveau dossier (contenant l'ensemble des couches combinées) ou simplement superposées pour visualisation ou pour impression. Toutes les couches d'information spatiale sont géoréférencées (définition du lien existant avec la position a la surface de la terre).

I.3. Présentation du logiciel SIG « ArcGis 10 » utilisé

ArcGis est un logiciel de géotraitement permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour et la manipulation des données géographiques. De plus il permet de faire de la cartographie de l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée.

L'interface ArcGis est en réalité une suite, qui se décline en trois versions (ArcView, ArcEditor et ArcInfo). La différence entre ces versions est le nombre d'options supplémentaires disponibles ArcView en possédant le moins. Ceci est indépendant des extensions (Spatial Analyst ,3D Analyst...que l'on peut acheter en supplément de chaque suite).

Chacune de ces trois versions de la suite ArcGis est constitué d'une interface ArcMap et d'une interface ArcCatalog (accessoirement d'une interface ArcToolBox séparée pour les versions antérieurs à la version 9.0).

La version 10 apporte la possibilité de gérer directement et ArcToolBox depuis l'interface d'ArcMap. De plus, ArcGis 10 fournit également l'avantage d'accéder en ligne aux données géographiques.

II. Elaboration du SIG du bassin créacé d'Errachidia Boudnib

II.1. Méthodologie adoptée

Après avoir collecté toutes les informations et données nécessaires, notamment hydrologiques, climatologiques, géologiques et hydrogéologiques, on a adopté la méthodologie détaillée dans l'organigramme ci-dessous pour la confection des différents objets de SIG.

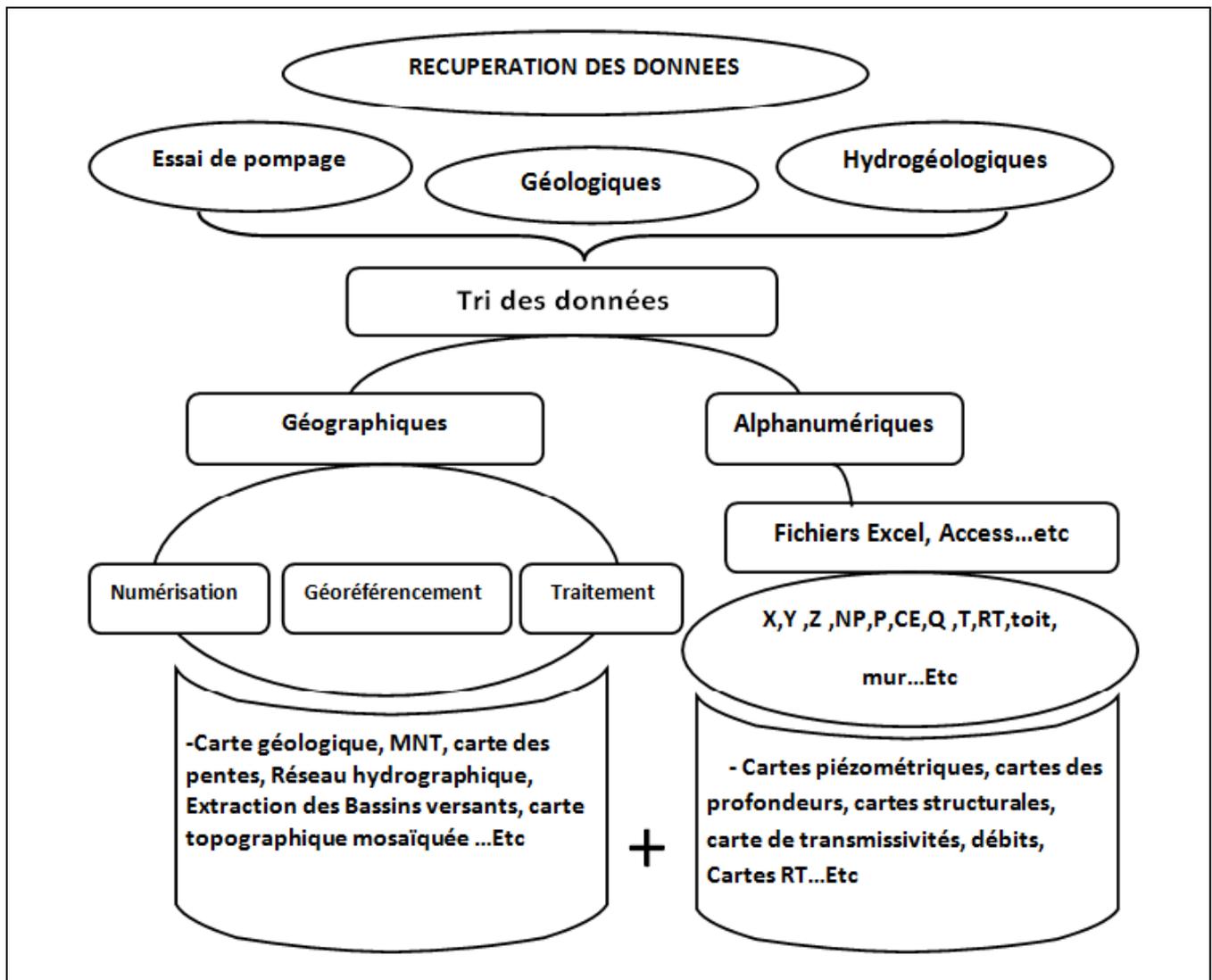


Figure 34 : Organigramme de méthodologie adoptée pour l'élaboration du SIG.

II.2. Résultats obtenus

II.2.1 Cartes thématiques

Un certain nombre de cartes élaborées à partir de la base de données SIG figure déjà dans les autres chapitres. Il s'agit principalement de la carte géologique, de la carte topographique, du modèle numérique du terrain, des différentes cartes géophysiques interprétatives, de la carte du réseau hydrographique, des cartes hydrodynamiques, etc..

Dans ce chapitre, seules les cartes relatives à la géométrie de l'aquifère, il s'agit des cartes du substratum, de toit, des épaisseurs et des profondeurs des nappes.

Des données que contiennent les fiches des inventariés des différents types de points d'eau (coupes géologiques) de la zone d'étude nous permettent de faire établir les différents types de carte en faisant appel aux techniques d'interpolation (krigeage, création de TIN...etc) qui permettent d'obtenir les résultats d'égalité de valeurs dites « Isovaleurs », malgré la rareté des données qui fait un véritable obstacle devant cet objectif.

II.2.1.1. Etablissement des cartes de toit, de mur et d'épaisseur de l'aquifère Sénonien

L'exploitation de quelques renseignements lithologiques nous permet de produire les cartes de géométrie de l'aquifère Sénonien.

▪ Toit de l'aquifère Sénonien

Les cotes du toit du Sénonien les plus élevées se situent au nord du bassin, ces cotes dépassent les 1200 mNGM. Tandis que les cotes les plus basses se rencontrent dans le bassin de Boudnib notamment au Sud-est de centre de Boudnib.

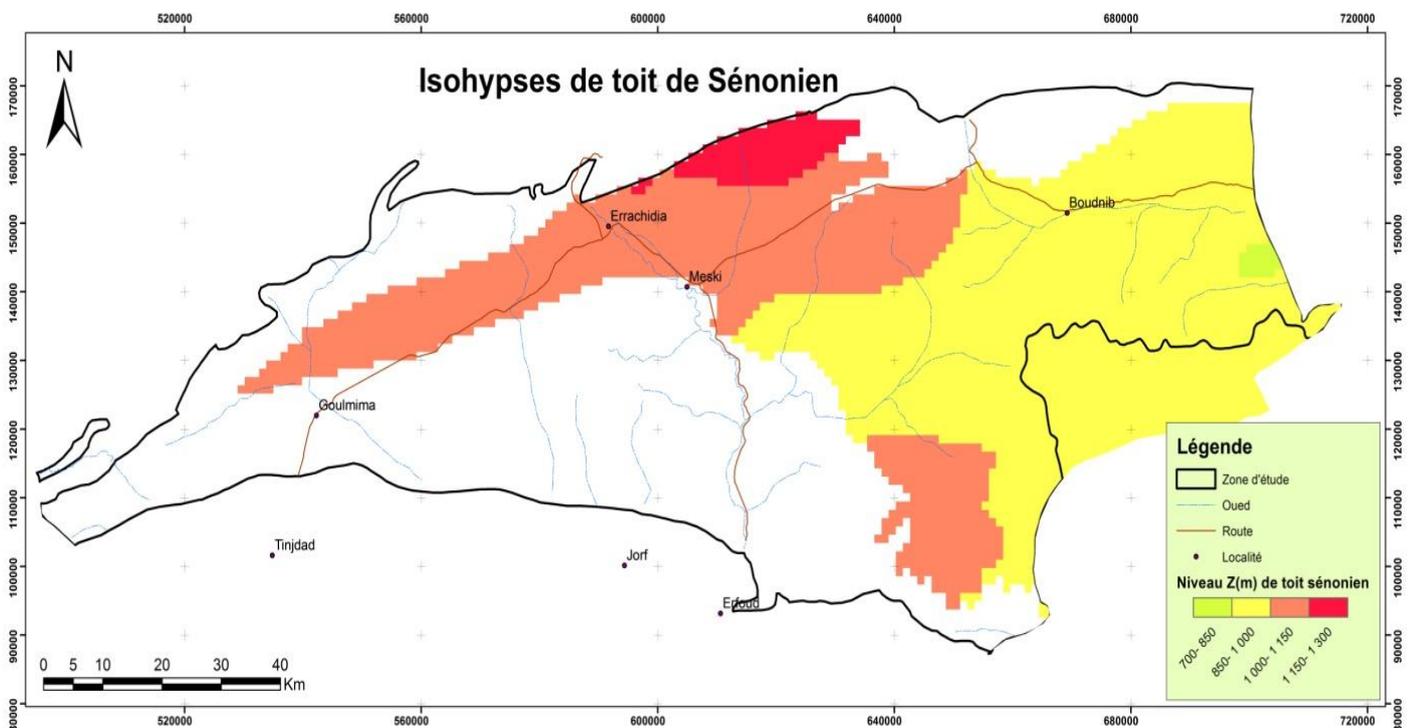


Figure 35 : isohypes du toit de l'aquifère sénonien

▪ **Mur de l'aquifère sénonien**

Les cotes du mur de sénonien relevant de la zone d'étude varient de 0 mNGM jusqu'à plus de 800mNGM.les cotes minimales ont même niveau que les mers situées entre Boudnib et Bouânane .Alors que les cotes les plus élevées se situent au Sud et plus à l'Ouest du bassin.

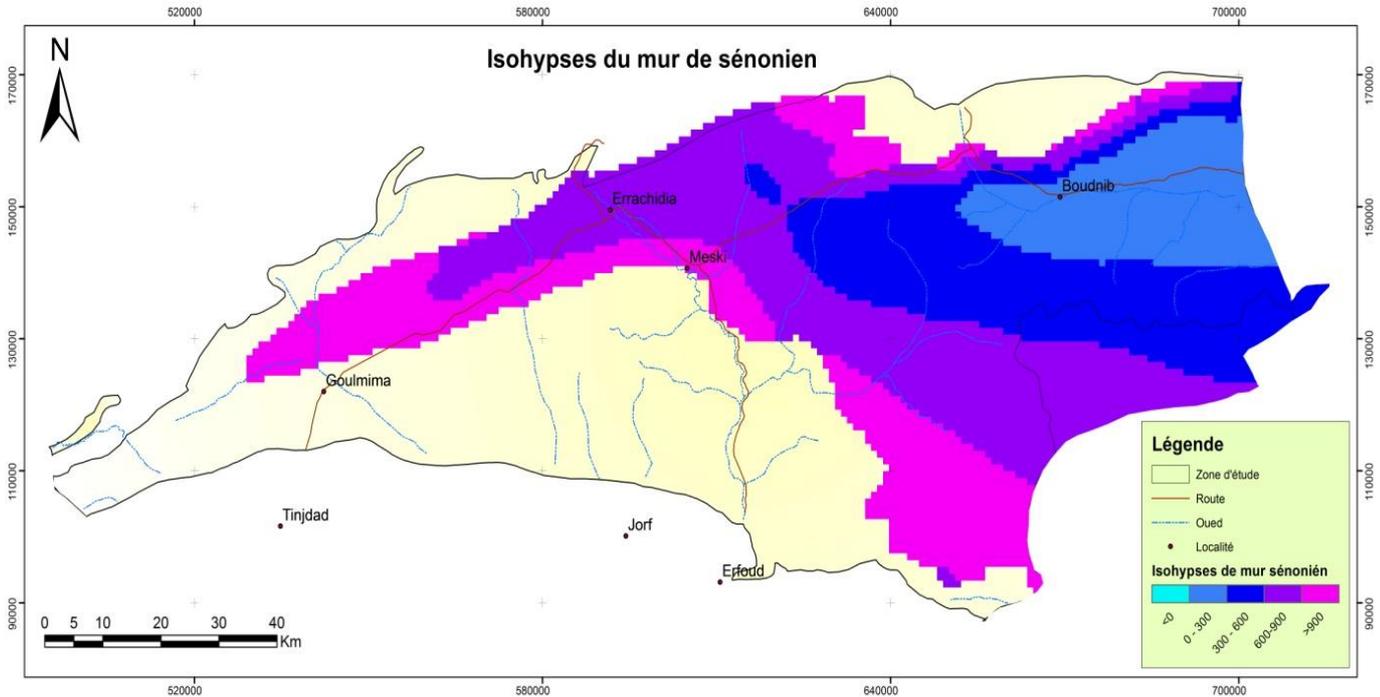


Figure 36 : isohypes du mur de l'aquifère sénonien

▪ **Epaisseur de l'aquifère sénonien**

L'épaisseur du Sénonien est variable. La carte établie montre une augmentation de l'Ouest vers l'est. En effet, les épaisseurs minimales se situent au Sud de l'aire d'extension du Sénonien où ce dernier disparaît progressivement par érosion, et les épaisseurs maximales dans la région de Boudnib et Bouânane.

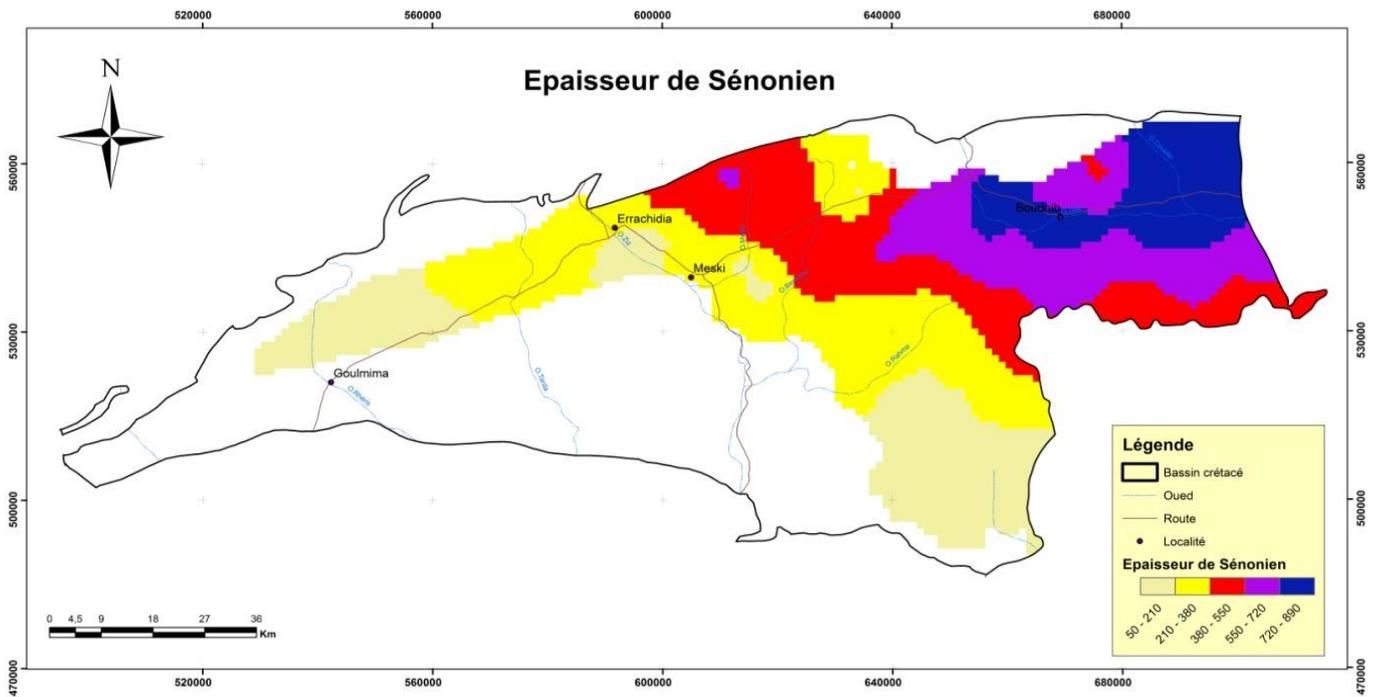


Figure 37 : Epaisseur de l'aquifère sénonien

II.2.1.2. Etablissement des cartes des profondeurs

Pour réaliser une cartographie qui mise en évidence la situation ou la topographie de la surface piézométrique, on a exploité quelques mesures obtenues au cours de la campagne du terrain qu'on a complété par d'autres mesures relativement anciennes après actualisation. Il s'agit des niveaux piézométriques prises pour quelques forages qui captent chacun des trois nappes que renferme le bassin crétacé d'Errachidia-Boudnib.

▪ Nappe d'Infracénomanien

La carte des profondeurs obtenue montre que l'approfondissement de nappe Infracénomanienne est assez régulière, avec un approfondissement maximale qui atteinte plus de 80m au Nord de Goulmima et plus de 60m au Sud d'Errachidia, tandis que les profondeurs minimales sont localisées au sud du bassin avec une valeur moins de 10m.

Il est à signaler qu'on à attribue à chacune de ces cartes un complexe colorée avec les différents degrés (la plus foncée pour les profondeurs maximales et la plus claire pour les profondeurs minimales) pour qu'elles soient lisibles facilement.

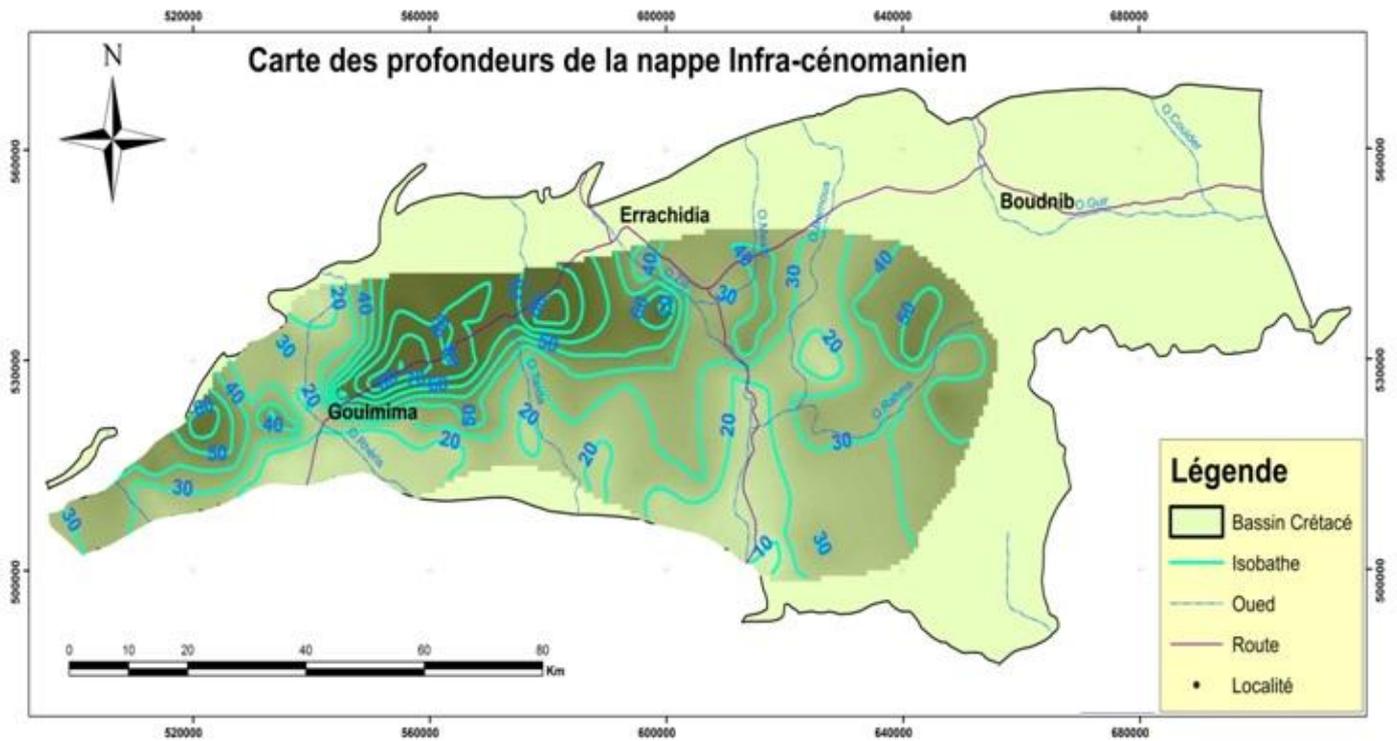


Figure 38 : profondeurs de la nappe Infracénomaniene

▪ **Nappe de Turonien**

Les profondeurs maximales de la nappe turonienne sont montrées dans la partie entre Errachidia et Boudnib notamment au Nord du bassin. Alors que les profondeurs minimales réparties au long de limite Sud et Nord est de l'aquifère.

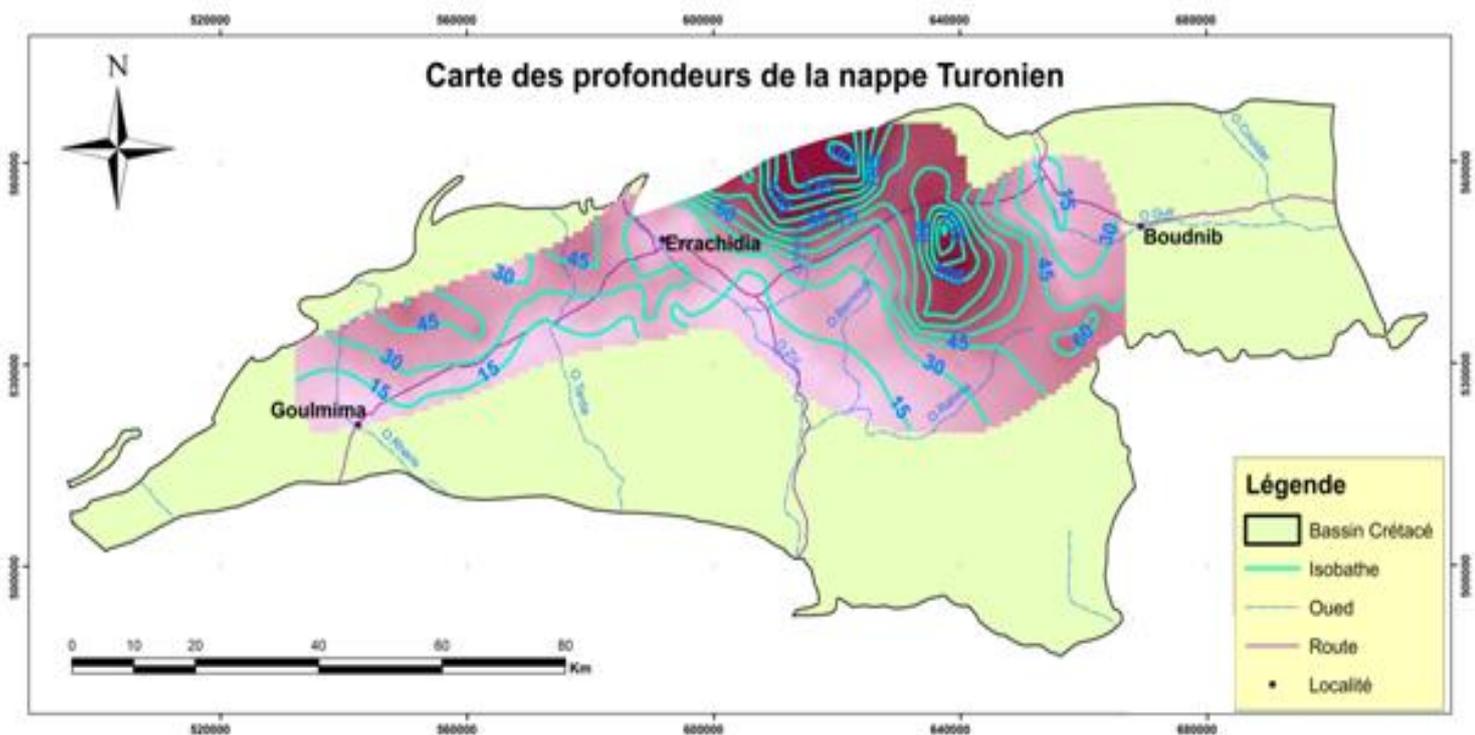


Figure 39 : profondeurs de la nappe turonienne

▪ **Nappe de Sénonien**

La figure suivante mise en évidence les profondeurs maximales dans le Nord et l'Ouest de l'aquifère, tandis que les faibles profondeurs se situent au sud et l'Ouest de l'aquifère.

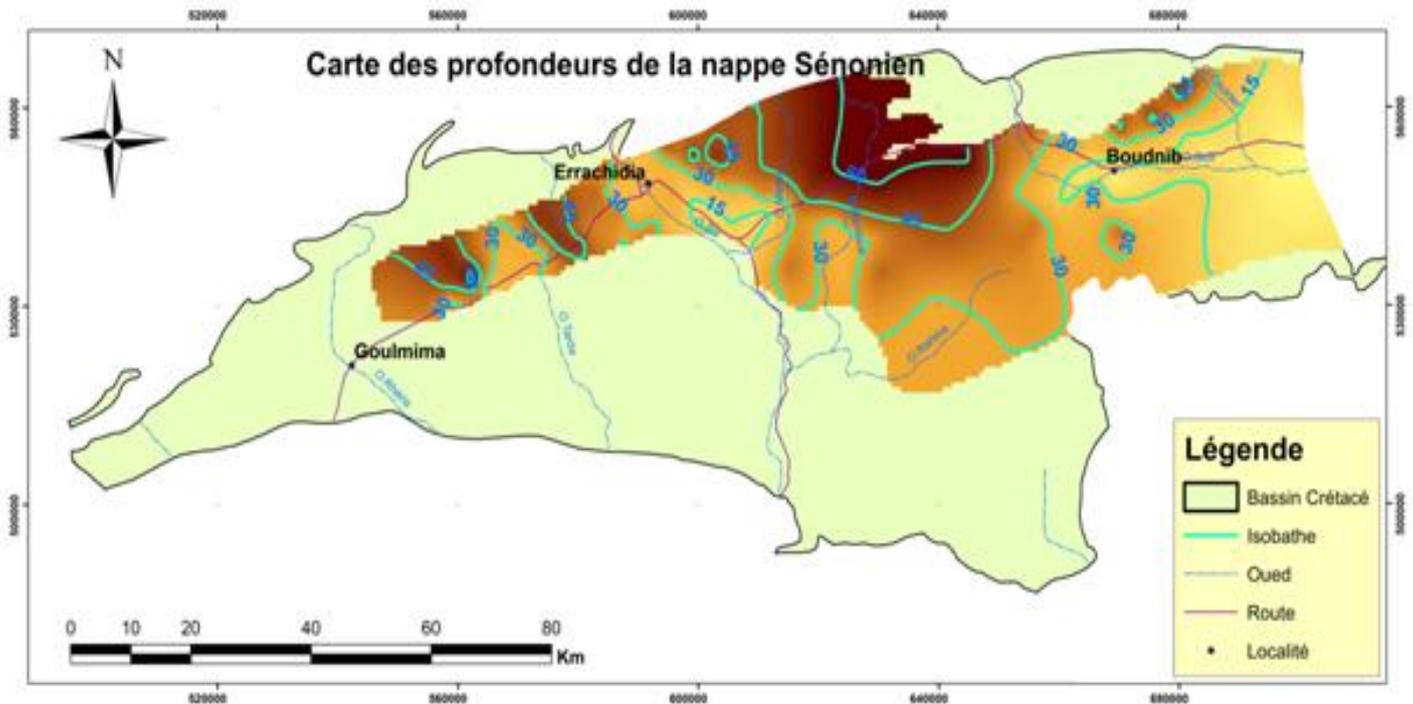


Figure 40 : profondeurs de nappe sénonien

II.2.2 Les requêtes spatiales

Un SIG contient non seulement un SGBD traditionnel (gestion des données thématiques), mais aussi une variété d'outils capables de gérer à la fois les dimensions thématiques et spatiales de l'information. Par exemple, le SGBD permet de répondre à des requêtes formulées par les gestionnaires des ressources en eau souterraine (sélection des données relatives à un secteur donné, combinaisons mathématiques plus ou moins compliquées (profondeur de l'eau - profondeur du substratum...) et de mettre les résultats dans des tableaux, graphiques ou supports cartographiques directement exploitables par l'utilisateur.

II.3. Conclusion

Il paraît utile en conclusion d'indiquer que la base de données spatiales élaborée, doit être répondue aux questions et requêtes de gestionnaire de l'eau, mais aussi d'être accessible et utilisable facilement et sans aucun obstacle.

Pour cette fin, on propose une procédure simple et applicable par n'importe quel utilisateur et qui nous permet de rassembler le SIG produit dans un autre système de base de données classique (Access au titre d'exemple), cette méthode offre l'avantage de :

- L'organisation des données : permet d'éviter le problème de confusion et pertes des fichiers.
- Faciliter l'exploitation et l'accès aux données thématiques et spatiales, ce qui permet d'extraire les informations sous différents modes de représentation.

Conclusion générale

Malgré les indéterminations qui demeurent pour comprendre écoulements souterraines dans le bassin Crétacé d'Errachidia, concernant les relations hydrauliques entre aquifères, leur continuité au-delà des frontières territoriales et leur stratification géochimique (parts respectives des eaux douces, saumâtres ou salées). Il est évident que le bilan hydrogéologique est déficitaire.

En tout état de cause, les flux renouvelables indiqués dans les bilans restent fort vraisemblablement réduits par rapport aux réserves soupçonnées dans le bassin. Ils traduisent un renouvellement modéré eu égard aux vastes étendues du bassin et des aquifères profonds, ce qui est généralement le cas dans de pareils contextes : climat aride et domaines sud-atlasiques. Il reste néanmoins que les aquifères profonds constituent bien une ressource d'eau douce considérable qui représente autant de potentialités de mise en valeur dans la région comme on le verra plus loin.

En effet, pour qu'on soit face aux problèmes de l'accentuation de la rareté des ressources en eau et la croissance démographique, on a exploité un certain nombre des résultats qui conduisent à conclure que l'aquifère turonien est l'aquifère stratégique pour la région en raison de la qualité bonne de ses eaux, le fait qu'il est exploitable facilement en comparaison à celui d'Infracénomien et les réserves important en eau que révèle. Egalement on déduit que la partie Sud du bassin est une zone favorable de point de vue géophysique et hydrogéologique pour l'implantation des nouveaux captages.

Le principe d'élaboration d'une application de SIG pour une meilleure gestion de ces ressources vitales, consiste d'une part, à la superposition des différents thèmes (couches) pour avoir une analyse multicritère et par la suite la prise d'une décision donnée. Et à la visualisation et la cartographie des aquifères d'autre part.

Références bibliographiques

- Benyoucef ,M., (2012).**Le bassin créacé du Guir (sud-ouest algérien) :caractérisations litho-bio-stratigraphiques, sedimentologiques & paleogeographiques.Thèse de doctorat en Sciences de la Terre. université de Tlemcen. Algérie, 217 pages.
- Choubert, G., and A. Faure-Muret (1962).** Evolution du domaine atlasique marocain depuis les temps paléozoïques, in Livre a la Me´moire du Professeur Paul Fallot, Mem. hors Sér, vol. 1, pp. 447 – 527, Soc. Geol. de Fr, Paris.
- Collet C., (1992).** Systèmes d'information géographique en mode image. Presses polytechniques et universitaires romandes – Lausanne, 183 pages.
- Daba et Jalab,(2011) :** Bassin créacé d'Errachidia : hydrogéologie de l'aquifère turonien et élaboration d'un atlas des sources. Projet de fin d'étude, Faculté des Sciences et Techniques d'Errachidia.
- Didon E., (1990).** Systèmes d'information géographique : concepts, fonctions, applications. CEMAGREF / ENGREF, 44 pages.
- DRH GRZ, (2007):** Elaboration du bilan hydrologique des bassins de Guir, Rhéris, Ziz et Maïder
- DRH-GRZ, (2006),** Rapport de synthèse hydrogéologique de bassin créacé d'Errachidia
- Dubar, G., (1948).** Carte géologique provisoire du Haut Atlas de Midelt au 1/200.000. Notice explicative. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, 59 bis.
- Michard, A., (1976).** Eléments de géologie marocaine. Notes et mémoires du service géologique du Maroc, 252: 408p
- Roche, M., (1963).** Hydrologie de surface. Gauthier-Villars Editeur-Paris, 429 p., 204 fig.
- Kacimi, I., (2013).** Hydrogéochimie et qualité des eaux dans les Bassins subdésertiques Marocains Ziz et Rhéris. Article, Université Moulay Ismail Faculté des Sciences et Techniques d'Errachidia
- Vassilios A.T., Rizwan H., (1996).** Use of Geographic Information Systems (GIS). in Water Resources : A Review. Water Resources Management, n° 10, pp. 251-277.
- Margat J.,(1954).** Note sur les études hydrogéologiques de P. Rampont dans la moyenne vallée du Guir en 1942. Rapp. inéd. arch. MTPC/DH/DRE, 15 pp.
- Sinan M.,(2000).** Méthodologie d'identification, d'évaluation et de protection des ressources en eau des aquifères régionaux par combinaison des SIG, de la géophysique et de la. Thèse de doctorat d'état es sciences. Ecole Mohammedia des Ingénieurs. Rabat, 371 p.4

Webographie :

-Site gouvernemental : Ministère délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement- chargé de l'Eau

<http://www.water.gov.ma>

-Encyclopédie libre

<http://www.wikipedia.com>

-Site de téléchargement des images satellitaires (ASTER)

<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>

Annexes

Annexe 1 : Tableaux récapitulatifs

Tableau 1 : Population des communes de la province d'Errachidia (Source : RGPH)

	Municipalité / Commune	Pop1994	Po2004	Population 2014
Municipalités	Erfoud (Mun.)	18563	23637	29 279
	Boudnib (Mun.)	8294	9867	11 373
	Errachidia (Mun.)	62542	76759	92 374
	Goulmima (Mun.)	14026	16593	16 419
	Jorf (Mun.)	12143	12135	12 302
	Moulay Ali Cherif (Mun.)	18450	20469	22 209
	Tinjdad (Mun.)	5755	7494	8 942
Communes	Aarab Sebbah Ghéris	5060	4937	4 397
	Aarab Sebbah Ziz	18522	18332	19 192
	Es-sifa	9159	7881	7 035
	Fezna	4120	4087	4 477
	Aoufous	12946	11506	10424
	Chorfa M'Daghra	12207	13803	14 312
	Er-rteb	12131	13324	13 461
	Lkheng	13075	13017	14 177
	Oued Naam	6729	5709	5 340
	Bni M'Hamed-Sijelmassa	22600	16709	14 433
	Er-rissani	4673	5575	5 010
	Es-sfalat	22258	16163	11 483
	Et-taouz	4666	5337	6 792
	Sidi Ali	3572	3081	2 162
	Aghbalou N'Kerdous	8249	9357	10 313
	Amellagou	5090	5273	4 975
	Ferkla El Oulia	18889	20214	22 722
	Ferkla Es-soufla	12653	12624	12 335
	Ghéris El Ouloui	10958	11879	12 043
	Ghéris Es-soufli	6521	6742	6 867
	Melaab	14604	16681	17 360
	Tadighoust	7959	7346	6 243
	TOTAL (hab)	376414	396531	418 451

Tableau 2: Bilan Besoins-Ressources de la province d'Errachidia (source : ONEE)

Désignation		Horizons					
		2010	2015	2020	2025	2030	
Besoins en eau à la production	Centres	235.6	249.3	272.8	295.8	321.1	
	Communes déjà alimentées	71	84	98	115	125	
	Communes non alimentées	4.7	7.2	8.2	9.9	11	
	Total	311.3	340.5	379	420.7	457.1	
Capacités de ressources	Ressources exploitées	370	370	370	370	370	
	Ressources non équipées	105	105	105	105	105	
	Total	475	475	475	475	475	
Bilan Besoins-Ressources	Communes non alimentées non prise en compte	Ressources non équipées non prises en compte	60	32	-6	-48	-83
		Ressources non équipées prises en compte	165	137	99	57	22
	Communes non alimentées prise en compte	Ressources non équipées non prises en compte	41	2	-42	-91	-132
		Ressources non équipées prises en compte	146	107	63	14	-27

Tableau 3 : Résultats chimiques en Méq/L

N°	Aquifère	Nature	désignations	pH	CE (Ms/cm)	TAC	HCO-	Cl-	NO3-	SO4-	Ca++	Mg++	Na+	K+
1	Quaternaire	khettara	Elkroyer	8,05	2950	305	5	16,47	0,08	8,01	7,71	6,02	16,81	0,19
2	Quaternaire	puits	Fezna (AEP)	7,17	1217	366	6	2,86	0,2	3,93	6,85	3,49	3,88	0,24
3	Quaternaire	puits	Touroug	7,61	1473	671	11	4,87	0,18	3,55	3,95	6,35	6,85	0,15
4	Quaternaire	khettara	Talfraout	7,44	2390	427	7	11,94		5,64	8,3	6,28	12,98	0,12
5	Quaternaire	puits	Tinghir	7,15	1340	378,2	6,2	5,92	0,13	3,2	6,34	4,19	6,04	0,09
6	Turonien	source	Meski	7,09	2090	341,6	5,6	9,32	0,26	5	7,87	4,35	11,01	0,13
7	Turonien	source	Tarda	7,3	2670	262,3	4,3	13,25	0,13	10,99	11,05	5,06	13,91	0,13
8	Turonien	source	Tifounassine	7,01	2340	378,2	6,2	11,86		5,82	7,94	4,68	12,86	0,12
9	Turonien	source	Mouy	7,28	1847	353	5,79	8,83		5,11	7,18	4,16	10,65	0,12
10	Infracén	forage	Ain Atti	6,83	11370	2501	40,99	77,09		24,61	46,19	30,13	54,01	3,95
11	Infracén	forage	Tadighoust	7,16	2250	250,1	4,1	6,51		16,09	16,61	4,29	8,57	0,35
12	Infracén	forage	Goulmima	6,81	1221	352,8	5,8	4,6	0,1	2,73	7,65	3,02	4,72	0,1
13	Infracén	forage	timkit(AEP)	7,11	1851	427	7	7,1	0,15	7,38	10,43	6,06	6,46	0,14

Tableau 4 : Caractéristiques des barrages existants et projetés dans la province Errachidia

Nom_Bge	type	Oued concerné	Nature	capacité(Mm3)	Volume_reg (Mm3)	X	Y
B.H.A	grand barrage	Ziz	Existant	347	315	588400	155500
Timekit	grand barrage	Oued Ifegh	Existant	14	12,3	507250	115450
Boutaâricht	Petit barrage	Taaricht	Existant	0,7	0,7	622300	191330
Douis	Petit barrage	Douis	Existant	2,35	0,912	680409	145673
Bouchama	Petit barrage	Reg	Existant	2,5	1	529450	61934
Akrouz	Petit barrage	Akkrouz	Existant	0,7	0,64	549394	97198
Kadoussa	Petit barrage	Guir	Programmé	70	21	652053	175790
Tadighoust	Petit barrage	Ghúris	Programmé	45	37	541120	138730
Imin tourza	Petit barrage	Reg	Programmé	4,5	1,5	519158	65161
Taghoucht	Petit barrage	Ferkla	Programmé	0,73	0,7	536400	86740
Oulhou	Petit barrage	Ghéris	Programmé	1,12	1,1	560800	103700
Oukhit	Petit barrage	Oukhit	Programmé	1,5	1,5	571400	97450
Ait Belhsen	Petit barrage	Ziz	Programmé	1,6	1,6	586000	213600
Tiouzaguine	Petit barrage	Guir	Programmé	12	3,2	617250	206200
Dfila	Petit barrage	Guir	Programmé	0,7	0,7	663665	158607
Ighboula	Petit barrage	Nigli	Programmé		0,05	507268	170975
Kheng	Petit barrage	Khing	Programmé	5,5	2,1	507309	27346
Todgha	Petit barrage	Tingrfa	Programmé		105	482194	114930

Tableau 5 : Evaporation moyenne mensuelles et interannuelles des bassins GZR (Source : ABH-

Station	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
Aït Bouijane	298	204	132	98	103	129	189	251	316	374	438	385	2918
Amouguer Taghia	233	173	131	116	119	127	182	211	269	311	360	331	2563
Anoual	316	259	217	162	175	165	208	253	307	338	407	399	3207
B.H.Addakhil	319	219	144	98	95	116	182	246	307	382	446	420	2973
Bouanane	367	248	157	111	122	147	231	317	386	448	510	471	3516
Foum Zaâbel	323	211	153	107	111	136	210	266	321	396	497	427	3158
Kadoussa	364	252	163	121	119	146	210	279	346	433	544	505	3482
Tadighoust	285	179	126	86	93	136	197	266	347	385	467	376	2359
Evaporation mens moyenne	313	218	153	112	117	138	201	261	325	384	459	414	

Tableau 6 : Températures moyennes mensuelles des bassins GZR (Source : ABH-GZR)

STATION	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Aït Bouijane	29,8	23,0	16,4	11,5	10,3	13,1	17,9	22,1	26,5	31,2	34,5	34,6
Amouguer Taghia	29,5	22,7	16,1	11,5	10,5	13,3	18,1	22,3	26,8	31,4	34,5	34,6
Tadighoust	27,5	20,9	14,8	11,3	11,3	14,6	19,5	23,9	28,0	32,2	34,5	34,6
Moy	28,52	21,81	15,48	11,37	10,87	13,97	18,79	23,13	27,38	31,78	34,52	34,62
Min	15,59	9,85	4,57	-0,10	-0,22	3,09	5,48	10,10	14,39	20,23	23,51	22,31
Anoual	29,6	22,8	16,2	11,5	10,3	13,0	17,8	22,0	26,4	31,0	34,4	34,6
B.H.Addakhil	29,2	22,6	16,0	11,5	10,6	13,3	18,3	22,3	26,8	31,4	34,5	34,6
Foum Zaâbel	28,0	21,3	15,2	11,3	11,2	14,3	19,0	23,3	27,7	31,9	34,4	34,6
Radier Erfoud	27,11	20,50	14,71	11,31	11,58	14,91	19,56	23,88	28,24	32,20	34,46	34,56
Taouz	26,72	20,21	14,52	11,32	11,80	15,14	19,93	24,29	28,39	32,37	34,48	34,55
Taouz	14,22	8,62	3,62	-0,19	0,71	3,82	6,49	11,23	15,70	21,08	23,25	22,23

Annexe 2 : Album photo



SOURCE DIEUE DE IVESKI



SOURCE IVIOUY



Déversoir (source) : fuites de B.H.A



Source Zaouiat Aoufous



Source alluvionnaire d'Oued Ghéris



Forage artésien d'Ain Elâtti



Retenue du barrage Hassan Addakhil



Digue du barrage Hassan Addakhil



Barrage de Timekit : En cours de construction



Travaux de renforcement de système adducteur de Tafilelt



Prise des mesures physicochimique d'un forage d'exploitation abandonné



Le premier jour dans la campagne effectuée dans la zone d'étude dans le cadre de faire un réseau de mesures piézométriques (Forages 1698/48 1697/48).



Piézomètre en aval de la digue « C » de B.H.A



Puits de mosquée Meski (Captant sénonien)



Séguia d'irrigation issue de barrage H.A



Forage 1985/48 (Route Goulmima)

Annexe 3 : Fiches d'enquête.

Fiche d'enquête points d'eau : Puits / Forages

Date : ; Heure :

o N° terrain :

o Nature : puits for

o Localisation : x= y=

z=

- Commune :

o Année de réalisation :

o Profondeur totale :(m),

o Nature et couleurs des terrains rencontrés (différents horizons aquifères captés).....
.....
..... ;

o Niveau piézométrique (NP)= ; temps de repos avant la mesure..... (H);

o date d'équipement du point d'eau :

o type du moteur : Dies Ele

o puissance du moteur.....CV ;

o puissance de la pompe.....KW ;

o diamètre de la conduite de refoulement(mm)

o **Caractéristiques physico-chimiques de l'eau :**

- T°C, PH= Conductivité.....µS /cm ;

o **Usages fait de l'eau**

- AEP , Irrig , el

Autre :

o Autres informations nécessaires à l'étude et commentaires
.....
.....
.....

o Commentaire

Fiche d'enquête points d'eau : Sources

N° terrain :.....

Date : ; heure :.....,

○ **Nom de la source** :..... ; Type de la source.....

○ **Localisation** :

- Coordonnées Lambert : X=..... ; Y=.....
; Z=.....

- Commune :.....;

○ **Nature géologique du griffon de la source** :.....

○ Le débit estimé au moment de l'enquête :.....l/s ;

○ Caractéristiques physico-chimiques de l'eau :

- T°C, PH= , Conductivité..... μ S/cm ;

○ **Les usages faits des eaux** :..... ;

- **AEP** , irrig **ptel**
, autre

○ Le mode de captage et les aménagements existants (description, schéma et photos).....
.....
.....

○ Pérennité de la source : La source s'assèche – elle en été, si oui indiquer la durée d'assèchement en année normale
Non Oui

Autres informations utiles
:.....
.....
.....

○ **Commentaire**