

المملكة المغربية

ROYAUME DU MAROC

INSTITUT AGRONOMIQUE
ET VÉTÉRINAIRE HASSAN II



معهد الحسن الثاني للزراعة
والبيطرة

**Projet de Fin d'Etudes présenté pour l'obtention du
diplôme d'Ingénieur d'état en Génie rural**

**Contribution au développement d'un modèle
conceptuel sous SIG pour établir un diagnostic des
ressources en eau utilisées pour l'irrigation des
périmètres de GH et de PMH du bassin Ziz-Rhéris de
Tafilalet**

Présenté et soutenu publiquement par

Mme. KINIKSSI HANAA

JURY

Pr. M.KUPER	(Président)	DEEI/IAV HASSAN II
Pr. A. HAMMANI	(Rapporteur)	DEEI/IAV HASSAN II
Pr. A. BOUAZIZ	(Examineur)	DEEI/IAV HASSAN II
M. T.BENABDELOUAHAB	(Examineur)	INRA
Mme. B. MOUMEN	(Examineur)	ORMVAT

Septembre 2011

المملكة المغربية

ROYAUME DU MAROC

INSTITUT AGRONOMIQUE
ET VÉTÉRINAIRE HASSAN II



معهد الحسن الثاني للزراعة
والبيطرة

مشروع نهاية الدراسات لنيل دبلوم

مهندس دولة في الهندسة القروية

وضع نموذج مفاهيمي في نظم المعلومات الجغرافية لتشخيص
الموارد المائية المستخدمة في ري كل من محيطات الهيدروليكية
العالية ، المتوسطة ، و الصغيرة لحوض زيز-غريس بجهة تافيلالت

قدم للعموم ونوقش من طرف

السيدة: هناء كنيكسي

أمام اللجنة المكونة من:

معهد الحسن الثاني للزراعة و البيطرة	رئيسا	م. كوبر	الأستاذ
معهد الحسن الثاني للزراعة و البيطرة	مقررا	ع. حماني	الأستاذ
معهد الحسن الثاني للزراعة و البيطرة	ممتحنا	أ. بوعزيز	الأستاذ
المعهد الوطني للبحث الزراعي	ممتحنا	ط. بن عبد الوهاب	السيد
المكتب الجهوي للاستثمار الفلاحي لتفيلالت	ممتحنا	ب. مومن	السيدة

سبتمبر 2011

Dédicace

*A la personne qui m'a montré les sommets, a mon **trop cher père***

Le bonheur de mon existence

Le phare qui a guidé mes premiers pas

La source inépuisable de sagesse

Tu es l'amî pour toute la vie

*A la plus belle perle du monde, à **ma tendre mère***

La personne qui me comprend à demi mot

Qui lis dans mes yeux, sur mes lèvres et dans mon cœur

Tu as toujours fais preuve d'abnégation, je te demande pardon en ce temps précis pour tous nos malentendus et saches que tu es le symbole d'amour et de persévérance, ma fierté et exemple dans la vie

*A mon grand amour, la lumière de mes jours, **mon cher mari,***

*A la joie de ma vie, **mes frères et ma sœur***

Les personnes qui me soutiennent et n'attendent rien en retour

Mon amour pour vous et d'une grandeur incontournable

Que ce mémoire soit un tremplin pour vous qui êtes toujours à mes cotés

*A mes chers **grands parents***

Les deux personnes qui ont construit mon univers

Desquels je reçois tant d'amour et de tendresse

Aucun mot ne suffira pour vous dire merci

*A mes chères tantes et oncles , A toute ma famille
Pour le respect et l'amour qu'ils m'ont toujours accordé*

A tous mes amis et camarades

En témoignage de notre amitié sincère

A tous ceux qui me sont chers...

A tous ceux qui ont cru en moi ...

A tous ceux qui m'ont fait confiance...

A tous ceux que j'aime...

A tous ceux qui m'aiment...

Je dédie ce travail

HANAA

« Il faut toujours remercier l'arbre à karité sous lequel on a ramassé de bons fruits pendant la bonne saison »

Ahmadou KOUROUMA

Remerciement

Ce rédigé dévoile le fruit de plusieurs heures, jours et nuits de travail soutenu. Il est effectué dans le cadre d'un sujet de fin d'études à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Cet écrit est réalisé grâce à l'assistance de nombreuses personnes que je tiens à remercier à travers ses quelques lignes. Bien que la liste ne soit pas exhaustive, je remercie particulièrement :

Mr Ali Hammani, mon encadrant et le chef de département EEI. Je lui dédie ce rédigé en espérant être à la hauteur de ses espérances et de dévouer à travers cela ma reconnaissance et mon respect. Je lui dois mille mercis pour m'avoir permis de bénéficier de son grand savoir, sa pédagogie et sa modestie. Je le remercie d'avoir voulu conduire ce travail avec intérêt et rigueur scientifique.

Mes remerciements les plus cordiaux s'adressent à Mr. Ahmed Bouaziz, et à Mr. Marcel Kuper pour leur aide, leurs explications et suggestions pertinentes.

Je ne manquerais pas l'occasion de remercier grandement Mr Arfawi Nour Eddine, pour son aide , sa disponibilité extraordinaire, ses recommandations et assistance afin de me permettre de surmonter les difficultés rencontrées lors de

la recherche des données , et sa contribution à m'offrir toute la documentation nécessaire pour réussir mon travail.

Mes plus sincères remerciements vont à Mr Mohammed Elmortazak, Mme Bouchra Moumen, pour leur soutien, leur aide incontestable tout au long de mon travail.

Je notifie mes infinis remerciements à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Très aimablement, je remercie l'ensemble du corps enseignant de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Je présente mes timoges à toutes les personnes qui ont cru en moi et qui m'ont accordé de l'estime. Je salue fortement leur bienveillance.

Mes sincères remerciements pour Mr. le président et les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer ce modeste travail. J'espère que ce manuscrit soit la preuve de mon réel investissement et ma grande motivation.

Enfin les mots me manquent pour traduire ma gratitude pour mon Institut, cet institut qui m'a accueilli durant toutes ces bonnes années.

Que chacun trouve ici le fruit de ses efforts

Résumé

Le bassin Ziz-Rhéris du Tafilalet présente un bilan hydrique déficitaire. Ce déficit est dû d'une part à la diminution des apports et la surexploitation des nappes, et d'autre part à la forte demande en eau, notamment dans le secteur agricole. Ainsi, la couverture des besoins en eau d'irrigation est particulièrement problématique. De plus, la diversité des ressources en eau et la superposition des systèmes d'irrigation ; traditionnel et moderne ; sont des problèmes remarquables dans le bassin car ça donne naissance à des systèmes complexes qui ne peuvent pas être gérés d'une façon correcte.

Face à ces défis, une connaissance globale des ressources en eau et de la façon dont elles sont gérées dans le bassin Ziz-Rhéris constituent le premier pas vers la clarté des données qui est le pilier essentiel de la bonne gestion.

Dans cette optique, ce travail est conçu dans le but de :

- Elaborer une représentation géographique des ressources en eau du bassin Ziz-Rhéris à travers l'élaboration d'une base de données géographique (SIG) qui regroupe toutes les ressources hydriques du bassin thème par thème en se basant sur des données alphanumériques et spatiales ;
- Développement d'un modèle conceptuel qui met en évidence :
 - ✓ Les ressources en eau disponibles dans chacun des sous-bassins du Ziz-Rhéris ;
 - ✓ Les ressources utilisées pour l'irrigation des périmètres de GH et de PMH ;
 - ✓ Les sites de superposition du réseau d'irrigation moderne avec le réseau traditionnel.
- Enrichir ma base de données par des informations bien agencées, claires, ordonnées, faciles à consulter, pour mieux exploiter le modèle géographique.
- Etablir un bilan ressources en eau-besoins en eau pour évaluer le déficit hydrique dans les périmètres de PMH.

Ce modèle pourrait renforcer les capacités de l'ORMVAT et de l'ABH-GRZ en leur permettant de :

- Bien localiser et connaître les ressources en eau du bassin
- Avoir une idée claire sur les ressources utilisées pour l'irrigation des périmètres du bassin Ziz-Rhéris
- assurer une bonne gestion de l'eau dans la zone d'étude

Mots clés : Système d'Information Géographique, Gestion de l'eau, déficit hydrique, Irrigation, périmètre, GH, PMH, ORMVAT, Tafilalet, Ziz, Rhéris, Base de Données.

Abstract

The basin-Ziz Rheris of Tafilalet area has resulted into a hydric deficit . This deficit is partly due to lower intakes and over-exploitation of groundwater, and partly to the high water demand, particularly in the agricultural sector

Ziz-Rheris basin has resulted into a hydric deficit. This deficit is partly due to lower intakes and over-exploitation of groundwater, and partly to the high water demand, particularly in the agricultural sector. Thus , the coverage needs for irrigation water is particularly problematic. In addition, diversity of Water Resources and superposition of irrigation systems ; traditional and modern ; are the most outstanding problems in the basin.

Faced with these challenges, comprehensive knowledge of water resources and how they are managed in the basin Ziz-Rheris is seen as the first step toward clarity of the data which is the pillar of good governance

In this context, this work is designed in order to:

- Develop a geographical representation of water-Rheris Ziz basin through the development of a database (GIS) which includes all water resources of the basin theme by theme based on the given alphanumeric and spatial ;
- Development of a conceptual model that highlights:
 - ✓ The available water resources in each sub-basin of the Ziz –Rheris basin ;
 - ✓ The resources used to irrigate the perimeter of GH and PMH ;
 - ✓ The sites overlay of modern irrigation system with the traditional network.
- Enrich my database with information well appointed, bright, orderly, easy to read, to better exploit the geographic model ;
- Establish a balance « water resources - water needs » to evaluate the water deficit in the PMH perimeters.

This model could enhance the capacity of the ORMVAT and ABH-Ziz-Rheris Guir While allowing them to:

- ✓ Well located and know the water resources of the basin
- ✓ Have a clear idea of the resources used for irrigation perimeters of the basin Ziz-Rheris
- ✓ Ensure proper management of water in the study area

Keywords: Geographic Information System, Water Management, water deficit , Irrigation, ORMVAT, Tafilalet, Ziz, Rheris, Database.

LISTE DES MATIERES

Liste des tableaux.....	i
Liste des figures.....	iii
Liste des cartes	iv
Liste des abréviations.....	vi
INTRODUCTION GENERALE	1

PARTIE I : Synthèse bibliographique

CHAPITRE I : Les ressources en eau et l'irrigation dans le bassin Ziz-Rhéis du Tafilalet.....6

1. Présentation du Tafilalet :6

1.1 Situation géographique du Tafilalet :6

1.2 Caractéristiques climatiques du Tafilalet :..... 6

1.3 Ressources en eau du Tafilalet :7

2. Présentation de la zone d'étude ; le bassin Ziz-Rhéis :.....8

3. Ressources en eau du Ziz-Rhéis9

3.1 Introduction.....9

3.2 Les eaux de surface.....10

3.3 Les eaux souterraines :.....12

3.4 Exploitation des eaux souterraines :.....28

CHAPITRE II : Gestion des ressources en eau et de l'irrigation dans le bassin de Tafilalet.....31

1. Introduction31

2. Gestion des ressources en eau par bassin dans le Ziz-Rhéis du Tafilalet :.....32

2.1 Bassin du Ziz :.....32

2.2 Bassin du Rhéis.....33

3. Gestion basée sur la nature des ressources et l'aspect juridique :34

3.1 Eaux pérennes.....34

3.2 Les eaux régularisées :35

3.3 Les eaux des khattaras:	35
3.4 Les eaux de pompage :	35
4. Gestion des nappes dans le Tafilalet :	36
4.1 Réserves renouvelables et bilans des nappes	36
4.2 Bilan par unité hydrogéologique :	39
5. Organisation traditionnelle de l'irrigation	41
5.1 Le partage de la ressource	42
5.2 L'entretien du réseau de distribution de l'eau	43
5.3 Réglementation de l'utilisation de l'eau	43
5.4 Les enjeux de la reforme hydro-agricole moderne	45
5.5 Retour sur le patrimoine	47
5.6 Préservation et conservation des techniques d'irrigation traditionnelle.....	48
CHAPITRE III : Les bases de Données et les SIG.....	52
1. Les bases de données.....	52
1.1 Définitions de quelques concepts de base.....	52
1.2 Démarche de conception d'une base de données.....	53
2. Les systèmes d'informations géographiques (SIG)	55
2.1 Définitions et généralités.....	55
2.2 Les composantes d'un SIG	56
2.3 Conception d'un SIG.....	57
<u>PARTIE II : Matériels et méthodes</u>	
CHAPITRE IV: Méthodologie.....	59
1. Introduction	59
2. Choix et collecte de données :	59
2.1 Exemples de données :	60
2.2 Sources des données.....	60
3. Elaboration de la base de données spatiale.....	60

4. Conception et élaboration de la base de données	61
CHAPITRE V : Elaboration de la base de données spatiale.....	63
1. Choix du logiciel.....	63
2. Préparation des données et de fonds de cartes.....	63
3. Les couches utilisées.....	64
CHAPITRE VI : Conception et élaboration de la Base de Données.....	65
1. Logiciels utilisés.....	65
2. Création de la base de données.....	65
2.1 Description des tables.....	65
2.2 Relation entre tables.....	66
2.3 Description des requêtes.....	69
 PARTIE III: Résultats et discussion	
CHAPITRE VII : Diagnostic des ressources hydriques à l'échelle des sous-bassins du Ziz-Rhérís	
1. Le sous-bassin ZR1 :	72
2. Le sous-bassin ZR2 :	74
3. Le sous-bassin ZR3 :	77
4. Le sous-bassin ZR4 :	79
5. Le sous-bassin ZR5 :	83
6. Le sous-bassin ZR6 :	85
 CHAPITRE VIII : Diagnostic de ressources utilisées pour l'irrigation des périmètres de GH du Ziz-Rhérís	
1. Périmètre « Vallée de Ziz » :	87
2. Le périmètre de recasement:	88
3. Le périmètre « plaine du Tafilalet » :	88
 CHAPITRE IX : Diagnostic de ressources utilisées pour l'irrigation et établissement du bilan ressources-besoins en eau des périmètres de PMH du Ziz-Rhérís	
1. Aghbalou :	94
1.1 Situation géographique.....	94
1.2 Ressources d'irrigation du périmètre	94

1.3 Evaluation des apports	95
1.4 Evaluation des besoins en eau	97
1.5 Etablissement du bilan ressources en eau - besoins en eau :	100
1.6 Conclusion :	101
2. Arfoud :	102
2.1 Situation géographique.....	102
2.2 Ressources d'irrigation du périmètre	102
2.3 Evaluation des apports	104
2.4 Evaluation des besoins en eau	105
2.5 Etablissement du bilan ressources en eau - besoins en eau :	109
2.6 Conclusion :	110
3. Jorf :	110
3.1 Situation géographique.....	110
3.2 Ressources d'irrigation du périmètre	111
3.3 Evaluation des apports	111
3.4 Evaluation des besoins en eau	112
3.5 Etablissement du bilan ressources en eau - besoins en eau :	115
3.6 Conclusion :	116
4. Lkhorbate :	117
4.1 Situation géographique.....	117
4.2 Ressources d'irrigation du périmètre....	118
4.3 Evaluation des apports	118
4.4 Evaluation des besoins en eau	118
4.5 Etablissement du bilan ressources en eau - besoins en eau :	121
4.6 Conclusion :	122
5. Goulmima :	123
6. Rich :	125
7. Guers Tillaline :	127

<u>8. Tadighoust:</u>	<u>129</u>
<u>9. Aoufous :</u>	<u>131</u>
<u>Conclusion générale</u>	<u>134</u>
<u>Liste des références bibliographiques</u>	<u>135</u>
<u>Annexes</u>	<u>138</u>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : caractéristiques des nappes du bassin Ziz-Rhéis.....	27
Tableau 2 : caractéristiques des nappes phréatiques du bassin Ziz-Rhéis.....	27
Tableau 3: les périmètres de GH du bassin Ziz-Rhéis.....	33
Tableau 4 : Bilan global de l'unité du Haut Atlas.....	39
Tableau 5 : Bilan global de l'unité du bassin crétacé Errachidia –Boudnib.....	39
Tableau 6 : Bilan global des nappes quaternaires par BV.....	40
Tableau 7 : Entités utilisées et leurs représentations.....	53
Tableau 8 : description des tables de la base de données.....	65
Tableau 9 : Superficie dominée par les khetaras du périmètre d'Aghbalou.....	66
Tableau 10 : Apports mensuels année moyenne, sèche et humide de la source Aghbalou (Mm3)....	95
Tableau 12:Apports mensuels année moyenne, sèche et humide à Aghbalou	97
Tableau 11 : Apports mensuels année moyenne, sèche et humide à la station de Tadighouste.....	96
Tableau 13 : Valeurs de « p » pour des latitudes marocaines.....	98
Tableau 14 : Valeurs des coefficients cultureux Kc.....	98
Tableau 15 : Valeurs de l'évapotranspiration de référence (ETo mm) selon Blanney-Criddle	99
Tableau 16 : Occupation du sol d'Aghbalou.....	99
Tableau 17 : Besoins en eau en tête du périmètre d'Aghbalou.....	100
Tableau 18 : Bilan ressources en eau-Besoin en eau dans le périmètre d'Aghbalou.....	101
Tableau 19 : Longueurs des khéttaras du périmètre Arfoud.....	102
Tableau 20 : Apports mensuels année moyenne, sèche et humide au périmètre Erfoud (Mm3)....	105
Tableau 21 : Valeurs de p pour des latitudes marocaines.....	106
Tableau 22 : Valeurs des coefficients cultureux Kc.....	107
Tableau 23 : Valeurs de l'évapotranspiration de référence (ETo mm) selon Blanney-Criddle(Arfoud)	107
Tableau 24 : Assolement du périmètre (Arfoud)	108

Tableau 25 : Besoins en eau en tête du périmètre d'Arfoud.....	109
Tableau 26 : Bilan ressources en eau-Besoin en eau dans le périmètre d'Arfoud.....	109
Tableau 27 : Estimation des débits des khattaras (Jorf)	112
Tableau 28 : Valeurs de p pour des latitudes marocaines.....	113
Tableau 29 : Valeurs des coefficients culturaux Kc(Jorf)	113
Tableau 30 : Valeurs de l'évapotranspiration de référence (ETo mm) selon Blanney-Criddle(Jorf)....	115
Tableau 31 : Besoins en eau en tête du périmètre Jorf.....	115
Tableau 32 : Bilan ressources-Besoins en eau dans le périmètre de Jorf	116
Tableau 33 : Apports mensuel au niveau de la station de Ait Bouijane.....	118
Tableau 34 : Valeurs de l'évapotranspiration de référence (ETo mm) selon Blanney-Criddle (Lkhorbate)	120
Tableau 35 : Assolement du périmètre Lkhorbate.....	120
Tableau 36 : Besoins en eau en tête du périmètre Lkhorbate.....	121
Tableau 37 : Bilan ressources en eau-Besoin en eau dans le périmètre Lkhorbate.....	121
Tableau 38 : Bilan ressources-Besoins en eau dans le périmètre de Goulmima.....	124
Tableau 39 : Bilan ressources-Besoins en eau dans le périmètre de Rich	126
Tableau 40 : Bilan ressources-Besoins en eau dans le périmètre de Guers Tillaline.....	128
Tableau 41 : Bilan ressources-Besoins en eau dans le périmètre de Tadighoust.....	130
Tableau 42 : Bilan ressources-Besoins en eau dans le périmètre d'Aoufous.....	133

Liste des figures

Figure 1 : le Tafilalet et ces trois bassins versants ; Ziz, Rhéris, et Guir.....	6
Figure 2 : Schéma du fonctionnement d'une khattara.....	30
Figure 3 : bilan des nappes Plio-Quaternaires par bassin versant.....	41
Figure 4 : Modèle Conceptuel de Données simplifié.....	54
Figure 5 : Modèles physique de données possibles.....	54
Figure 6 : Environnement d'un SIG.....	56
Figure 7 : Canaux d'irrigation	60
Figure 8 : Schéma des relations entre les tables de la base de données.....	67
Figure 9 : Relations entre les tables de la base de données.....	68
Figure 10 : exemple de création de requête.....	69

Liste des cartes

Carte 1: localisation du bassin Ziz-Rhéris au Maroc.....	8
Carte 2 : �paisseurs du Sénonien (Etude DRH-GRZ/2006)	15
Carte 3 : transmissivités du Sénonien (Etude DRH-GRZ/2006)	16
Carte 4 : les épaisseurs du Turonien (Etude DRH-GRZ/2006)	19
Carte 5 : les transmissivités du Turonien (Etude DRH-GRZ/2006)	20
Carte 6 : les épaisseurs de l'Infracénomanien (Etude DRH-GRZ/2006)	23
Carte 7 : les transmissivités de l'Infracénomanien (Etude DRH-GRZ/2006)	24
Carte 8 : carte piézométrique de l'aquifère Infracénomanien	24
Carte 9: Principaux domaines hydrogéologiques.....	26
Carte 10 : Carte d'Arfoud	73
Carte 11 : ressources en eau du sous-bassin ZR1.....	76
Carte 12 : ressources en eau du sous-bassin ZR2.....	78
Carte 13 : ressources en eau du sous-bassin ZR3.....	82
Carte 14 : ressources en eau du sous-bassin ZR4.....	84
Carte15 : ressources en eau du sous-bassin ZR5.....	86
Carte 16 : ressources en eau du sous-bassin ZR6.....	88
Carte 17 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation du périmètre vallée de Ziz amont.....	88
Carte 18 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation du périmètre vallée de Ziz aval.....	88
Carte 19 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation du périmètre de recasement	89
Carte 20 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation des secteurs A et B du périmètre plaine de Tafilalet	90
Carte 21 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation du périmètre plaine de Tafilalet	91
Carte 22 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation du périmètre Aghbalou.....	93
Carte 23 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation du périmètre Arfoud	103
Carte 24 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation du périmètre Jorf.....	111
Carte 25 : ressources en eau utilisées pour l'irrigation du périmètre Lkhorbate.....	117
Carte 26 : ressources en eau utilisées pour l'irrigation du périmètre Goulmima.....	123

Carte 27 : ressources en eau utilisées pour l'irrigation du périmètre Rich.....	125
Carte 28 : ressources en eau utilisées pour l'irrigation du périmètre Guers Tillaline.....	127
Carte 29 : ressources en eau utilisées pour l'irrigation du périmètre Tadighoust.....	129
Carte 30 : ressources en eau utilisées pour l'irrigation du périmètre Aoufous.....	131

Liste des abréviations

ABH-GRZ: Agence de bassin hydraulique de Guir-Rhéis-Ziz.

AUEA : Association d'Usagers des Eaux Agricoles

BD : Base de Données

Bge. : Barrage

CMV : Centre de Mise en Valeur Agricole

CR : Commune rurale

DRH-GRZ : Direction Régionale d'Hydraulique de Guir-Rheris-Ziz

GIS: SIG

GH : Grande hydraulique

JPEG: format standard de compression de fichier graphique (Joint Photographic Experts Group)

Kh. : Kheffara

MS Access : Microsoft Access

ORMVA: Office Régional de Mise en Valeur Agricole

ORMVAT: Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Tafilalet

PDAIRE: Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau

PMH: Petite et Moyenne Hydraulique

SIG: Système d'Information Géographique

SGBD: système de gestion de base de données.

SGRID : Service de gestion des réseaux d'irrigation et de drainage

SAU : superficie agricole utile

S. : Séguia

ZR : Ziz-Rhéris

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est essentielle à la survie et au bien-être de l'homme, et est indispensable au fonctionnement de nombreux secteurs de l'économie. Les ressources en eau sont inégalement réparties dans l'espace et le temps et souffrent des pressions qu'exercent sur elles les activités humaines.

Partout dans le monde, les ressources en eau disponibles s'amenuisent en raison des activités humaines et de facteurs naturels. Même si la population a pris davantage conscience au cours des dix dernières années de la nécessité de mieux gérer et protéger l'eau, les critères économiques et les considérations politiques ont toujours tendance à déterminer la politique de l'eau à tous les niveaux. La recherche scientifique et les meilleures pratiques ne reçoivent que très rarement une attention suffisante.

Les pressions qui pèsent sur les ressources en eau sont de plus en plus fortes, principalement en raison des activités humaines-notamment l'urbanisation, la croissance démographique, l'augmentation du niveau de vie, la concurrence croissante pour les ressources en eau et la pollution. De plus, le changement climatique et les variations des conditions naturelles viennent aggraver ces pressions. On peut cependant noter certains progrès. En effet, de plus en plus, les autorités évaluent à la fois la quantité et la qualité de l'eau et coordonnent les efforts de gestion au-delà des frontières.

Donc « comment faut-il gérer les ressources en eau de façon durable tout en satisfaisant une demande en constante augmentation? »

Aborder l'eau dans une perspective à long terme implique une approche complexe prenant en compte différentes dimensions .une dimension socio-économique pour optimiser la gestion de l'eau dans tous les secteurs d'activité économique, sociale pour permettre un accès égal pour tous à la ressource ; environnementale car la politique de l'eau doit être intégrée dans une perspective plus large comme celle de l'aménagement du territoire , de la gestion des risques ou de mesures de protection des écosystèmes et enfin politique en impliquant l'ensemble des partenaires , bénéficiaires et usagers dans la décision .Cette vision holistique est indispensable pour agir en faveur de la préservation et de la prise en compte adaptée à ce milieu .

L'eau s'inscrit alors dans un système complexe dont la bonne gestion dépend des moyens de connaissance et d'accès à l'information .L'utilisation des technologies de l'information et de la communication offre un vaste panorama de possibilités pour établir de nouvelles approches pour la collecte et l'utilisation des données sur l'eau , tout en révolutionnant l'efficacité de l'information ,sa disponibilité et le bon agencement des données .A cet égard les systèmes d'information géographique (SIG) ,qui allient la cartographie et la gestion de base de données ,offrent des représentations optimisées et individualisées de ce milieu où les acteurs sont nombreux.

Les systèmes d'information géographique permettent de relever le déficit de la connaissance de la ressource tant du point de vue quantitatif que qualitatif. Les organismes de gestion de

bassin peuvent aussi disposer d'éléments pour définir des solutions techniques, planifier et programmer à moyen et à long terme ,informer et sensibiliser.

Les SIG qui concernent autant les eaux superficielles que souterraines ,participent de cette façon à la protection et à la restauration de la ressource en eau , à la gestion de sa qualité en surveillant l'état de son exploitation ou en optimisant les réserves en eau pour mieux répondre au besoins des usagers .

Les systèmes d'information géographique et les outils de modélisation cherchent à représenter au mieux une réalité ,soit en reconstituant les relations spatiales soit en traduisant des évolutions temporelles entre les objets .L'intégration de la vision cartographique permet en outre d'avoir pour un problème donné, des points de repère qui rendent l'outil vivant et convivial pour en faire un moyen d'information pour tous et également un élément incontournable pour l'aide à la décision dans des cas aussi diversifiés .

Ainsi en intégrant des informations cartographiques et des données sur le milieu naturel ,humain ,économique, industriel... les systèmes d'information géographique apportent des réponses aux enjeux locaux de la gestion et de la planification du territoire tout en prenant en compte les risques environnementaux .L'information géographique et la production ,la consultation ou l'exploitation des données cartographiques sont primordiales pour les différents acteurs qui interviennent sur la problématique des risques environnementaux.

Ces données sont utiles dans les différents phases de la gestion du risque pour permettre d'établir des plans de prévention des risques ,délimiter des zones réglementaires ,définir des plans d'intervention ,protéger et réduire les impacts ,mobiliser des équipes d'intervention, procéder à des évaluations économiques ,appréhender la vulnérabilité. Plus généralement elles contribuent à améliorer des politiques de prévention et de gestion de crise Par exemple ces données sont importantes pour projeter des scénarios de gestion ou d'aménagement sur l'hydrographie d'un bassin versant.

L'association de l'information géographique, technique, et économique est ainsi rendue possible et permet de mettre en regard les informations nécessaires à la gestion des réseaux d'adduction d'eau , de faciliter les interventions de maintenance ou encore prévoir les extensions nécessaires du réseau face à la croissance démographique et urbaine .Il est dès lors possible d'optimiser le service de distribution en vue de permettre un rendement élevé d'une ressource limitée et coûteuse à produire et à distribuer . L'utilisation des SIG rend plus aisée une gestion qui combine à la fois les aspects de maintenance, de renouvellement et de réhabilitation du réseau, d'amélioration de la gestion commerciale et d'optimisation des plans d'investissement.

Les SIG offrent donc la possibilité de disposer de données historiques et actualisées sur la qualité de la ressources, sa disponibilité, sa gestion dans le cadre des réseaux d'adduction d'eau ou de situation de risque, et de les optimiser en les alliant à la cartographie.

Or les résultats de cet outil ne peuvent être fiables que si la qualité des données est vérifiée.

L'étude de cas présentée rend compte de la diversité des ressources en eau dans le bassin Ziz-Rhéis dans la région de Tafilalet, située au sud-est du Maroc, c'est une zone subdésertique, qui connaît une situation critique car les ressources en eau dans cette région comme dans plusieurs coins dans le monde subissent de nombreuses pressions. Il nous faut encore acquérir davantage d'informations fiables sur la qualité et la quantité d'eau disponible ainsi que sur la manière dont cette disponibilité varie dans le temps et dans l'espace. Les activités humaines influent de bien des façons sur le cycle de l'eau, et leur impact doit être compris et quantifié afin de gérer les ressources en eau de manière responsable et durable.

Les contraintes majeures qui freinent le développement de l'agriculture dans cette région sont :

- Les changements climatiques ont une incidence sur la disponibilité en eau ;
- La pollution, les déviations de cours d'eau et les incertitudes quant à la quantité d'eau disponible menacent la croissance économique, l'environnement et la santé ;
- Les nappes phréatiques sont souvent surexploitées et polluées ;
- La rareté de ses ressources hydriques ;
- L'Homme avec son individualisme, analphabétisme, et sa mauvaise application de ses droits sur l'eau.

Ces éléments donnent naissance à un système complexe qui freine toutes tentatives de gestion optimale ou de valorisation des ressources en eaux .

Compte tenu de la problématique posée, et pour aider à atténuer la gravité de ce problème mon travail consiste en

- Une représentation géographique des ressources en eau du bassin Ziz-Rhéis à travers l'élaboration d'une base de données géographique (SIG) qui regroupe toutes les ressources hydriques du bassin en se basant sur des données alphanumériques et spatiales
- Contribution au développement d'un modèle conceptuel qui met en évidence :
 - ✓ Les ressources en eau disponibles dans chacun des sous-bassins du Ziz-Rhéis ;
 - ✓ Les ressources utilisées pour l'irrigation des périmètres de GH et de PMH
 - ✓ Les sites de superposition du réseau d'irrigation moderne avec le réseau traditionnel
- Etablissement d'un bilan ressources-besoin en eau pour les périmètres de PMH

La méthodologie adoptée pour réaliser ce travail se base essentiellement sur les étapes suivantes :

- Recherche bibliographique sur la zone d'étude, et les ressources en eau dans le Tafilalet (de surfaces, et souterraines)

- Collecte des données alphanumériques et géographiques auprès :
 - ✓ ORMVAT
 - ✓ ABHT
 - ✓ SEEE
 - ✓ IAV Hassan II
- Traitement, évaluation et spatialisation des données géoréférencées ;
- Conception d'une base de données géographique (SIG) ;
- Exploitation du SIG pour la confrontation entre l'offre et la demande en eau dans le Bassin de Ziz-Rhéris ;

Pour la réalisation de mon travail, les outils de développement informatique que j'ai utilisé sont les suivants :

- **Didger V.4** : logiciel développé par Golden Software, il sert à convertir (numériser, digitaliser) des cartes papier, des graphiques, des photos aériennes, ou toute autre tracé des informations en un format numérique polyvalent qui peut être utilisé avec d'autres logiciels ;
- **ArcGIS V. 9.3**: c'est un ensemble de logiciels SIG édité par l'"Environmental Systems Research Institute" (ESRI). Il sert à analyser les données, réaliser des produits cartographiques, naviguer dans les bases de données, visualiser les données et trouver des solutions SIG importantes ;
- **Microsoft Access 2007**: MS Access édité par Microsoft. Il fait partie de la suite bureautique MS Office Pro. Access est un système de gestion de base de données qui permet de gérer les bases de données relationnelles.

PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : Les ressources en eau et l'irrigation dans le bassin Ziz-Rhéris du Tafilalet

1. Présentation du Tafilalet :

1.1 Situation géographique du Tafilalet :

Le Tafilalet est situé au Sud Est du Royaume, dans la zone pré saharienne Sud Atlasique et s'étend sur une superficie estimée à 77.250 km² dont 60.000 ha irriguée.

Elle englobe trois bassins versants: le Ziz, le Ghéris, et le Guir. Elle se divise en trois unités principales: au nord, une unité montagneuse située dans le versant sud du haut Atlas oriental; une unité intermédiaire pré saharienne constituée de plateaux parsemés d'oasis et au sud une unité à hauts plateaux sahariens.

La population de la zone s'élève à 574.500 habitants dont 61% sont employés dans le secteur agricole (recensement 1994)

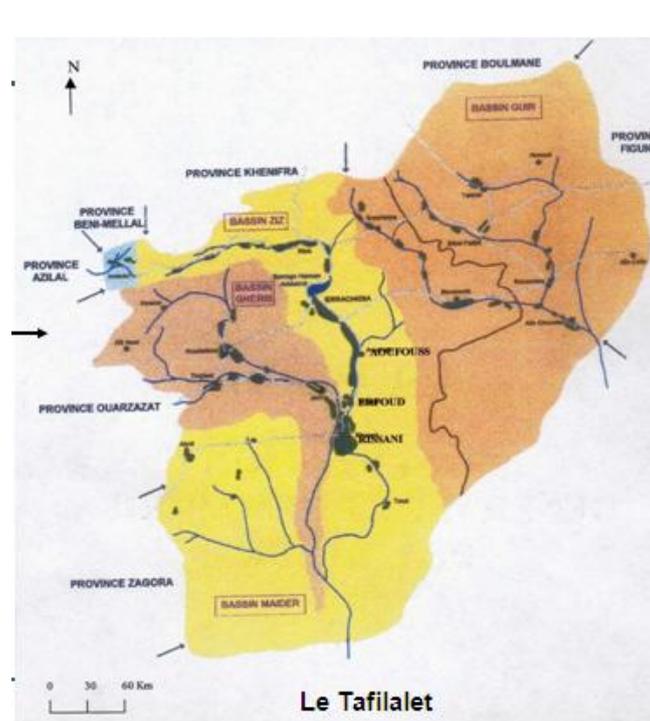


Figure 1 : le Tafilalet et ces trois bassins versants ; Ziz, Rhéris, et Guir

1.2 Caractéristiques climatiques du Tafilalet :

Le climat du Tafilalet est semi désertique à forte influence continentale. Les précipitations moyennes annuelles sont très faibles : 265 mm au nord et 60 mm au sud. Le régime annuel des pluies se caractérise par l'existence de deux saisons pluvieuses : l'automne et le printemps, séparées par deux périodes sèches. Les températures sont très variables du nord au

sud de la zone. Alors qu'elle neige à Imilchil pendant l'hiver, la température peut atteindre 50°C à Rissani pendant l'été.

L'évaporation potentielle (bac évaporant) moyenne annuelle s'élève à 2500 mm. Les vents dominants sont de direction Nord Est. Le chergui (vent chaud et sec en provenance du Sud Est) souffle essentiellement au printemps et en automne.

1.3 Ressources en eau du Tafilalet :

Les ressources en eau proviennent essentiellement des trois oueds Ziz (160 Mm³), Rhéris (120 Mm³) et Guir (190 Mm³) et de la nappe phréatique (200 Mm³) mobilisées par les khattaras et les stations de pompage.

Les sols cultivés sont à caractère limono-argileux d'origine alluvionnaire du fait de l'irrigation depuis des siècles par les eaux de crue. Ces sols sont en général riches en matière organique, ce qui leur confère une bonne fertilité. Le dépôt des sels sous l'effet de l'évaporation se traduit par une salure plus élevée en surface et une tendance à l'alcalinisation en profondeur.

En dehors des périmètres irrigués, les sols sont peu évolués du fait des conditions climatiques sévères.

Le Tafilalet a connu un certain nombre d'aménagements en vue d'une meilleure maîtrise des ressources en eau.

Les aménagements sont conçus dans le cadre d'une irrigation par dérivation des écoulements de l'oued par le biais de barrages de dérivations, d'une part pour les eaux superficielles et de la mobilisation des eaux de la nappe aquifère captée par un réseau de khattaras ou par des pompes d'autre part.

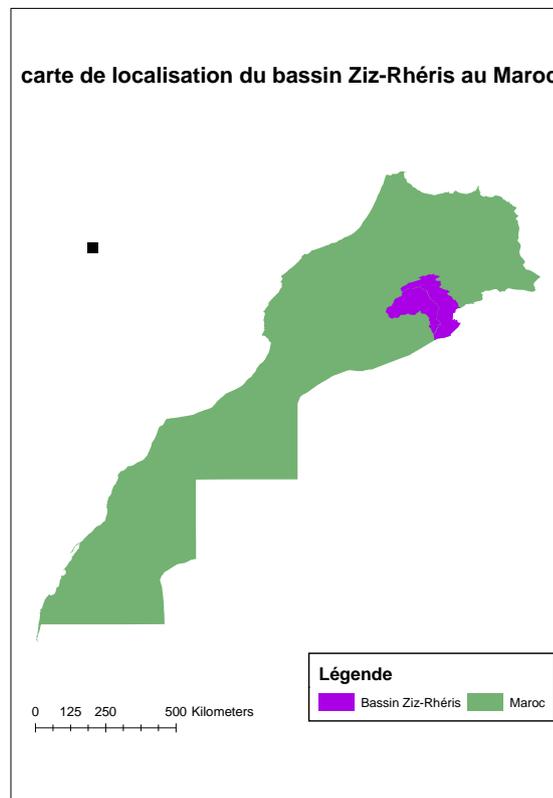
Les barrages de dérivation sont en général construits en béton ou en maçonnerie. Certains, plus modestes, en forme de petites digues sont en terre fusible et sont emportés après crue. La majorité de ces ouvrages se présente sous forme de seuil de grande longueur implanté en ligne droite ou brisée en travers du lit de l'oued. Certains sont munis de passes de dégrèvement équipées de vannes wagons. L'ouvrage de prise peut être une simple ouverture ou constitué par un ou plusieurs orifices, équipés ou non de vannes de garde, qui tendent à assurer la constance des débits.

Les khattaras constituent un système très ancien de captage des eaux souterraines. Ce sont des drains rudimentaires souvent groupés en faisceaux, dont le but est d'amener par gravité l'eau de la nappe phréatique.

L'assèchement de certaines khattaras, par suite du rabattement de la nappe, a poussé les populations à rechercher à compenser les pertes en eau par une exploitation moderne des eaux de la nappe à l'aide de stations de pompage.

Ces stations sont soit individuelles, composées d'un groupe motopompe installé sur des puits privés, soit collectifs appartenant à des coopératives de pompage. On assiste actuellement à un développement considérable de puits et de pompages dans certaines zones. Les conséquences à cette concentration locale des pompages peuvent être catastrophiques et conduire à des rabattements considérables de la nappe du fait de sa surexploitation anarchique.

2. Présentation de la zone d'étude ; le bassin ZIZ-RHERIS :



Carte 1: localisation du bassin Ziz-Rhéris au Maroc

L'unité Ziz-Rhéris correspond aux bassins versants de ces deux oueds à l'exception du bassin de l'oued Maider qui est un affluent de l'oued Rhéris, mais qui a été considéré comme une unité indépendante en raison de sa spécificité.

D'une superficie de 24.900 Km², l'unité Ziz-Rhéris est limitée au Nord par le bassin de la Moulouya, au Nord- Ouest par le bassin de l'Oum-Rbia, à l'Ouest par le bassin du Draa, à l'Est par le bassin de Guir et au Sud par l'Algérie. Cette unité est située en grande partie dans la province d'Errachidia. Seul le haut Todgha en amont de Tinjdad, fait partie de la Province de Ouarzazate.

La population résidant dans ce bassin s'élève à 490.430 habitants dont 65% en milieu rural. Les 35% de la population urbaine se répartissent entre 8 centres plus ou moins importants : Errachidia, Erfoud, Riçani, Rich, Goulmima, Tinjdad, Tinghir et Jorf. La densité moyenne de la population rurale est de 12.5 hab/km². Elle est concentrée dans les vallées cultivées où la densité moyenne atteint 600 hab/Km².

La présence de la barrière atlasique culminant à des altitudes supérieures à 3.200 m et l'intrusion des vents chauds d'origine saharienne sont à l'origine de la rigueur du climat. La température moyenne annuelle varie de 15,2 °C dans le haut Rhéris à 21,5 à Taouz.

A l'échelle mensuelle le gradient thermique est notoirement plus accusé avec respectivement des moyennes minimales et maximales de - 0,5°C et 42°C. L'évaporation augmente de 2700 mm/an à Errachidia à 4500 mm/an à Taouz.

La pluviométrie est marquée par une forte irrégularité spatiotemporelle, passant de 250 mm sur les reliefs du haut Atlas à 130 mm dans la zone d'Errachidia pour chuter à moins de 75 mm au niveau de la plaine de Tafilalet.

La principale activité économique dans cette unité est l'agriculture irriguée qui est pratiquée dans les différentes vallées du bassin. L'agriculture pluviale est très marginale et pratiquée sur de faibles superficies dans les hauts bassins.

La superficie irriguée dans l'unité Ziz-Rhéris est estimée à 57.419 Ha. Le plus grand périmètre est la plaine du Tafilalet qui s'étend sur 20.000 ha, irriguée en partie à partir du barrage Hassan Addakhil sur l'Oued Ziz. Le système de culture est composé de 3 étages qui peuvent être combinées dans les périmètres où l'eau est abondante : palmiers ; arbres fruitiers ; et céréales ou luzerne ou maraîchage.

L'activité minière reste secondaire et se limite à quelques mines où on exploite le Plomb, le Zinc, le Cuivre, la Barytine, le Manganèse et le Talc. La mine d'argent d'imiter représente la principale unité avec une production de 1 T d'argent/jour.

L'activité industrielle est quasi inexistante et l'activité touristique demeure très en deçà des potentialités existantes.

3. Ressources en eau du Ziz-Rhéris

3.1 Introduction

Les ressources en eau proviennent essentiellement des apports des principaux oueds et des nappes souterraines. Compte tenu du régime des ressources en eau et de leurs modes d'exploitation, on distingue :

- Les eaux du barrage Hassan Addakhil ;
- Les eaux de crues ;
- Les eaux pérennes ;
- Les eaux de pompage ;
- Les eaux des khetaras

3.2 Les eaux de surface

3.2.1 Origine des ressources en eau superficielles

L'unité Ziz-Rhéris est irriguée à partir des eaux des deux oueds Ziz et Rhéris et de leurs affluents, des lâchés du barrage Hassan Addakhil, des barrages de dérivation, des crues et des résurgences des nappes alluviales.

Le secteur septentrional nettement mieux arrosé sur les hauts bassins de l'Atlas, constitue le château d'eau des principales artères hydrographiques. Etendu sur le tiers de la province, ce secteur génère 70 à 80 % de l'apport moyen inter annuel de l'ensemble des cours d'eau.

En outre, et d'après les séries chronologiques disponibles depuis 1930, l'écoulement moyen interannuel peut être enregistré en quelques jours de crue, ce qui constitue la difficulté majeure pour l'aménagement des eaux dans cette région. L'apport moyen annuel est évalué à environ 340 Mm³.

Généralement, ces eaux superficielles sont très limitées voire inexistantes à l'aval des périmètres. Pour cela les agriculteurs ont recours à l'exploitation de la nappe phréatique du Quaternaire. Cette nappe est exploitée par des stations de pompes privées et d'autres créées par l'Office.

Les apports moyens en eau de crue dans les deux bassins Ziz et Rhéris sont de 288 Mm³

- Bassin versant Ziz 160 Mm³
 - ✓ Amont du barrage Hassan Addakhil : 140 Mm³
 - ✓ Bassin intermédiaire : 20 Mm³

- Bassin versant Rhéris 128 Mm³
 - ✓ Amont de Ghéris (Tadighoust) : 32 Mm³
 - ✓ Amont du Ferkla (Meroutcha) : 57 Mm³
 - ✓ Bassin intermédiaire (aval Lahmida): 21 Mm³
 - ✓ Eaux dérivées amont Lahmida : 19 Mm³

3.2.2 Mobilisation des ressources en eau superficielles :

Les ressources en eau mobilisées se présentent comme suit :

- ✓ Bassin du Ziz : 160 Mm³ /160 Mm³ potentielles soit 100 %
- ✓ Bassin du Rhéris : 68 Mm³ /130 Mm³ potentielles soit 52 %

Les eaux superficielles mobilisées dans le Ziz-Rhéris s'élèvent donc à 172.8 Mm³ soit 60 % des ressources potentielles.

Les équipements hydrauliques destinés à la mobilisation de ces ressources en eau se présentent ainsi:

- Barrage Hassan Addakhil dont la capacité de retenue est de 380 Mm³
- Barrages et lacs collinaires dont la capacité de retenue est 2,6 Mm³
- Barrage de dérivation au nombre de 246 dans toute la zone d'action de ORMVAT se répartissant en :
 - ✓ Eaux de crue : 25
 - ✓ Eaux de résurgence: 77
 - ✓ Dignes fusibles : 144

➤ Mobilisation des eaux pérennes

Le prélèvement de l'eau est assuré par de petits barrages provisoires, construits en terre et souvent emportés par les crues violentes. Les réseaux d'adduction et de distribution sont constitués de seguias en terre ou en maçonnerie. Les eaux pérennes font toujours l'objet de droit d'eau.

➤ Mobilisation des Eaux de crues

La mobilisation de ces ressources en eau, aléatoires par leur nature, est également assurée par des barrages de dérivations situés, de l'amont vers l'aval, sur l'oued Ziz. Cet aménagement par épandage des eaux de crues permet d'assurer l'irrigation ou le complément d'irrigation de certaines cultures d'une part et de recharger la nappe d'autre part.

Les barrages dérivent les eaux dans les canaux secondaires qui les acheminent aux agriculteurs. Ces derniers respectent toujours la priorité de l'amont sur l'aval. Chaque agriculteur irrigue après que l'agriculteur situé en amont ait terminé. Aucune limitation en eau n'est à signaler, les agriculteurs peuvent prendre les quantités désirées pour irriguer leurs parcelles.

Le mode d'irrigation est exclusivement la submersion et il n'est pas rare de voir, lors des fortes crues, des parcelles où la hauteur d'eau peut atteindre 50 cm et plus, les parcelles sont aménagées pour pouvoir contenir le maximum d'eau et par conséquent avoir un bon lessivage des sels.

Signalons que lors des semailles et des emblavures, si deux crues se succèdent dans un intervalle de 3 mois, le tour d'eau est repris là où il a été arrêté, sinon l'amont reprend la priorité sur l'aval. En année sèche, les eaux de crues sont réservées uniquement pour les céréales et la luzerne.

3.3 Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines dans la province d'Errachidia jouent un rôle primordial dans la satisfaction des besoins en eau. 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 nord au sud en trois unités hydrogéologiques bien individualisées : Le haut Atlas, le bassin crétacé de Boudnib-Errachidia- Tinghir et l'Anti Atlas.

3.3.1 Les nappes phréatiques (quaternaires) :

Cette unité recèle une douzaine de nappes. 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.

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

3.3.2 Les nappes profondes :

Elles sont subdivisées principalement du Nord au Sud en trois unités hydrogéologiques bien individualisées :

3.3.2.1 Le haut atlas :

Il renferme un ensemble d'unités hydrogéologiques communicantes entre elles (Lias et Dogger). Ces aquifères donnent naissance à plusieurs sources dont les plus importantes sont celles de Zaouiet Sidi Hamza, Tahamdount, Aghbalou N'kerdous et Toudgha.

Les ressources en eau souterraines dans le Haut-Atlas circulent principalement dans les calcaires et dolomies jurassiques. Ces calcaires karstiques du jurassique sont dotés de grandes potentialités hydrogéologiques et un débit d'étiage naturel pérenne.

Le substratum Primaire-Trias constitue le mur imperméable général et continu dans toute la chaîne atlasique. Les réseaux aquifères du Lias inférieur forment un système relativement

continu, Le niveau imperméable du Toarcien-Aalénien inférieur joue un rôle d'écran hydrogéologique dans le haut atlas calcaire, Les réseaux aquifères et nappes de la série Aalénien-Dogger, sont fragmentés en bassins séparés dans chaque cuvette synclinale et généralement sans communication et comprenant parfois plusieurs niveaux aquifères .Les deux niveaux aquifères (lias inférieur et jurassique moyen) sont séparés par le niveau imperméable (Toarcien-Aalénien inférieur) et la communication entre les deux niveaux est conditionnée par la présence de failles; A ces deux ensembles aquifères, se superposent des systèmes de nappes phréatiques. Ils jouent un rôle intermédiaire important entre les niveaux aquifères profonds qu'ils drainent souvent.

3.3.2.2 Le bassin Crétacé d'Errachidia-Boudnib

Le bassin crétacé d'Errachidia-Boudnib 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. L'altitude moyenne du bassin est comprise entre 1000 m et 1100 m, et s'accroît à l'ouest vers le seuil d'Imider.

Les terrains qui affleurent dans le bassin sont d'âge crétacé, tertiaire et quaternaire. Les formations crétacées reposent, au sud, sur les terrains primaires. Au nord, elles se trouvent souvent en contact anormal avec les calcaires jurassiques du Haut-Atlas. Sur le plan stratigraphique et tectonique, la correspondance entre les données géologiques et les données géophysiques a permis de montrer l'existence, dans le bassin crétacé, d'un sillon synclinal dissymétrique complexe dont le flanc nord se redresse fortement le long de l'accident Sud-atlasique.

Le bassin crétacé d'Errachidia s'approfondit depuis les affleurements situés au sud en direction de la bordure nord du bassin. Il est relayé à l'est par le bassin de Boudnib plus développé, qui s'approfondit et s'ouvre en direction de la frontière algérienne.

Par comparaison aux autres bassins de la zone d'étude, le bassin Crétacé d'Errachidia – Boudnib est relativement bien étudié; La région a fait l'objet de plusieurs études hydroclimatologiques, hydrogéologiques, hydrochimiques, travaux géologiques, géophysique, de forages de reconnaissance ou d'exploitation couvrant le bassin Crétacé d'Errachidia – Boudnib et les environs proches. La synthèse de toutes les études hydrogéologiques réalisées dans le bassin crétacé dont la plus récente (DRH-GRZ – 2006) intitulée "synthèse hydrogéologique du bassin crétacé d'Errachidia" fait ressortir l'existence des niveaux aquifères suivants :

✓ La nappe du sénonien :

Lithologie, extension et structure du réservoir sénonien

Le réservoir aquifère du Sénonien présente une lithologie diversifiée, constituée de sables fins et d'argiles rouges plus ou moins sableuses ou gypseuses, le plus souvent à intercalations de bancs gréseux avec des profondeurs variant généralement de 10 à 70 m.

Le Sénonien s'étend sur une grande partie du bassin d'Errachidia-Boudnib. Sa limite orientale se situe à environ 10 km à l'Est de Boudnib tandis que sa limite ouest se situe aux alentours de Tadighoust.

Sa limite nord coïncide avec la frontière entre le bassin crétacé d'Errachidia-Boudnib et les formations atlasiques. Sa limite sud longe la limite du bassin crétacé de l'est jusqu'au centre du bassin, puis longe l'oued Ziz par la rive gauche, et passe à proximité des localités de Meski et Tarda.

Il est recouvert largement au centre et à l'Est par les premiers dépôts tertiaires. Par ailleurs, il est en grande partie masqué par les diverses formations quaternaires.

D'après une étude géophysique réalisée, au niveau du forage KES1 (entre Errachidia et Tarda), une partie médiane conductrice (20 Ohm.m), d'une épaisseur de 90 m, est attribuée aux argiles du Sénonien rencontrées entre 35 m et 125 m (dont le toit se situe à une cote de 1005 m) Dans la partie centrale du bassin (représentée par sondage électrique étalon 8N160 réalisé au droit du forage n°IRE 935/47), la courbe du sondage corrélée avec la coupe lithologique permet de constater que le Sénonien hétérogène est essentiellement conducteur avec des passées résistantes de sables. Les argiles et marnes du Sénonien dessinent une forme en bateau caractéristique permettant d'identifier le Sénonien conducteur dont l'épaisseur est plus importante qu'au Nord (200-300 m). Dans la partie Est (zone de Boudnib), le Sénonien, essentiellement conducteur (argiles rouges et marnes), peut comprendre des passées résistantes (500 Ohm.m) attribuées aux grès et à une croûte calcaire ; la présence de sable au sein des marnes les rend relativement résistantes (100 à 150 Ohm.m).

Le forage n°IRE 147/49 (à l'Est de Boudnib) traverse une série épaisse d'âge Sénonien. L'enregistrement des résistivités montre des valeurs ne dépassant pas les 40 Ohm.m et traduisant soit des couches argileuses, soit des alternances argilo-sableuses. Le forage n°IRE 1544/48 est aussi réalisé dans la partie Est du bassin et met en évidence une épaisse série sénonienne (600 m) constituée par une alternance d'argiles rouges et marnes vertes.

La profondeur maximale du Sénonien à l'Est et au centre du bassin est atteinte à hauteur de la route Boudnib-Bouânane (900m). Au NE, la profondeur maximale atteinte est de 1000m au pied du pli de Chebket El Hamra.

L'épaisseur du Sénonien est variable. Elle augmente de l'ouest vers le centre. En effet, les épaisseurs minimales, de 20 m environ, se situent au Nord et au Nord-Ouest alors que les épaisseurs maximales sont rencontrées dans la dépression d'Errachidia.

Dans la zone Est du bassin, la nappe est artésienne dans le secteur compris entre Ksar Sehli et Bouânane. La partie supérieure du Sénonien est un aquifère relativement perméable et en contact direct avec les aquifères Plioquaternaires.

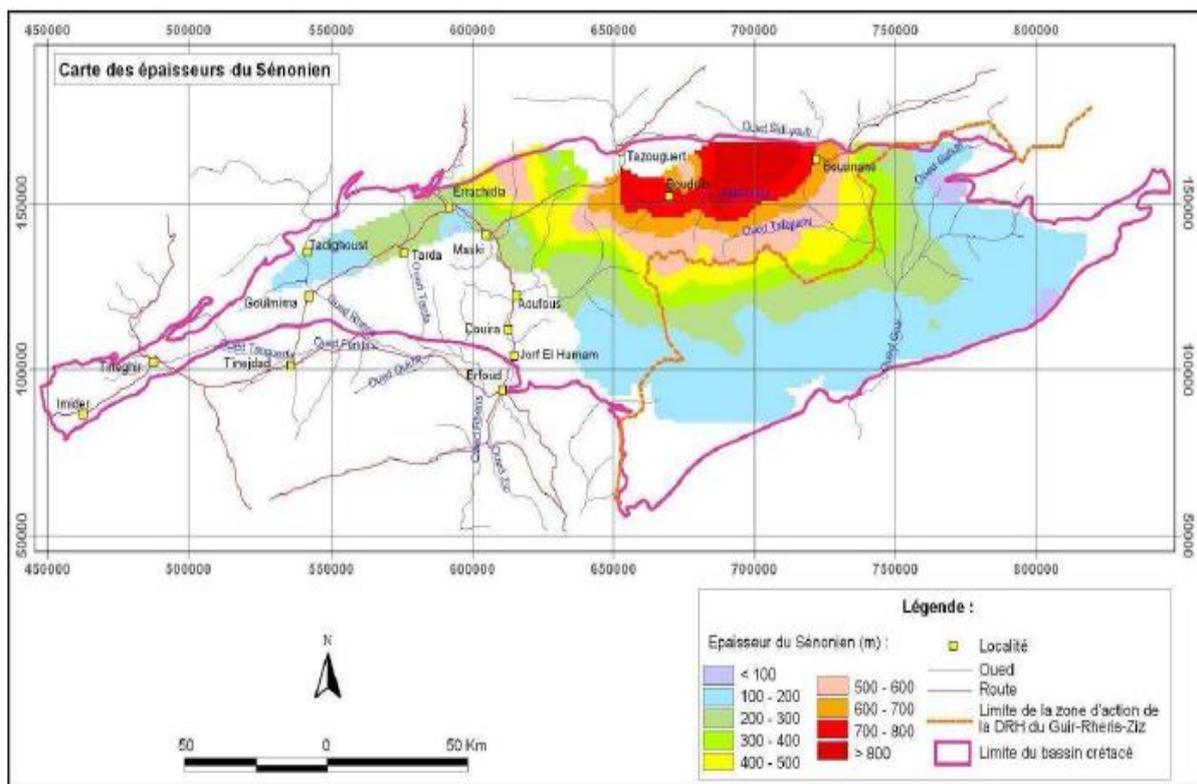
En conclusion le sénonien présente de grandes variations de résistivité tant latérales que verticales. En effet, les faciès gréseux (résistants) sont développés au Nord du bassin d'Errachidia alors que les faciès argileux et/ou sableux prédominent dans la zone Sud du bassin.

Les coupes géologiques interprétatives permettent d'arriver à des conclusions similaires confirmant que le Sénonien est formé par une alternance de sables, de grès, d'argiles et de marnes. Son niveau gréseux, qui se développe en s'enfonçant vers l'Est du bassin, constitue un aquifère peu profond en relation avec la nappe alluviale.

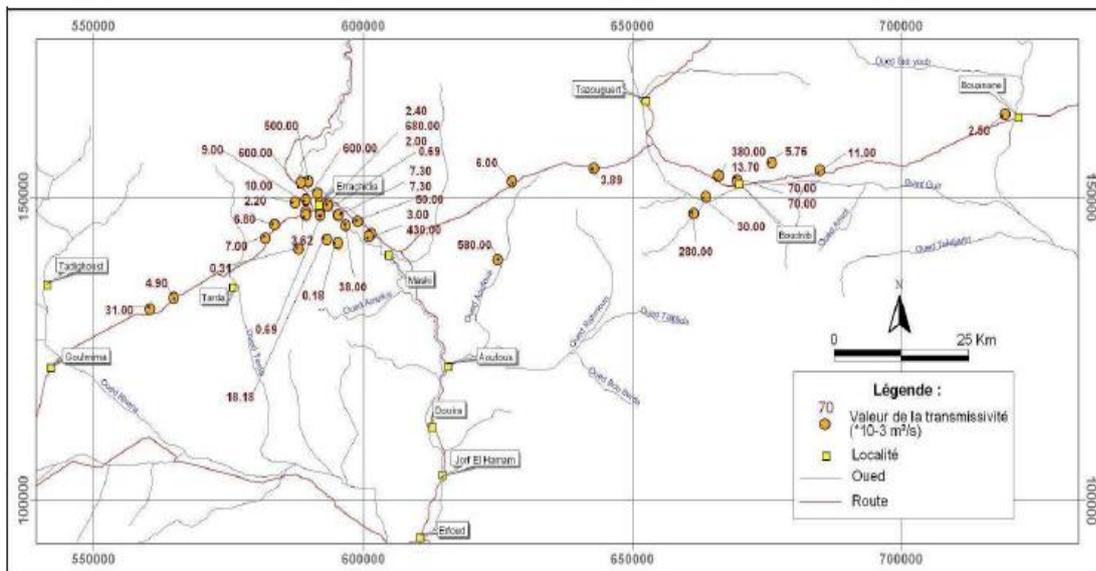
Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère sénonien

Les valeurs des transmissivités de l'aquifère Sénonien varient de $2.2 \cdot 10^{-5}$ à $6.8 \cdot 10^{-2}$ m²/s avec une moyenne de $1.5 \cdot 10^{-2}$ m²/s. Les débits des forages captant l'aquifère Sénonien sont variables avec une moyenne de 15 l/s. Les débits importants sont situés au niveau des zones des vallées des oueds et dans le bassin de Boudnib. Les zones connues par les débits les plus faibles sont localisées à l'Ouest du bassin, entre Tarda et Goulmima et à l'Est d'Errachidia entre Meski et Aoufous. Cette répartition des débits ne concorde pas parfaitement avec la répartition des transmissivités. On note par exemple que les débits importants correspondent à des zones transmissives (bassin de Boudnib) tandis que les faibles débits situés entre Meski et Aoufous ne traduisent par contre pas une faible transmissivité.

Les débits spécifiques renseignant sur les productivités unitaires des ouvrages montrent que les régions les plus productives sont localisées dans la région d'Errachidia en relation avec les terrains les plus transmissifs.



Carte 2 : épaisseurs du Sénonien (Etude DRH-GRZ/2006)



Carte 3 : transmissivités du Sénonien (Etude DRH-GRZ/2006)

Écoulement et Piézométrie de l'aquifère sénonien

En général, la nappe se situe à des profondeurs de l'ordre de 20 à 40 m, excepté dans des secteurs situés à l'extrême Ouest du bassin, aux alentours de Tarda et au Nord du bassin (limite avec le Haut-Atlas), où les profondeurs peuvent atteindre 40 à 60 m.

Quoique que le sens d'écoulement général soit du Nord vers le Sud, ce qui laisse supposer la contribution des aquifères liasiques le long des bordures atlasiques, avec un débit estimé à 240 l/s (Amharref, 1991). Comme pour l'aquifère turonien, deux axes d'écoulement préférentiel sont mis en évidence essentiellement du NE vers le SW et du NW vers le SE. Les deux axes convergent vers les exutoires connus du Turonien à savoir les sources de Meski, Trada, Aoufous et Tifounassine. Cette similitude hydrodynamique entre le Turonien et le Sénonien témoigne d'un échange entre les deux réservoirs.

L'aquifère Sénonien est en charge sur une large partie de son étendue. L'aire d'artésianisme probable se situe à l'Est du bassin entre Boudnib et Bouânane. Elle s'étend sur environ 560 km² et se caractérise par des pressions de 0.05 bars en moyenne. Les forages d'eau ayant montré le phénomène d'artésianisme sont illustrés dans le tableau qui suit. Leurs débits varient de 8 l/s à 26.5 l/s.

Le suivi est assuré par un réseau de piézomètres situés principalement dans le secteur d'Errachidia – Meski, Tarda et Boudnib mais ce réseau reste largement insuffisant vu l'étendue de l'aquifère. En plus, les observations affichent des valeurs avec beaucoup de lacunes à partir de 1998.

Sept piézomètres ont été enquêtés depuis 1992 et montrent une stabilité relative du niveau piézométrique de l'aquifère du Sénonien. En effet, les évolutions des niveaux piézométriques, depuis 1992 jusqu'à 2006, sont les suivants :

- ✓ Hausse de 0,5 m au niveau du piézomètre n°IRE 1511/48 (situé entre Errachidia et Meski),
- ✓ Baisse de 0,9 m au niveau du piézomètre n°IRE 957/47(nord de Tarda),
- ✓ Baisse de 0,3 m au niveau du piézomètre n°IRE 958/48 (nord de Tarda),
- ✓ Baisse de 1,8 m au niveau du piézomètre n°IRE 1239/48 (ouest de Boudnib),

- ✓ Hausse de 3,5 m au niveau du piézomètre n°IRE 1697/48 (à proximité d'Errachidia),
- ✓ Baisse de 0,3 m au niveau du piézomètre n°IRE 1935/48 (à proximité de Meski),
- ✓ Baisse de 3 m au niveau du piézomètre n°IRE 1985/48 (entre Errachidia et Meski).

Enfin, on évalue la baisse moyenne à 0,33 m sur l'ensemble du bassin, ce qui signifie un déstockage moyen annuel de 0,3 Mm³/an, ce qui est très faible à l'égard des ressources de l'aquifère sénonien. Ceci confirme les prédispositions entrevues lors du précédent plan directeur, qui précisait que les niveaux piézométriques de l'aquifère sénonien étaient stables, particulièrement depuis le début des années 1990.

Le suivi piézométrique depuis 1992 étant trop peu étendu spatialement, il ne fut pas possible d'établir une carte des isovariations plausible et représentative, en ce qui concerne l'aquifère sénonien.

Qualité et utilisation des eaux de l'aquifère Sénonien

Le faciès chimique des eaux de l'aquifère Sénonien est variable selon les secteurs. Il est chloruré-magnésien dans la région de Boudnib et chloruré-sodique dans les régions de Bouânane et d'Errachidia.

Les eaux du Sénonien sont assez minéralisées. La conductivité électrique est généralement comprise entre 632 et 8600 µS/cm avec une moyenne de 2080 µS/cm. La salinité varie de 0.4 à 12.5 g/l. la salinité élevée est probablement due à un lessivage local des bancs de gypse.

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

✓ La Nappe des Calcaires Turoniens

Lithologie, extension et structure du réservoir turonien

Les calcaires du Turonien renferment une nappe continue, encadrée par le substratum imperméable des marnes cénomaniennes et le toit sous forme de grès et marnes du Sénonien. La circulation de l'eau dans l'aquifère se fait à travers des fissures et fractures, qui lui confèrent un caractère karstique.

La synthèse géophysique des bassins de Fès-Meknès et Errachidia-Boudnib a permis de préciser les caractéristiques des formations turoniennes : il s'agit d'un aquifère continu, présent sur l'ensemble du bassin et représenté par des calcaires massifs et marno-gréseux.

L'aquifère est libre dans les zones où il affleure et sa profondeur est variable selon les secteurs. Il atteint 595m au Sud du bassin (forage BDB1) et 1083m au Nord Ouest (forage 843/47). Les plus faibles profondeurs se situent au voisinage des sources :

- 6m à proximité de la source Tifounassine (IRE 873/47)
- 18m à près de la source de Tarda (IRE 830/47)
- 7m au voisinage de la source de Meski (IRE 122/47)

La nappe du Turonien présente une plus petite étendue que celle de l'Infracénomien. Si la limite nord de la nappe semble être la même pour le Turonien et l'Infracénomien (frontière avec les formations jurassiques), la nappe du Turonien possède une plus petite étendue au sud. Cette limite se situe légèrement à l'Est d'Aoufous.

L'épaisseur de l'aquifère du Turonien est importante au centre du bassin, soit 114 m au niveau du forage 1225/48. Vers la bordure sud du bassin, l'épaisseur des calcaires turoniens varie de 40 à 70 m. Entre Meski et Tarda, l'épaisseur est relativement constante, soit près de 70 m.

Une prospection électrique du bassin d'Errachidia-Boudnib (1991) a permis de préciser la géométrie de l'aquifère dans la partie orientale du bassin crétacé. Ainsi, au niveau des profils BB9 (situé à l'extrême Est du bassin crétacé) et BB14 (situé au Sud-ouest de Boudnib), le Turonien est très profond (620 m). Ceci témoigne du fait que le Turonien est constamment profond dans la partie Est du bassin crétacé d'Errachidia-Boudnib.

Par ailleurs, sa puissance semble relativement constante (50-60 m) dans toute cette partie orientale, sauf peut-être au nord de Boudnib où l'épaisseur augmente au centre et au nord du bassin (86 m au niveau du forage n°IRE 1544/48) pour atteindre 100-150 m au nord de Boudnib et d'Errachidia.

Concernant les potentialités aquifères, une prospection électrique dans la région de Tarda-Errachidia a permis de montrer que le Turonien pouvait présenter localement des valeurs de résistivité assez faibles (une centaine d'Ohm.m), notamment dans la moitié sud de certains profils (à l'exception des zones d'affleurement), ce qui témoigne de propriétés aquifères limités.

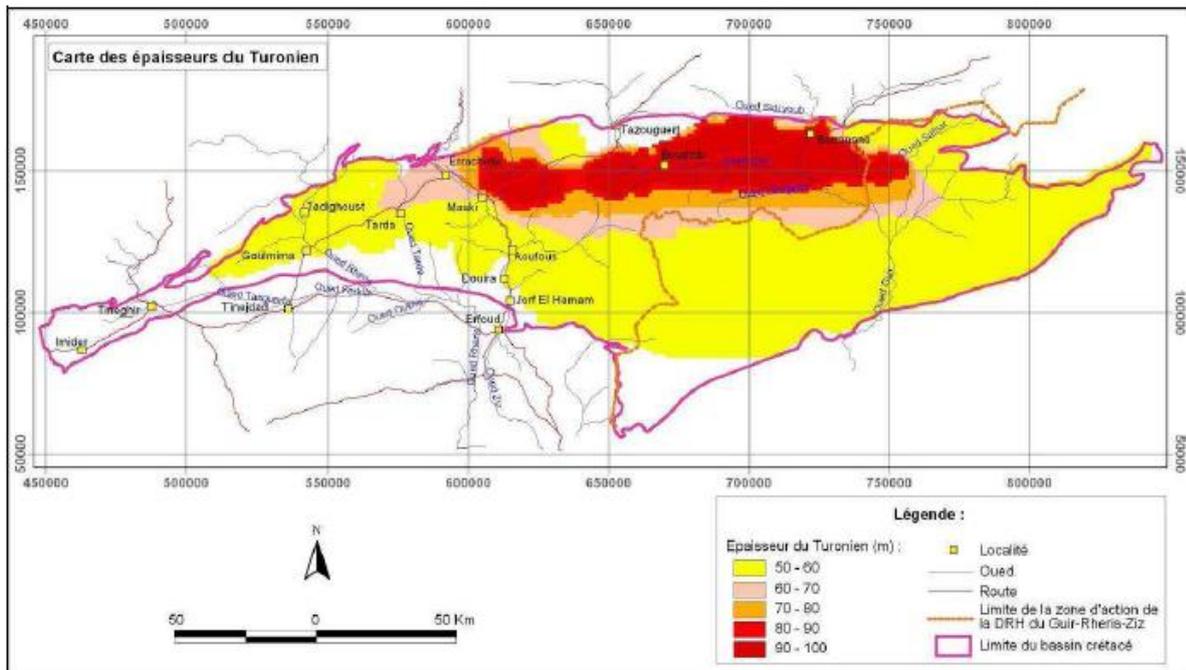
Dans la partie nord de la zone d'étude, le Turonien est épais et, à quelques exceptions près et résistant identifiant une zone prometteuse du point de vue nature et capacité de stockage à condition que les facteurs d'accès et de qualité soient favorables.

En conclusion, le Turonien est sub-affleurant au Sud et au Nord, et parfois masqué par les dépôts alluviaux après érosion du Sénonien.

Lorsqu'il n'est pas érodé, son épaisseur varie (comprise entre 25 et 110 m). Sa résistivité diminue lorsqu'il s'enfonce sous le Sénonien puis augmente dans la partie Nord où il est plus épais et très résistant. Cette variation de résistivité peut être expliquée par une variation de faciès (passages de calcaires francs à des calcaires marneux). Elle traduirait peu une variation de la qualité de l'eau. En effet, cette qualité est bonne entre Goulmima et Errachidia et moins bonne au centre et à l'Est du bassin.

En complément, la prospection par réflexion sismique a permis de mettre en évidence le fait que le toit du Turonien présentait une bonne continuité régionale.

Enfin, des coupes géologiques interprétatives ont permis de montrer que les calcaires du Turonien, lités à la base et massifs au sommet, sont fracturés et constituent un aquifère qui se développe vers le Nord du bassin. Ces calcaires s'enfoncent depuis les affleurements du sud en direction du nord où ils se mettent en contact avec les calcaires jurassiques du Haut-Atlas.



Carte 4 : les épaisseurs du Turonien (Etude DRH-GRZ/2006)

Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère turonien

Les valeurs des transmissivités disponibles de l'aquifère Turonien sont relativement importantes et varient de $2.1 \cdot 10^{-5}$ à $5.6 \cdot 10^{-1}$ m²/s avec une moyenne de $4.3 \cdot 10^{-2}$ m²/s. Ce qui prouve sa bonne productivité dans le bassin.

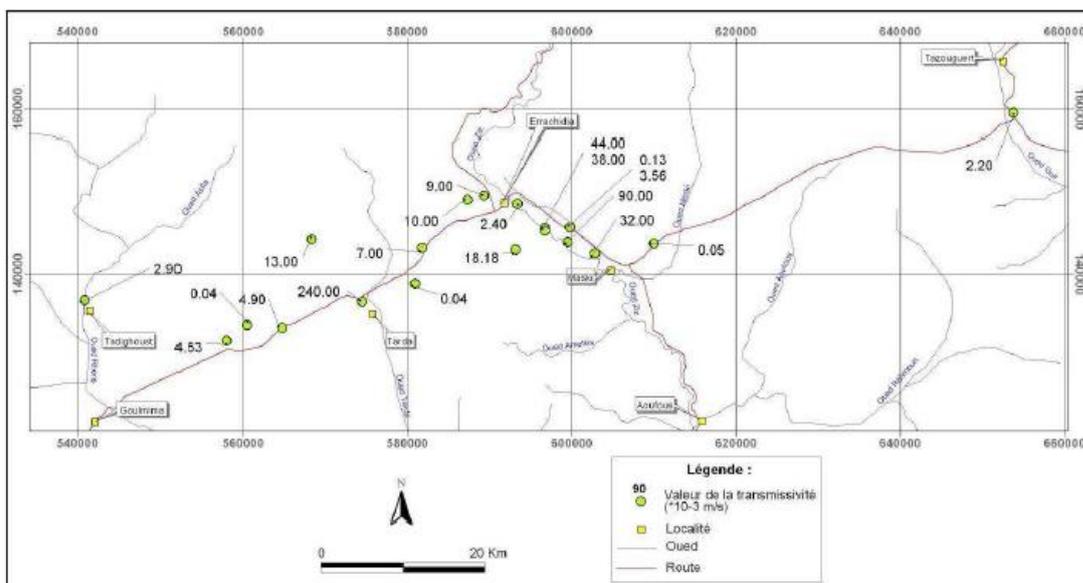
La répartition spatiale des transmissivités montre que les zones sises au NW d'Errachidia sont les plus transmissives en relation avec la puissance et la nature du réservoir aquifère (calcaires fissurés).

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.

Les débits des sources attribuées au Turonien sont importants totalisant une décharge d'environ 430 l/s (Sources de Meski, Tifounassine, Tarda et Zaouyet 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.



Carte 5 : les transmissivités du Turonien (Etude DRH-GRZ/2006)

Écoulement et Piézométrie de l'aquifère turonien

Les profondeurs du niveau statique de l'aquifère varient de 0m (sources) à 90m de profondeur. Dans les zones où l'aquifère est en charge (entre Goulmima et Errachidia), les niveaux d'eau sont de l'ordre de 30m de profondeur. La couverture du réseau piézométrique est très insuffisante vu l'étendue de l'aquifère. Le suivi est assuré par un réseau de piézomètres situés principalement dans le secteur d'Errachidia – Meski mais les observations affichent des valeurs n'excédant pas l'année 1990 avec beaucoup de lacunes.

Six piézomètres (situés majoritairement dans la partie ouest du bassin crétacé), exploités régulièrement depuis 1992, ont permis de mettre en évidence une baisse relative du niveau piézométrique entre 1992 et 2006 :

- 2,6 m au niveau du piézomètre n°IRE 963/47 (entre Tarda et Goulmima),
- 7,9 m au niveau du piézomètre n°IRE 1197/48 (vers Meski),
- 7,8 m au niveau du piézomètre n°IRE 1218/48(entre Errachidia et Meski),
- 10,37 m au niveau du piézomètre n°IRE 1334/48 (au nord-ouest d'Errachidia),
- 2 m au niveau du piézomètre n°IRE 1936/48 (vers Meski),
- 1,3 m au niveau du piézomètre n°IRE 1939/48 (vers Meski).

L'ensemble de ces mesures permet d'avoir une idée du déstockage engendré par cette baisse de niveau piézométrique. Selon l'étude de synthèse hydrogéologique du bassin crétacé (DRHGRZ/2006), la baisse des niveaux peut atteindre 1m dans le secteur de Tarda et 3m à Meski, correspondant à une baisse moyenne de 0.2m/an. La dite baisse traduit la conséquence de période de sécheresse des années 80 et qui s'est accentuée par les pompages croissant particulièrement dans la région de Meski

Quoique que le sens d'écoulement général soit du Nord vers le Sud, deux axes d'écoulement préférentiel sont mis en évidence essentiellement du NE vers le SW et du NW vers le SE.

Les deux axes convergent vers les exutoires connus du Turonien à savoir les sources de Meski, Trada, Aoufous et Tifounassine.

Qualité et utilisation des eaux de l'aquifère Turonien

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'Infra-cénomanién, celles de l'aquifère turonien ne dépassent pas 2.5g/l.

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 (étude de synthèse hydrogéologique du bassin crétacé – DRHGRZ/2006); ce débit est capté pour l'irrigation.

✓ Nappe de l'Infracénomanién (Ain El Ati) :

Lithologie, extension et structure du réservoir infra-cénomanién

Localement artésienne, elle est drainée par un complexe de Khetaras au sud de la zone de Goulmima Tinjad. Cette nappe est peu exploitée en raison de sa salinité dans la zone avale et de sa profondeur.

L'aquifère infra-cénomanién s'étend depuis le Haut-Atlas au Nord jusqu'à l'Anti-Atlas au Sud et entre Tinghir à l'Ouest et Bouânane à l'Est. Les affleurements sont situés au Nord, à l'Ouest et au Sud du bassin. L'aquifère repose sur le Jurassique du Haut-Atlas au Nord et sur le Paléozoïque de l'Anti-Atlas au Sud. Il présente, en général, une structure synclinale dissymétrique, en concordance avec celle de tout le bassin. Il est formé essentiellement de sables et grès, séparés des réservoirs sous-jacents (Sénonien et Turonien) par une couche continue de marnes cénomanién. La prospection électrique de 1989, au niveau de la région Erfoud-Tinghir, a permis de montrer que l'Infracénomanién, repose sur les schistes et marnes noires paléozoïques assez conductrices (50-100 Ohm.m) dans la moitié sud de la zone étudiée. Il recouvre, en remontant vers le nord et au pied du plateau de Goulmima, un substratum résistant (plusieurs centaines d'Ohm.m) constitué de calcaires, de grès et de schistes allant du Cambrien jusqu'au Lias. La prospection électrique de 1991 (nord-est d'Erfoud) a permis de montrer que dans la zone étudiée, l'Infracénomanién est peu développé. Toutefois, à l'Ouest, la puissance de l'Infracénomanién (reposant sur des schistes viséens) dépasse couramment 50 m (et sa résistivité dépasse 200 Ohm.m). A l'Est, le substratum devient très résistant (résistivité supérieure à 2000 Ohm.m) et généralement peu profond (remontée vers la surface de niveaux anciens très résistants). L'Infracénomanién est par ailleurs peu développé, sauf en bordure Nord, au pied de la falaise turonienne. Les sondages montrent alors la présence d'un résistant profond (50 à 90 m) étant attribué à l'Infracénomanién.

Du point de vue hydrogéologique, le domaine le plus prometteur semble limité à la partie Ouest de l'aire prospectée. En effet, les niveaux résistants de l'Infracénomanién (sable gréseux) sont bien développés et le niveau statique est généralement situé suffisamment près de la surface pour saturer une grande partie de ces faciès réservoirs. A l'opposé, la partie orientale de l'étude paraît défavorable car la couverture mésozoïque y est peu épaisse.

La prospection électrique de 1991, effectuée dans la région nord de Tarda-Errachidia a permis de mieux connaître ce secteur. En outre, si les épaisseurs des horizons infra-cénomaniens semblent constantes et équivalentes aux valeurs relevées au niveau du forage KES1 (puissance : environ 700 m), une augmentation de résistivité (400-800 Ohm.m) à l'extrémité nord de la zone a été observée.

La partie sud semble hydrogéologiquement moins favorable (secteur à proximité du forage MESKII) et la comparaison entre sondages montre la présence d'un niveau conducteur (marnes) à la base de l'Infracénomaniens, avec des résistivités localement élevées qui suggèrent l'occurrence de niveaux évaporitiques (anhydrite).

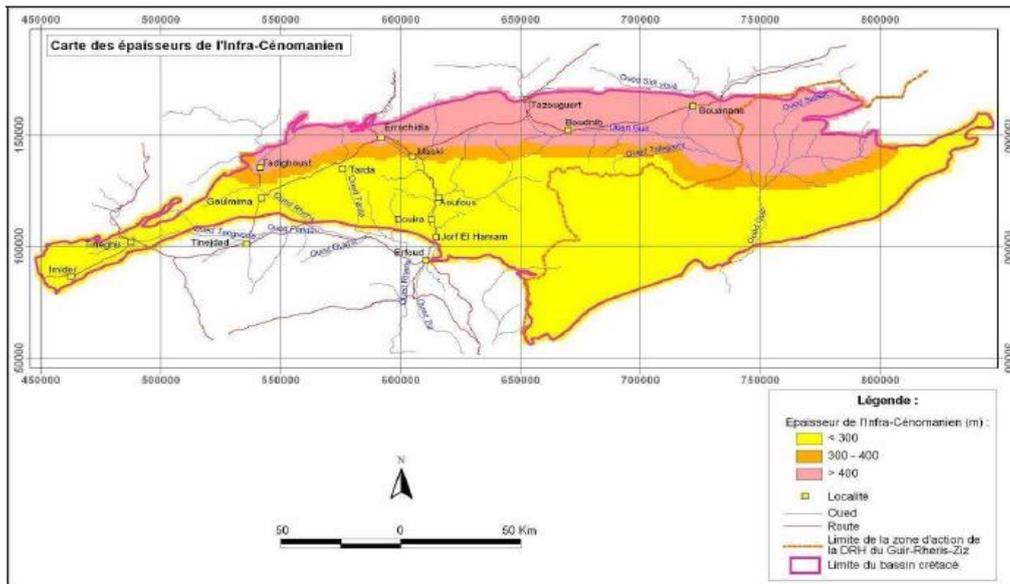
La prospection électrique, effectuée entre Errachidia et Boudnib en 1991, a mis en évidence le fait que cette zone est hydrogéologiquement moins favorable que celle située à l'ouest d'Errachidia car les terrains profonds comme l'Infracénomaniens, présentent le risque d'être, en partie ou en totalité, de nature évaporitiques (anhydrite, gypse).

Enfin, à l'Est du bassin crétacé, le diagramme des sondages électriques permet d'illustrer le fait que, sous la cuvette conductrice (argiles du Sénonien) se trouve un substratum résistant constitué entre autres de formations infra-cénomaniennes d'une grande épaisseur et situé à une profondeur de 620 m.

La synthèse géologique et géophysique du bassin de Boudnib 2007 a permis de compléter les connaissances de l'aquifère infra-cénomaniens à l'Est du bassin crétacé. Au niveau du forage BDB1, on remarque 370 m de formations infra-cénomaniennes avec des conglomérats à la base, des passées de dolomie rose, d'argiles feuilletées et de sables brun-roses.

Le forage TG2, au sud immédiat de Tazouguert (où l'Infracénomaniens affleure), montre, de haut en bas : des passées de calcaires dolomitiques gréseux à la base, des grès fins, des argiles et quelques nodules de grès fins à ciment calcaire. La puissance de l'aquifère est de 230 m à cet endroit. Le faciès de l'Infracénomaniens est donc plus gréseux à l'Est et les potentialités aquifères semblent réelles. Toutefois, le risque de dissolution du gypse demeure un problème majeur.

En conclusion, l'Infracénomaniens, essentiellement argilo-sableux, 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 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.



Carte 6 : les épaisseurs de l'Infracénomanien (Etude DRH-GRZ/2006)

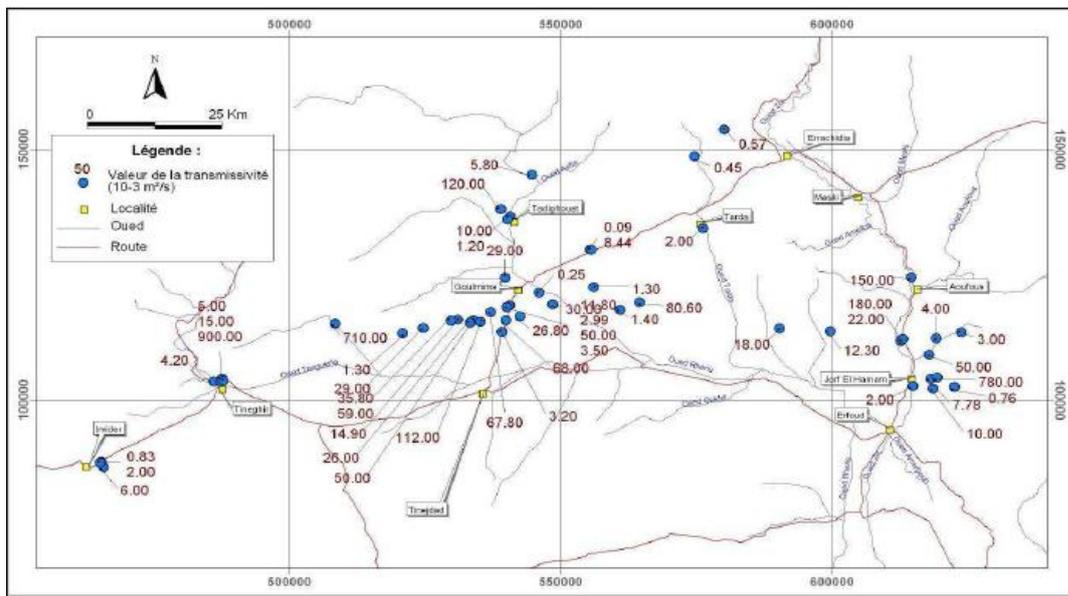
Les valeurs des transmissivités de l'aquifère Infracénomanien varient de $2.2 \cdot 10^{-5}$ à $6.8 \cdot 10^{-3}$ m²/s avec une moyenne de $1.7 \cdot 10^{-3}$ m²/s. Les débits des forages captant l'aquifère Infracénomanien varient de 0.5 à 69 l/s avec une moyenne de 14 l/s. Les débits importants sont situés au niveau des zones relevant des communes de Goulmima, Tadighoust, Tinghir, Rteb et Aarab Sebbah Ziz. Cette répartition spatiale des débits importants concorde avec celle des transmissivités élevées localisées dans les mêmes zones.

Les débits spécifiques renseignant sur les productivités unitaires des ouvrages montrent que les régions sus-indiquées (Goulmima, Tadighoust, Tinghir) sont les plus productives.

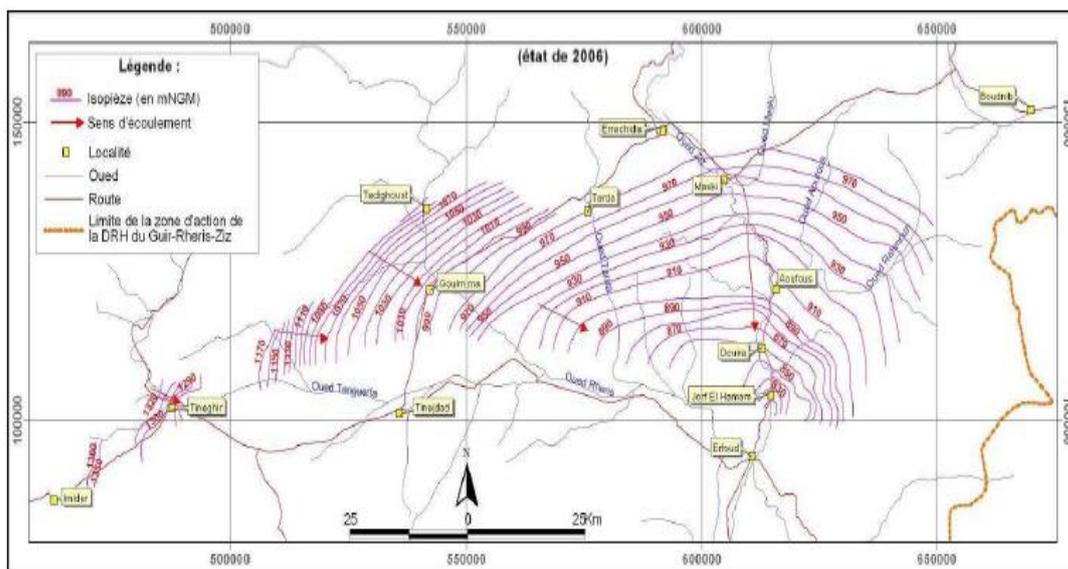
Écoulement et piézométrie de l'aquifère Infracénomanien

Une carte piézométrique a été établie sur la base des mesures réalisées dans la carte de l'étude de synthèse hydrogéologique du bassin crétacé (DRHGRZ/2006). La dite carte montre deux axes d'écoulement majeurs : Dans la région de Goulmima, l'écoulement est du NW vers le SE avec un gradient hydraulique moyen de 3‰. Ceci matérialise une alimentation au Nord à partir du Haut-Atlas et une déviation vers le SE conditionnée par les affleurements carbonifères au Sud qui s'opposent aux écoulements souterrains pour les contraindre à s'acheminer vers le SE (contraste de perméabilités).

Dans la région artésienne d'Aïn El Atti, l'écoulement est du Nord vers le Sud apparié à un gradient hydraulique de l'ordre de 5‰ et témoignant d'un contact avec des formations plus perméables que celles affleurant à l'Ouest du bassin.



Carte 7 : les transmissivités de l'Infracénomanien (Etude DRH-GRZ/2006)



Carte 8 : carte piézométrique de l'aquifère Infracénomanien (Etude DRH-GRZ/2006)

Quatre piézomètres (situés majoritairement à l'ouest du bassin créacé), exploités régulièrement depuis 1994, ont permis de montrer une stabilité relative du niveau piézométrique de l'aquifère infra-cénomanien depuis 1994.

En effet, les baisses de niveau piézométrique, lorsqu'elles sont effectives, demeurent faibles en comparaison des potentialités de l'aquifère. Ainsi, on enregistre simplement, entre 1996 et 2006, une baisse de 0,5 m au niveau du forage n°IRE 956/47 (situé légèrement à l'ouest d'Errachidia), une baisse de 1m au niveau du piézomètre n°IRE 970/47 (au sud-ouest de Tarda, entre Tarda et Goulmima) et une baisse de 2 m au niveau du piézomètre n°IRE 961/47 (situé tout près de Tarda).

En amont d'Errachidia, au niveau du piézomètre n°IRE 1698/48, la baisse de niveau d'eau est plus importante (7 m) mais ne semble pas constituer une conséquence de la surexploitation, puisque l'aquifère est très profond et difficilement atteignable dans cette zone. Cette variation

pourrait être attribuée aux fluctuations de l'alimentation de l'aquifère infra-cénomaniens par les formations jurassiques du Haut-Atlas. Cette alimentation dépend directement des précipitations sur les formations haut-atlasiennes (certes importantes mais également très variables).

Les fluctuations du niveau piézométrique sont donc variables mais demeurent relativement faibles.

Qualité et utilisation des eaux de l'aquifère Infracénomaniens

Le faciès chimique des eaux de l'aquifère Infracénomaniens est chloruré magnésien à l'Ouest (région de Goulmima). Plus au Nord, les eaux sont chlorurées calciques (Tadighoust). A l'Est (Ain 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 khattaras principalement à des fins d'irrigations. L'usage de l'AEP représente à peu près 25% des prélèvements.

3.3.2.3 Les nappes de l'Anti atlas :

Les eaux souterraines de l'Anti – Atlas correspondent au bassin du Maider. Les aquifères Paléozoïques n'offrent pas de grandes potentialités, vu leur faible porosité et leur minéralisation. Les aquifères potentiels, quoique les réserves s'avèrent peu importantes, sont d'âge Ordovicien essentiellement gréseux et Dévonien en majorité calcaire

✓ Aquifères de l'Ordovicien

Les formations ordoviciennes dont l'affleurement couvre 21% de la surface du bassin du Maider (environ 2800 km²) sont représentées essentiellement par des grès et parfois de schistes peu perméables.

Les réserves en eau sont peu importantes et limitées à une faible épaisseur ou à des zones fracturées très discontinues avec des coefficients d'emménagement très faibles et des perméabilités de l'ordre de 10⁻⁴ à 10⁻⁶ m/s. Les débits des ouvrages captant ces aquifères sont généralement inférieurs à 1 l/s.

D'autre part, le faible écoulement souterrain et la difficulté du renouvellement de ces eaux contribuent à de fortes teneurs en sel.

Un autre problème est lié à la méconnaissance des structures géologiques profondes (continuité ou compartimentage) et qui pourraient statuer sur les vraies potentialités du bassin du Maider en eau souterraine.

Vu la rareté de l'eau dans l'Anti Atlas où les apports sont soumis aux fortes fluctuations saisonnières, ces réservoirs peuvent constituer une possibilité d'approvisionnement en eau dans ces régions qui souffrent régulièrement d'un stress hydrique.

Tableau 1 : caractéristiques des nappes du bassin Ziz-Rhéis

Nappe	Profondeur m	Productivité l/s	salinité	Utilisation
Nappes Phréatiques	5 à 25	20	1 à 3 (12 à Tafilalet)	Puits et Forages
Haut Atlas	5 à 40	Sup. à 2	Inf. à 2	Sources
Crétacé d'Errachidia • Nappe du Sénonien	Artésienne entre Bouânane et Boudnib	20	1 à 5	Puits et forages 12 Mm3/an
• Nappe des Turoniens	5 à 40	Sup. à 20	1 à 2.5	14 Mm3/an
• L'Infracénom anien (Ain El Ati)	5 à 90 (localement artésienne)	Jusqu'à 50	0.7 à 2 (> 14 au sud de Reteb)	Khettaras 3 Mm3
Nappes de l'Anti-Atlas	5 à 15	Jusqu'à 30	0.5 à 2.5 (> 3.5 à Marjane)	Khettaras, puits et forages

Tableau 2 : caractéristiques des nappes phréatiques du bassin Ziz-Rhéis

Vallée	Ziz		Ziz-Rhéis
Nappe	Sous écoulement du Ziz au Reteb	Tizimi	Tafilalet
Etendue (en km)	25	100	400
Largeur (en km)	0,2 à 2	5 à 8	12 à 15
Altitude (en m)	850 à 950	800 à 850	700 à 800
Profondeur de la surface piézométrique (en période d'été)	1 à 18 (5)	5 à 13 (10)	2 à 18 (10)
Gradient hydraulique moyen (P.	4 à 5	4	2

1000)			
Débit d'écoulement moyen (en l/s)	100 à 200	100 à 150	100 à 200
Volume moyen annuel des apports par infiltrations d'eau de crue (en millions de m³)	5 à 10	10	50
Puissance aquifère (en m)	5 à 15	5 à 15	1 à 20
Amplitude saisonnière des fluctuations (en m)	-	1 à 9 (0,2 à 1 hors palmeraie)	1 à 9 (0,2 à 1 hors palmeraie)
Ordre de grandeur de la réserve (millions de m³)	10 à 15	20 à 50	200
Volume moyen annuel des émergences naturelles et des prélèvements actuels (en millions de m³)	10 à 15	1	8
Mode d'exploitation	Résurgences puits	Pompage	khettara, puits et pompage
Concentration des eaux en sel (résidu sec en g/l)	2 à 10	1 à 50	3 à 70

3.4 Exploitation des eaux souterraines :

3.4.1 Les 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 interannuelles. De fortes baisses des réserves renouvelables ont été enregistrées à cause des périodes de sécheresse successives et prolongées.

3.4.2 Les khetaras

La khetara est un ouvrage hydraulique complexe qui réalise à la fois le captage et l'adduction d'eau de la nappe souterraine au moyen d'un système de galeries drainantes, dont la pente est plus faible que celle de la nappe et que celle du terrain naturel qu'elle dérive jusqu'au terrain à irriguer ; elle assure ainsi un arrosage par gravité. Elle est ponctuée de puits d'aération, tous les 10 à 20 mètres, seuls visibles de l'extérieur et qui sont indispensables au creusage et à l'entretien de l'ouvrage. Cette technique de captage impose un potentiel et fournit un débit variable, ce qui revient à créer une source artificielle, à l'inverse du puisage qui impose un flux et fait varier le niveau en conséquence (Margat, 2001). Elle a l'avantage aussi d'utiliser des pentes faibles contrairement aux circulations de surface. C'est là un intérêt majeur en plus des avantages économiques : économie d'énergie, meilleure adaptation aux aquifères discontinus, aucun risque de surexploitation (autorégulation) et une permanence de l'eau pour les besoins agricoles et domestiques. Néanmoins, ce mode de captage est aussi assujéti à des contraintes fortes : situation topographique, sensibilité au régime naturel de l'aquifère en fonction des aléas d'apport (à l'instar des sources naturelles), durée de mise en équilibre dynamique souvent longue et mal comprise, ce qui conduit à des extensions réitérées réduisant la productivité des ouvrages, difficulté de modulation du débit, impossibilité d'agir sur la réserve de l'aquifère.

Les khetaras du Tafilalet comme celles de Marrakech et du Sahara algérien, représentent les systèmes les plus développés en dehors de l'air Persan. L'ingéniosité du procédé réside dans sa conception et son adaptation aux conditions de la vie et du climat saharien : il supprimait les corvées d'eau épuisantes qui prenaient l'essentiel du temps des habitants et assurait un approvisionnement à débit constant, sans risque de tarir la nappe et en limitant l'évaporation au minimum. Cependant, l'inconvénient de la technique, c'est que ce sont des veines toujours ouvertes qui drainent en permanence la nappe et l'épuise, qu'on ait besoin de l'eau ou non (comme la nuit ou en hiver). On ne peut pas obturer la khetara, d'où la nécessité de prévoir des systèmes de culture qui rentabilisent l'eau toute l'année.

Mais, tous les sites dans le Tafilalet ne se prêtent pas au creusement et à l'installation de khetaras . Leur concentration est surtout notée sur la rive droite de l'oued Rhéris et au NE du Tafilalet où elles ont atteint un développement considérable (plus de 300 khetaras au début de XX e. siècle pour environ 450 km de galeries).

Aujourd'hui, le nombre réel des khetaras en service, le rôle exact qu'ils jouent dans l'irrigation ainsi que leur répartition géographique précise à l'intérieur de la plaine sont mal connus. D'anciennes palmeraies à khetaras ne survivent aujourd'hui que grâce à une irrigation par puits.

Selon le dernier recensement de l'agence du bassin hydraulique de Ziz-Rhéris-Guir, Le nombre total des Khetaras dans le bassin Ziz-Rhéris est de 570 dont seulement 300 sont actuellement en exploitation. La superficie dominée par les khetaras est d'environ 16.000 ha avec une longueur totale du réseau de 2900 Km. Le débit moyen exploité est de

l'ordre de 700 l/s sur l'ensemble des khattaras.

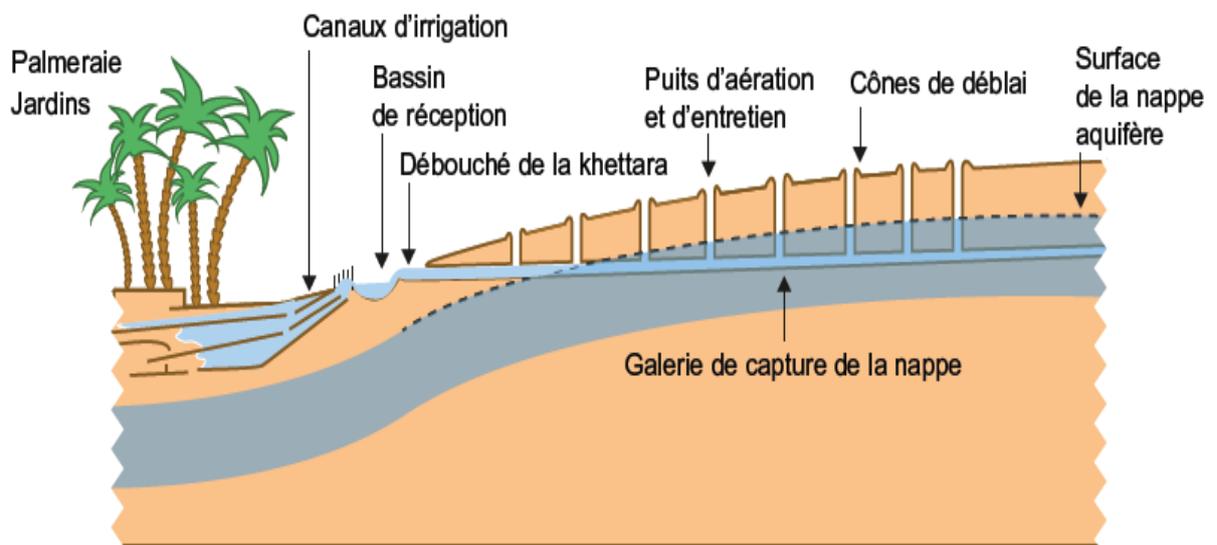


Figure 2 : Schéma du fonctionnement d'une khattara

CHAPITRE II : Gestion des ressources en eau et de l'irrigation dans le bassin de Tafilalet

1. Introduction

Depuis son indépendance, le Maroc poursuit une politique d'irrigation ambitieuse, de développement de périmètres irrigués. Cependant, les sécheresses consécutives de ces dernières décennies, alliées à une demande de plus en plus grande en eau potable dans les centres urbains et une surexploitation des ressources hydriques par les agriculteurs, ont incité les responsables à chercher une meilleure efficacité dans l'irrigation.

La question de la ressource en eau devient un enjeu socio-économique essentiel à mesure que les années de sécheresse se succèdent. Les années 70 et 80 au Maroc ont été marquées par une politique largement axée sur la construction de grands barrages, essentiels à la mobilisation des ressources en eau. Les années 90 ont vu la prise de conscience de l'importance du mode de gestion de l'eau, parallèlement à une recrudescence de sécheresses qui ont lourdement pesé sur l'économie et le développement du pays. C'est en 1995 par la Loi 10/95 sur l'Eau que le Maroc a décidé d'une réforme en profondeur des méthodes de gestion de la ressource en eau. Le Tafilalet, qui comprend une des plus grandes palmeraies du Maroc, est l'une des régions de la zone aride du pays où le problème de l'eau, souci séculaire, se pose avec le plus d'ampleur.

Afin de tendre à une Gestion Intégrée des Ressources en Eau dans le Tafilalet à l'échelle des bassins versants, il est d'une importance primordiale de pouvoir disposer, à tous les niveaux géographiques, d'informations fiables, complètes et représentatives à la fois sur :

- L'état des ressources en eau de surface et souterraines, tant en quantité qu'en qualité, et des évolutions saisonnières et interannuelles,
- Les usages de l'eau (prélèvements), et notamment, l'irrigation et l'adduction d'eau potable pour les habitants,
- Les risques d'occurrence de phénomènes extrêmes, tels que les inondations ou les sécheresses.

Ceci permettra de concevoir les programmes d'intervention, d'en suivre la mise en œuvre et d'en évaluer les effets. Cependant, cette connaissance des ressources et des usages reste insuffisante :

- Selon les régions, les données n'existent encore que de façon incomplète ou fragmentaire ;
- Les informations sont dispersées et hétérogènes ;
- Les informations ne sont pas assez pertinentes ;
- Il existe encore trop peu de "systèmes d'information intégrés" à fins multiples.

2. Gestion des ressources en eau par bassin dans le Ziz-Rhéris du Tafilalet :

2.1 Bassin du Ziz

2.1.1 Le haut Ziz

L'exutoire du haut bassin du Ziz se trouve contrôlé par la station Sise   Foum Zaabel. Le volume des apports moyens annuels des cours d'eau au niveau de ce site est de 104 Mm³ pouvant varier de 6 Mm³ (1983-84)   321 Mm³ (1995-96).

Les périmètres du haut bassin sont irrigués par des aménagements de PMH pour une superficie de 4970 ha et un volume mobilisé de 35 Mm³.

En dehors des sécheresses prolongées, les besoins de cette zone sont satisfaits par les eaux superficielles.

2.1.2 Le bas et moyen Ziz

Le bassin versant du Ziz est l'un des premiers bassins du Sud-est du Maroc qui a bénéficié d'un aménagement en grande hydraulique. Le Barrage Hassan Addakhil qui constitue la pièce maître de cet aménagement, est situé au piémont sud du haut atlas et au nord de la ville d'Errachidia à l'endroit dit Foum-Ghiour.

Le bilan d'exploitation et d'affectation des eaux durant les trente quatre années de mise en service du barrage a fait ressortir les éléments suivants par campagne agricole :

- Evaporation + infiltration : 16 Mm³
- Restitution au profit du périmètre de recasement : 8 Mm³
- Restitution pour la vallée de Ziz : 28 Mm³
- L chers vers Tafilalet : 48 Mm³

Soit un volume total par campagne de 100 Mm³ représentant 62% du volume prévu par l'étude d'aménagement.

Concernant la régularisation permise par le barrage Hassan Addakhil, il apparaît à la confrontation de l'évolution des apports et celle des restitutions que cet ouvrage en raison des faibles apports n'a pas pu assurer la régularisation interannuelle.

La comparaison des résultats du bilan aux consignes de gestion arrêtées au titre du schéma directeur de mise en valeur de Tafilalet est donnée dans ce qui suit :

Tableau 3 : les périmètres de GH du bassin Ziz-Rhéris

Secteurs hydrauliques	Restitutions réelles Mm3	Dotation en eau prévue Mm3	Taux de réalisation %
Périmètre de :			
recasement	8,34	10	83
Ziz Rive droite	3,62	5	72
Ziz Rive gauche	24,65	35	71
Tafilalet	47,62	90	53

Il apparaît dans ce qui précède que la plaine du Tafilalet ne reçoit que presque la moitié de ces prévisions. Cependant, elle peut aussi exploiter 15 à 20 Mm3 de crues du bassin intermédiaire de Ziz et de 10 à 15 Mm3 de dérivation des crues de Rhéris; soit 50 Mm3 régularisés et programmables et 30 Mm3 de crues aléatoires, ce qui ne correspond qu'à un taux moyen de satisfaction des besoins de 60 %.

Ce bassin dont le taux de mobilisation de l'eau atteint les 98 % enregistre donc un déficit en eau qu'il y a lieu de résorber par des actions soit de gestion et ou d'aménagement.

L'analyse des données des nappes montre qu'elles offrent des possibilités énormes notamment pour le Turonien au niveau de la Vallée du Ziz dont la principale source d'alimentation est la zone de montagne et la nappe quaternaire pour la plaine du Tafilalet. Des actions d'aménagement sont donc nécessaires pour favoriser cette alimentation à l'amont du barrage .En matière de gestion on suggère d'éviter l'exploitation de la nappe quaternaire le long de la Vallée pour améliorer le niveau de celle-ci dans la plaine du Tafilalet.

2.2 Bassin du Rhéris

Le Rhéris prend naissance au haut sommet de la zone de Tamdghoust dans le haut Atlas. Il s'étend sur une superficie de 9200 Km2 et est traversé par les oueds Torgha et Oued Rhéris.

Le bilan de l'exploitation des ressources en eau dans ce bassin pour l'irrigation étant :

- ✚ Eaux de surface : 84 Mm3/an
- ✚ Eaux souterraines : 100 Mm3/an
- ✚ Ecoulement en aval : 37 Mm3/an

La confrontation des disponibilités en eau et des consommations actuelles de la zone montre un dégagement d'un volume à l'aval de 37 Mm3. En réalité ce volume n'est pas excédentaire puisque les différentes palmeraies du bassin intermédiaire laissent apparaître un déficit chronique en eau.

Des interventions sont donc nécessaires en matière de gestion et aussi d'aménagement pour remédier à ce déficit. La première mesure qui semble prioritaire est de laminier les crues pour

ralentir leur vitesse et alimenter la nappe. Cette action pourra être entreprise moyennant la construction de barrage écrêteurs de crues notamment en amont de Tinjdad et Mellaab.

3. Gestion basée sur la nature des ressources et l'aspect juridique :

Compte tenu de la nature de la ressource et de l'aspect juridique de l'utilisation de l'eau, on distingue en général:

3.1 Eaux pérennes

- Font généralement l'objet de droits d'appropriation pendant une fraction de temps donnée
- La répartition entre les propriétaires est assurée par un cheikh élu par la Jmaa.
 - Si l'eau est abondante, l'irrigation se fait de l'amont vers l'aval
 - durant les années sèches, un tour d'eau est instauré selon les droits d'eau existants.

3.2 Eaux de crues :

- Droit collectif appartenant à toute une collectivité d'un secteur donné.
- Priorité de l'amont sur l'aval
- répartition des eaux entre les différents barrages suit une entente ancienne entre les bénéficiaires.
- Dimensionnement des barrages de dérivation de manière à ne dériver que la fraction d'eau correspondante à chaque droit.
- Il est interdit de :
 - ✓ De construire un nouveau barrage.
 - ✓ De surélever un barrage existant.
 - ✓ Ou d'élargir une prise de séguia.

Exemple : les droits d'eau de crue dans le Tafilalet

- Tizimi Maadid : droit de l'amont sur l'aval
- Ouled Zohra : droit de l'amont sur l'aval
- Siffa : 1/10
- Ghorfa : 2/10
- Béni M'ammed : 1/10
- Oued Ifli : 2/10
- Sfalat : 4/10

3.3 Les eaux régularisées :

Elles sont destinées à l'irrigation de trois zones :

- ✓ La vallée du Ziz d'une superficie de 4500 ha
- ✓ Le périmètre de recasement d'une superficie de 1000 ha.

Ces périmètres sont irrigués de l'amont vers l'aval.

- ✓ La plaine du Tafilalet d'une superficie de 22400 ha bénéficie de 3 à 4 lâchers d'eau du barrage Douira par campagne agricole

La distribution des eaux entre les secteurs se fait au prorata de la superficie dominée. Cependant, la répartition à l'intérieur d'un secteur donné obéit aux droits d'eau coutumiers des usagers.

3.4 Les eaux des khattaras:

Chaque khattara est administrée par un Cheikh élu par la Jmaa formée par les propriétaires. Le Cheikh assure la distribution de l'eau, veille sur l'entretien de l'ouvrage et règle les litiges entre les usagers.

- Soit au prorata du travail fourni lors de sa construction ;
- Soit en fonction de la superficie à irriguer.

Le tour d'eau d'une khattara est composé de plusieurs « Ferdias». (Une Ferdia = tranche de 12 heures d'irrigation).

Selon le consentement général des agriculteurs:

- Une khattara isolée peut être prolongée sans limite.
- Dans un réseau de khattara, le prolongement ou le creusement d'une nouvelle khattara sont strictement interdits sans l'accord unanime des propriétaires.
- Les puits ne peuvent pas être développés au voisinage d'une khattara.
- Chaque khattara est protégée par un droit d'emprise.

3.5 Les eaux de pompage :

Le mode de distribution des eaux prélevées par pompage dépend d'une station à l'autre :

- Pour les stations de pompage dont le débit est important, la répartition de l'eau se fait à la demande.
- Pour les stations dont le débit ne peut satisfaire les besoins de tout le périmètre et après un consensus général, un tour d'eau peut être instauré pour irriguer une culture donnée.

4. Gestion des nappes dans le Tafilalet :

4.1 Réserves renouvelables et bilans des nappes

4.1.1 Contexte hydrogéologique

Le contexte hydrogéologique de la zone d'étude, tel que présenté dans les chapitres précédents met en évidence l'existence d'unités hydrogéologiques importantes à savoir :

1. Les aquifères Jurassiques du Haut Atlas
2. Le bassin Crétacé d'Errachidia-Boudnib
3. Les aquifères primaires de l'Anti Atlas

A ces unités se superpose un ensemble de nappes phréatiques Plioquaternaires dépendant essentiellement des dépôts alluvionnaires au niveau des vallées des oueds principaux.

Ce contexte met donc en évidence des unités transfrontalière dont le Haut Atlas et le bassin Crétacé sont en relation hydraulique certaine. Quoique les limites géologiques soient bien précises, cet échange est mis en évidence par les différentes données hydrogéologiques notamment les cartes piézométriques mais reste toutefois difficile à quantifier assez précisément en absence de modèle mathématique.

D'autres phénomènes tout aussi importants sont ceux des échanges verticaux au sein de la même unité hydrogéologique telle que le cas évident du bassin Crétacé. En effet des drainances verticales existent entre les aquifères multicouches juxtaposés (Turonien et Sénonien). Ces échanges sont régis par les conditions de charges de chaque aquifère.

D'autres relations directes ou indirectes existent entre les nappes quaternaires et leur substratum perméable. La recharge des aquifères Plioquaternaires est assurée parfois indirectement par l'infiltration des eaux de sources d'émergence attribuées au Jurassique ou au Crétacé. Le substratum perméable peut alimenter directement ou être alimenté aussi par échange verticale avec les formations Plioquaternaires selon les conditions de charges et d'affleurement.

Ces phénomènes d'échange existants ne peuvent donc être quantifiés de manière assez précise qu'avec des études isotopiques à l'échelle de toute résurgence ou par un outil de modélisation mathématique.

Enfin, il reste à signaler que les bilans établis représentent les apports et les sorties en année hydrologique moyenne (calée selon les données de plusieurs années). La portée des bilans doit être constamment considérée à cette échelle. Les chiffres présentés doivent être pris avec réserve en année humide ou sèche ; d'autant plus que les sécheresses sont récurrentes et longues dans la région.

4.1.2 Principe d'établissement des termes du bilan

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 (Etude DRHGRZ/ 2007).

L'application des coefficients d'infiltrations a été effectuée tenant compte de :

- Les natures lithologiques et structurales des affleurements (calcaires, grès, présence de fracturations etc...);
- Les pentes d'écoulement en surface ;
- Les intensités d'évaporation des eaux de surface ;
- 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 aux 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.

La recharge par les apports de crues

Les apports à partir des eaux de crues sont calculés en appliquant des coefficients d'infiltrations comme suit :

Dans le Haut Atlas, les coefficients sont moins importants que ceux relatifs aux précipitations du fait que les vitesses des eaux de crues sont plus élevées.

Dans les plaines, les coefficients sont ceux adoptés pour les précipitations

Les volumes infiltrés par l'infiltration des eaux de crues ont été calculés 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.

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 en tenant compte de

- La nature lithologique des affleurements (limons, calcaires lacustres, etc)
- Le mode d'irrigation
- Les intensités d'évaporation des eaux de surface
- Les assolements pratiqués

Dans l'étude du PDAIRE des bassins Sud Atlasiques 1996, ce type de recharge a été chiffré à la base des aménagements hydro-agricoles (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

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 été mis en évidence par les synthèses géologiques, géophysiques et aussi par des études isotopiques.

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

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

Le phénomène de drainance verticale

Ce phénomène, comme déjà signalé précédemment est ascendant ou descendant selon les conditions hydrogéologiques. Son estimation reste seulement indicative en absence de données et de modèles mathématiques.

Ce paramètre n'influe pas les réserves renouvelables du fait que les échanges s'effectuent entre aquifères du même bassin.

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)

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

4.2 Bilan par unité hydrogéologique :

- **Le Haut Atlas**

Le bilan du Haut Atlas est présenté ci-après :

Tableau 4 : Bilan global de l'unité du Haut Atlas

Composante du bilan		Lias	Dogger	Total
Recharge (Mm3/an)	Infiltration directe des pluies	73.34	70.40	143.73
	Réinfiltration des eaux d'irrigation	26.98	20.32	47.30
	Total recharge (Mm3/an)	100.32	90.72	191.03
Décharge				
Décharge (Mm3/an)	Sources	120.70	30.31	151.01
	Prélèvements	1.01	1.98	2.99
	Khéttaras	3.38	1.41	4.79
	Flux sortants vers Bassin Crétacé	32.24		32.24
	Total Décharge (Mm3/an)	191.03		191.03

La recharge directe par les précipitations représente 75% des entrées du Haut Atlas alors que la réinfiltration des eaux mobilisées pour l'irrigation représente 25%

Les sorties sont dominées d'abord par les émergences de sources puis par le flux sortant vers le bassin Crétacé et qui représentent respectivement 79% et 17%. Le reste de décharge est véhiculé par les khetaras (2.5%) et les pompages (1.5%).

Les précipitations sont faibles dans le bassin du Guir. Ce sont les sources du haut Atlas du Guir qui assurent le débit d'étiage des cours d'eau en aval.

- **Le bassin Crétacé d'Errachidia – Boudnib**

Pour le bassin Crétacé d'Errachidia – Boudnib et comme signalé plus haut, le complexe Sénonien – Turonien est considéré comme un seul complexe aquifère 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'Infracénomanien a été estimée moyennant les longueurs des fronts de nappes en utilisant la loi de Darcy.

Tableau 5 : Bilan global de l'unité du bassin crétacé Errachidia –Boudnib

Composante du bilan		Complexe sénonien -turonien	Infracénomannien	Total
Recharge (Mm3/an)	Infiltration directe des pluies	34.80	5.30	40.10
	Réinfiltration 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	3.5	1.00	4.5
	Abouchement du Haut Atlas	21.28	10.96	32.24
	Total recharge (Mm3/an)	99.48	38.16	137.64
Décharge (Mm3/an)	Sources	16.20	0.00	16.20
	Prélèvements	33.60	18.00	51.60
	Khéttaras	4.70	2.00	6.70
	Drainance	53.17	10.10	63.27
	Total Décharge (Mm3/an)	107.67	30.10	137.77

Le bilan actualisé montre que la recharge la plus importante est celle issue de l'infiltration directe des précipitations et les apports de crues soit 50% de la recharge totale. 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 par 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 khetaras 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.

- **Les nappes quaternaires**

Le bilan des nappes quaternaires est présenté par bassin versant comme suit :

Tableau 6 : Bilan global des nappes quaternaires par BV

Composante du bilan		BV Ziz	BV Rhéris	Total
Recharge (Mm3/an)	Infiltration directe des pluies	6.52	6.08	12.6
	Infiltration des eaux de crues (et lâchés du barrage HD concernant les nappes de Rteb et Tafilalt du Ziz)	27.50	9.65	37.15
	Réinfiltration des eaux d'irrigation	2.84	5.16	8
	Drainance ascendante		7.88	7.88

	Abouchement	6.00	20.77	26.77
	Total recharge (Mm3/an)	42.86	49.53	92.39
Décharge (Mm3/an)	Sources	4.08	4.77	8.85
	Prélèvements	28.20	51.94	80.14
	Khéttaras	7.28	6.48	13.76
	Drainance descendante	2.50	0.50	3
	Evaporation	14.10		14.10
	Total Décharge (Mm3/an)	56.16	63.68	119.84
	Bilan global	-13.29	-14.15	-27.44

Les différents facteurs de bilans ont été calculés selon les hypothèses indiquées précédemment.

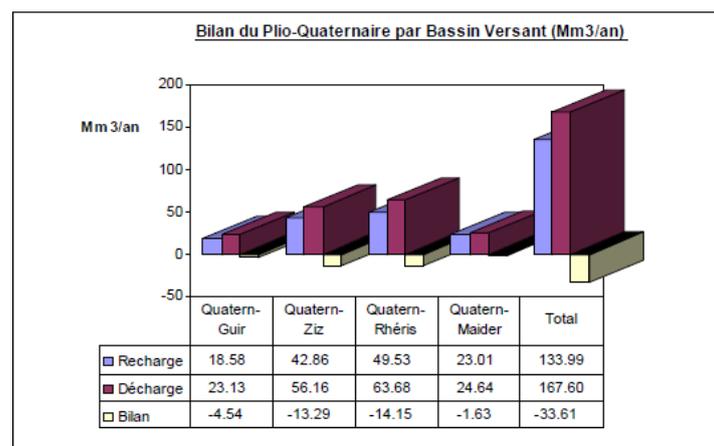
D'une manière générale, les apports de crues représentent le facteur principal de recharge (40.2 %).

L'infiltration directe des précipitations représente 13.63% des entrées du Plio-Quaternaires de la zone d'étude.

Les phénomènes de drainance ascendante à partir du bassin Crétacé et les abouchements à partir du Lias représentent 28% des apports. La réinfiltration des eaux d'irrigation ne représente que 9 %

Les termes de décharge mettent en évidence l'abondance des prélèvements qui constituent 67% des sorties. La mobilisation par les khetaras représente 11% et l'évaporation bien connue dans le bas Ziz et le Bas Rhéris constitue 12% de la décharge. Les sources ne représentent que 7 % des sorties du Plio-Quaternaires.

Les prélèvements les plus importants sont localisés dans le bassin de Rhéris dont le bilan global s'avère très déficitaire. Ceci est du à l'existence, dans le bassin, de la majorité des nappes Quaternaires exploités intensivement au niveau des oasis.



Source : ABH du GRZ

Figure 3 : bilan des nappes Plio-Quaternaires par bassin versant

5. Organisation traditionnelle de l'irrigation

La maîtrise de l'eau et sa mobilisation ont incité la mise en œuvre d'un ensemble de techniques mais dont il a fallu également socialiser l'usage par le jeu de lois et de règlements. La littérature historique et anthropologique livre des descriptions sur l'organisation sociale des communautés oasiennes et son lien avec les modalités d'accès à l'eau, les techniques et les règles de son utilisation.

Cependant, on retrouve à ce niveau encore le paradigme de la rareté et de la menace de la pénurie qui articule cette relation.

5.1 Le partage de la ressource

Les modalités mises en place pour l'utilisation de l'eau reflètent le souci de la communauté d'en réguler la distribution. Le processus de distribution, dont l'usage est collectif, consiste à livrer une part d'eau à un individu qui en devient aussi propriétaire, indépendamment de l'importance de sa propriété foncière. Les droits d'eau ou les parts d'eau sont proportionnelles, du moins à l'origine, à la contribution de chaque propriétaire (Qsar, lignage, famille...) dans les travaux de construction de la séguia ou de la khattara.

Les parts d'eau des différents détenteurs se situent dans un tour d'eau selon lequel s'opère la distribution. Le mode connu de partage de l'eau est le temps ; ainsi la durée du tour varie selon les séguias et les khattaras : 8, 10...15 jours et plus, elle est divisée en « nouba » ou journée d'eau correspondant soit à 24 heures (1 jour et 1 nuit), soit à 12 jours aux équinoxes (1 jour ou 1 nuit). Chaque «nouba» est partagée entre un ou plus ou moins un grand nombre de propriétaires. La «nouba» est elle-même divisée en sous-multiples. Tout un répertoire est dressé des multiples et variables mesures vernaculaires.

La répartition de l'eau est assurée entre les propriétaires sous le contrôle du cheikh ou Amghar et de Mezreg qui jouent le rôle d'aiguadiers communautaires. Ils sont élu pour six mois par la «Jmaa», forme de propriétaires qui règlent la distribution de l'eau, veillent à l'entretien et arbitrent les contestations.

Cependant, une des complications dans le système de partage des eaux est fréquemment introduite par l'alternance diurne et nocturne des prises d'eau successives d'un même usager. L'écoulement d'une khattara se faisant de manière continue, il est en effet indispensable de procéder à des irrigations nocturnes. Celles-ci constituent pour le Filali une contrainte pénible ; elles présentent en revanche l'avantage d'une grande efficacité puisque les pertes d'eau par évaporation sont alors considérablement diminuées par rapport aux arrosages diurnes. La permutation des tours d'eau individuels entre le jour et la nuit permet de partager entre tous les usagers cette sujétion comme cet avantage. Elle exprime donc un réel esprit égalitaire au sein de la communauté oasienne et une organisation sociale particulière.

Les palmeraies apparaissent ainsi comme de véritables microsociétés hydrauliques. Leur principale caractéristique est l'émergence de toute une hiérarchie d'instance de contrôle qui, au Tafilalet, comme dans tout le Pré Sahara marocain et ailleurs (Sahara algérien, Iran...) est généralement de nature individuelle. Cette instance et le système juridique coutumier qu'elle instaure en vue de régulariser le système hydraulique, réplique la structure sociale de l'oasis ; il s'agit ainsi de l'autre grande dimension de la civilisation hydraulique oasisienne.

Une stratification sociale existe et est conditionnée par la part des eaux collectives qu'une personne utilise pour ses besoins individuels ; cette part situe sa richesse, son prestige et son influence dans la vie politique du qsar. L'eau devient ainsi un facteur qui façonne les modes de fonctionnement des systèmes politico-économiques des oasis.

Les droits d'eau revenant à chaque propriétaire ou à chaque fonds sont rarement consignés par écrit. La règle générale est que chaque usager connaisse les parts d'eau qui lui reviennent dans un tour d'eau (nouba). En pratique, les situations conflictuelles abondent et le recours à l'arbitrage devient nécessaire. A cette finalité, la jmaa (conseil du qsar) délègue un aiguadier qui doit, en principe, faire l'unanimité des usagers et avoir une bonne connaissance du réseau et des droits revenants à chaque branche, voire à chaque propriétaire. Cette tâche est exercée à tour de rôle par tous les usagers qui, de cette façon, participent directement à l'administration collective de la distribution.

5.2 L'entretien du réseau de distribution de l'eau

Par le biais de ses instances exécutives, la communauté Filalienne veillait au bon déroulement de la vie agricole dans tous ses moments privilégiés : labours, irrigation, récolte, entretien des ouvrages hydrauliques, etc. Elle ne se limitait pas seulement à énoncer ce que la population ne devait pas faire, pour ne pas porter préjudice à l'équilibre économique du qsar, mais l'organisait pour permettre une meilleure utilisation de la terre, de l'eau et des produits qui résultaient de leur mise en valeur. L'importance de l'aspect communautaire dans la vie sociale dans le Tafilalet témoignait de la puissance des besoins qui le sous-tendaient, et constituait une forme d'adaptation à des conditions précaires du milieu.

Le principe de prestation de travail revient à ce que chaque propriétaire doit fournir une quantité de travail proportionnelle aux droits d'eau qu'il détient. La charge de travail est évaluée en nombre d'ouvriers ou « *khaddam* » que doit fournir chaque membre selon l'importance des travaux à effectuer. Ce principe de contribution aux travaux est remplacé, en cas de travaux urgents (reconstruction ou réparation d'une prise d'eau après une crue par exemple) par une mobilisation générale de tous les membres males de la communauté pouvant manier une houe ; c'est ce qui est communément connu par « *Had-Essaïm* »

5.3 Réglementation de l'utilisation de l'eau

La gestion de la rareté de la ressource impose à la société oasienne de régler son utilisation entre les habitants et veiller au bon déroulement de la vie sociale. Ainsi, dans plusieurs droits coutumiers (*Azref*) des oasis du Tafilalet et du Présahara marocain, on y stipule des règles d'utilisation de l'eau. Ces *azref* sont transmis de génération en génération et constituent de ce fait un véritable dispositif réglementaire.

Concernant les oasis à khattaras, on peut reconnaître jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle la réglementation suivante (Ben Brahim. 2003) :

- Lorsqu'une khattara est isolée, elle peut être prolongée sans limitation. Les têtes des khattaras se trouvant souvent en dehors des limites de la fraction irriguée ; de très anciens accords existent entre les fractions. Les têtes des khattaras, par exemple, ne peuvent être trop rapprochées craignaient un tarissement de leurs puits. Une réglementation précise intervient dans le cas des réseaux de khattaras nombreuses, serrées et exploitant la même nappe.
- Le prolongement d'une khattara vers l'amont ou le creusement d'une nouvelle khattara sont interdits sans un accord unanime des propriétaires. Les khattaras ne peuvent non plus être développées au voisinage de puits d'irrigation. La distance minimale entre deux khattaras est également fixée par l'usage.
- Chaque khattara est protégée par le droit d'emprise, le *tarik* (sentier ou chemin) dont la largeur semble d'autant plus grande que la khattara est moins profonde. A l'origine, cette largeur est de l'ordre de quatre à cinq fois la profondeur de la khattara. Le respect de ces règles avait pour conséquence une très grande extension des zones d'emprise où l'irrigation est traditionnellement interdite.
- Fréquemment, «*un jour d'eau*», le vendredi, est réservé à la fraction : cette eau est vendue aux enchères, par l'intermédiaire du crieur public pour les besoins de la communauté (entretien de la mosquée en l'occurrence).

D'autres dispositifs réglementaires régissent l'utilisation de l'eau elle-même et sont différents d'un Qsar à l'autre voire d'une tribu à l'autre. Nous citerons à l'occasion quelques règles se rapportant aux Qsar au Nord de Tizimi, qui sont transcrits sous forme d'articles.

Ainsi, dans un article, il est précisé que « *Quiconque intercepte l'eau de la séguia destinée à une autre personne pour la faire passer dans sa propriété, s'il est vu par une autre personne, est pénalisé de 5 ouqias* ».

Dans un autre article il est dit que « *celui qui se sert de l'eau de la séguia alors que ce n'est le tour de personne d'arroser a le droit de le faire ; si quelqu'un d'autre vient ensuite accaparer cette eau à son profit, il aura à verser 5 ouqias et devra laisser l'eau au premier ayant droit* ».

Ailleurs, on peut lire aussi « *celui qui après avoir arrosé son jardin ou son champ, ne renvoi pas l'eau de la séguia à ceux qui y ont droit après lui, versera un metqal à condition que celui qui a droit à cette eau ait constaté l'accaparement et son préjudice* ».

Un autre article dit : « *celui qui intercepte l'eau de la séguia versera un metqal, nonobstant le payement, de la valeur de l'eau interceptée* ».

De même, « *celui qui arrose son champ et néglige ensuite de fermer la séguia et de renvoyer l'eau dans la séguia commune versera 10 mouzounas* »

L'élaboration de tout un dispositif réglementaire autour de l'eau reflète un souci de gestion équitable et parcimonieuse, autant que possible, entre les différents usagers et les membres de la communauté oasienne. Toutefois, la concurrence entre les usagers de l'eau a généré des conflits qui ont laissé des traces historiques (archives, monuments, aménagements...) et qui ont pris des formes particulières violentes puisqu'elles mettaient en jeu l'accès des populations à la ressource : eau. Ces conflits d'intérêt ont d'ailleurs toujours entraîné des formes complexes et diverses de partage de l'eau.

Au cours de l'histoire, la diversification des usages a accru les risques liés à l'eau. Ces risques prennent cependant toute leur ampleur à l'interface entre le rôle des oscillations climatiques (changement global) et le rôle des interventions humaines conscientes ou induites dans l'aggravation des risques.

Le double regard sur les ressources et le risque conduit logiquement à mettre l'accent sur leur gestion. Là aussi, l'étude des solutions expérimentées dans le passé permet d'éclairer certains choix en matière de gestion. Parmi les outils nécessaires et disponibles pour mettre en oeuvre, certains s'inspirent aussi des solutions anciennes, même si le rôle de l'accélération en cours de l'innovation technologique, doivent être interrogées. Ainsi, solutions anciennes et solutions actuelles doivent être confrontées chaque fois que possible afin de contribuer à la recherche d'une utilisation optimale de la ressource eau.

5.4 Les enjeux de la réforme hydro-agricole moderne

Il est communément admis que jusqu'au début du XX^{ème} siècle, l'entretien des techniques d'irrigation traditionnelle a contribué à la richesse ou du moins au maintien de l'équilibre des palmeraies. La société locale y utilisait l'espace au mieux de ses possibilités techniques et ne dépendait d'aucun pouvoir extérieur et centralisé. La population se souvient des richesses agricoles d'un passé encore proche, vécu ou raconté d'une génération à l'autre. Ce système, qui sert de terme de référence est organisé pour fournir le maximum de productions végétales dans les limites des techniques d'irrigation : le milieu est utilisé en fonction des ressources en eau et de leur répartition dans le temps et dans l'espace.

Avec la colonisation française, et à l'instar des autres régions du Maroc, les palmeraies du Tafilalet font face à une situation nouvelle dans laquelle leur infériorité économique s'est révélée au grand jour. Des réponses appropriées apparaissent et attestent d'une complexité importante.

La politique hydraulique qui a prévalu depuis l'indépendance a constitué le champ d'affrontement de deux logiques : l'Etat et le Filali, qui déploient des stratégies antagonistes autour de la ressource eau et la technique hydraulique associée. D'un côté l'Etat planificateur et aménageur tente d'accroître son emprise sur l'agrosystème oasien, au moyen d'aménagements qui remodelent fortement cet espace et bouleversent la vie des Filalis. D'ailleurs, le périmètre irrigué apparaît même comme la figure emblématique, idéale, de cette intervention étatique qui se propose d'amener chez les oasiens la rationalité dans le travail et la modernité dans les esprits. Cette stratégie est servie par l'action des ingénieurs et des techniciens des divers Offices et services agricoles mis en place, qui sont en fait les principaux médiateurs de cette transformation volontariste.

Aujourd'hui, le système traditionnel qui structure encore l'espace du Tafilalet et contrôle en partie son fonctionnement écologique est en cours de démantèlement. La maîtrise de l'eau échappe de plus en plus aux populations des palmeraies : le droit coutumier qui régissait la répartition des eaux de crues dans l'espace et dans le temps perd désormais de sa valeur devant le pouvoir de l'Etat, sans bénéfice pour la société locale. Aujourd'hui, la gestion de la ressource hydraulique relève de la compétence exclusive des pouvoirs publics. Les Ksours éclatent (atomisation), perdant leur autonomie ; de nouveaux processus de différenciation sociale apparaissent et la population subissant de plus en plus les effets de l'économie monétaire. La notion classique de terroir ne suffit plus de rendre compte de l'organisation de l'espace. La situation actuelle du Tafilalet présente un caractère de repli, d'inertie, de crise qui se manifeste de diverses façons.

La construction du barrage Hassan Ed-dakhil en 1965 et des stations de pompage a provoqué une réduction des recharges naturelles des nappes phréatiques. Les besoins en eau ayant augmenté ont conduit au tarissement des khetaras, au creusement de puits profonds et leur équipement en moto pompes. La substitution de la moto pompe familiale à la khetara lignagère n'est pas seulement une mutation technologique mais elle est aussi l'expression d'une mutation sociologique qui fait prévaloir l'individu sur les structures lignagères traditionnelles.

Le pompage tend aujourd'hui à devenir un moyen indispensable d'obtention des eaux, mais aussi tout autre procédé de ponction des eaux de sub-surface. Il est largement utilisé dans les palmeraies du Tafilalet et son nombre s'est considérablement accru. Aucun recensement récent des motopompes ne permet de dire combien sont utilisées aujourd'hui, mais l'augmentation du débit produit traduit leur rôle croissant. Dans plusieurs cas cependant, des pompes plus puissantes ont été installées qui sont actionnées par des moteurs diesels. Souvent, lorsque le niveau de l'eau le permet, la pompe est immergée et procure un meilleur rendement ; une superficie plus grande peut être ainsi irriguée. Récemment, avec l'électrification du monde rural, on assiste à une diffusion de l'installation de motopompes à énergie électrique. Or, malgré qu'il assure, plus ou moins la pérennité des cultures dans chaque oasis et contribue au maintien des groupes humains dans les centres où ils sont implantés, l'adoption inconsidérée du pompage est loin d'être sans danger.

Cependant, le pompage a toujours eu, dans les oasis où il existe, des répercussions importantes tant sur l'état des nappes que sur la situation économique et sociale, et par delà l'écosystème. Le déclenchement d'un pompage dans une nappe provoque un rabattement du

niveau de pression. L'arrêt du pompage permet d'ordinaire au niveau piézométrique de retrouver lentement sa situation initiale, mais on constate, après plusieurs années de pompage continu, qu'il ne reprend plus cette position. Il conserve, au contraire, une allure déprimée par rapport à l'époque antérieure au pompage. Ces baisses sont d'autant plus graves qu'elles n'affectent pas seulement les alentours immédiats d'un puits.

Par ailleurs, de tels changements dans le mode d'alimentation des oasis s'accompagnent bien souvent de bouleversements sociaux. Les propriétaires peu fortunés n'arrivant pas à s'équiper de motopompes, voient au contraire s'amenuiser progressivement leur débit d'irrigation. Dans le cas où le jardinier se permet d'user d'une noria ou d'aghrour, par exemple, il n'est pas du tout à l'abri de la pénurie, puisque son puits se trouvant placé dans la zone d'influence d'un puits nouvellement équipé d'une pompe, enregistrera une baisse brutale de débit puis un tarissement total. Les têtes de khetaras subissent d'ailleurs le même sort lorsque ces motopompes sont installées à leur amont. Les disparités sociales existantes ne font ainsi que s'accroître à mesure que le pompage devient le mode prépondérant d'alimentation en eau des oasis.

Ainsi comme le notait bien Mc. Neely (1974) *«les systèmes traditionnels qui étaient efficaces pendant des milliers d'années deviennent désuets en quelques décennies, remplacés par les systèmes de surexploitation qui apportent des profits à court terme pour quelques uns et des dépenses à long terme pour beaucoup»*.

5.5 Retour sur le patrimoine

Le monde oasien a toujours été un laboratoire de techniques d'irrigation, et les oasiens constituent une réalité sociale très diversifiée à l'image de l'écosystème sur lequel ils vivent ; mais la diversité de ces techniques et parfois leur extrême ingéniosité masque cependant une grande fragilité et leur précarité. Elles offraient toutefois l'avantage de limiter les prélèvements sur de faibles ressources hydrauliques.

Beaucoup de chercheurs, anthropologues, sociologues, historiens et géographes ont vu dans l'abandon des techniques d'irrigation traditionnelle une des causes des difficultés présentes ; de là à préconiser un retour sur ce patrimoine. Bien entendu, il ne s'agit pas que de choix techniques puisque cela interfère avec la structuration sociale : le choix technique est d'abord un produit social. *«L'hydraulique traditionnelle assure bien d'autres fonctions que la seule fourniture d'eau ; dans les zones arides, où l'eau est un bien rare et disputé, elle cristallise le fonctionnement complexe de la société»*, écrit P. Pascon (1984).

Cette solidarité du technique et du social est d'autant plus importante à souligner qu'elle permet de comprendre le sens des changements qui s'opèrent actuellement dans cet espace. Leur prise en compte est instructive dans tout projet d'aménagement et de conservation.

Les Filalis se trouvent aujourd'hui à la croisée des chemins dans la vie des oasis : doit-on retourner aux techniques de l'époque passée ou bien adapter la technologie existante aux impératifs du milieu oasien ? Les événements et les tendances du XX^e siècle ont précipité la destruction de l'équilibre écologique établi au cours des temps passés.

Mais, de tout les maux qui affectent le patrimoine hydraulique et architectural du domaine oasien, c'est l'abandon humain qui est le plus douloureux : la khattara n'était-elle pas une manifestation des rapports socio-économiques et culturels à jamais révolus ? A ce titre, l'histoire la condamnait à mourir de sa belle mort ? Or si les faits historiques sont irréversibles, ceux liés à la vie de l'homme, à s'avoir les conditions socio-économiques, sont récupérables et curables.

Des enquêtes, non exhaustives, du contexte socio-économique actuel dans le Tafilalet, ont permis de savoir les motivations des filalis comme leurs appréhensions. Tout d'abord, un sentiment exacerbé du risque et de l'aléa ; le paradigme de la rareté et de la menace de la pénurie est une donnée fort ancienne. Cela a induit chez le Filali un sens aigu de la prudence et des stratégies subtiles de lutte contre l'aléa climatique : absence de spécialisation culturelle, diversification des cultures, association de l'agriculture, de l'élevage et du commerce et habitude de stockage ; un équilibre fragile s'est instauré entre ressource et exploitation.

A l'enquête aussi, le filali s'est révélé fort expert en calcul économique et en évaluation de la pénibilité des tâches. Il choisit donc l'optimum et non le maximum. Au bout du compte, il fait preuve d'une réelle rationalité, mais d'une rationalité qui n'est pas celle du modèle dominant. Cela ne signifie pas qu'il soit toujours très performant sur le plan technique.

Par contre, les techniques hydrauliques modernes permettent d'accroître les prélèvements et de répondre aux besoins croissants d'économies plus diversifiées et de populations plus exigeantes. L'application de politiques ou de stratégies volontaristes d'aménagement et de conservation est désormais nécessaire, en vue de valoriser les acquis antérieurs et définir l'avenir.

Des issues sont toutefois possibles : du côté de l'Etat, par des souplesses dans l'organisation sociale et technique des maillages hydrauliques proposés ; du côté des filalis, par une promotion de structures intermédiaires entre l'oasien et l'Etat (les associations d'irrigants en sont une forme possible), qui fassent des premiers de réels acteurs du développement oasien.

Le savoir-faire traditionnel constitue au mieux un héritage, dont on pourra s'inspirer pour nuancer des solutions nouvelles. Mais ce savoir-faire ancestral ne suffit pas à conjurer l'effondrement global de son environnement. C'est là un défi de changement dans les façons d'intervenir, mais également défi d'apporter des aides efficaces en matière de stratégie d'action, d'organisation, de négociation et de gestion : l'état d'esprit est ainsi appelé à changer. Les modèles asiatiques montrent que l'urgence est de gérer l'ouverture, plutôt que de se replier sur l'endogène ; «Les civilisations qui n'empruntent pas meurent » avait bien écrit P. Gourou (1971). Ainsi l'urgence est moins de revenir à des solutions révolues que de trouver les moyens d'une appropriation croissante de techniques nouvelles. La capacité à trier et à filtrer les apports extérieurs va d'ailleurs souvent de pair avec une aptitude à intégrer aux solutions nouvelles des éléments locaux fort anciens. Mais, associer l'ancien et le nouveau, ne rien rejeter à priori ni de son patrimoine, ni des inventions nouvelles, voilà une tâche difficile dans le milieu oasien.

5.6 Préservation et conservation des techniques d'irrigation traditionnelle

Contrairement au procès négativisme sur le développement des techniques d'irrigation traditionnelle des oasis, l'étude des khattaras du Tafilalet (Ben Brahim. 2001 et 2003) a montré l'existence de certains traits organisationnels « positifs » dans cette technique, qui justifient amplement l'approche conservatoire. La vitalité et l'efficacité de ces constituants positifs est attestée par leur persistance durant des siècles et le fait qu'elles soient l'objet d'un attachement viscéral de la part des communautés concernées dans leur totalité. La réussite de la technique des khattaras continue aujourd'hui de faire l'admiration des observateurs «il ne pleut pour ainsi dire jamais au pays des khattaras !». Depuis plus de 6 siècles, à chaque heure, des khattara soutirent plusieurs m³ d'eau souterraine dont le remplacement pluviométrique est manifestement impossible. Elles offrent par ailleurs l'avantage de limiter les prélèvements sur de faibles ressources hydrauliques, en instaurant un équilibre «fragile» entre ressource et exploitation. Elles assurent aussi la continuité Oasienne et créent une ambiance bioclimatique (microclimat), favorable à une installation humaine durable et l'exercice d'autres activités non agricoles. Son rôle économique est vital dans les secteurs où elle est encore débitante et qu'aucune production agricole ne pouvait se réaliser sans cette technique.

Mais, le patrimoine hydraulique que constitue la khattaras n'a pas encore suscité tout l'intérêt nécessaire à sa préservation et sa sauvegarde, et de ce fait initier les actions de terrain à caractère planifié en vue d'une intégration effective des opérations dans le processus du développement régional. Le manque d'entretien des khattaras et leur abandon, en plus des causes de leur baisse de productivité, la condamnent à disparaître. Leur dégradation actuelle, qui semble combiner des conditions climatiques extrêmes et une mauvaise gestion de la ressource eau, est due à une méconnaissance de la vulnérabilité du milieu et à une absence de perception de l'intérêt de la protection et de la préservation de la géodiversité, enfin à la méconnaissance des méthodes de conservation ; on sait exploiter mais on ne sait pas protéger. A partir des années 1970, des programmes d'investissement en aménagement hydro-agricole ont commencé à voir le jour dans la région, en particulier ceux encadrés par l'Office Régionale de Mise en Valeur Agricole du Tafilalet (ORMVATF), et orientés vers le développement de la Petite et Moyenne Hydraulique (PMH). Parmi ces programmes, la réhabilitation des khattaras figurait parmi les priorités de l'Office, avec un objectif précis celui d'accroître le débit de ces dernière. Il faut dire que la régression des débits enregistrée déjà durant la période 1930-1936, durant laquelle le débit a atteint son débit le plus bas 180 l/s, a constitué le point de départ de cette prise de conscience. Les objectifs arrêtés par l'Office se sont orientés vers :

- L'amélioration des performances des systèmes traditionnels de mobilisation des eaux souterraines par l'imperméabilisation des parties adductrices ;
- Le développement des techniques d'épandage des eaux de crues pour améliorer les conditions de recharge des nappes et permettre la pérennité de fonctionnement des khattaras.

Les interventions ont concerné 52 khattaras et ont permis le revêtement de 82 km, le curage et le profilage de 41 km, soit une longueur totale de 123 km. Le débit des khattaras, après cette action a été porté de 450 l/s à 900 l/s soit un gain d'environ 14 Mm³ par rapport au volume mobilisé initialement (ORMVATF, 2000). Cette amélioration et les résultats atteints ont initié la programmation annuelle de nouvelles interventions sur les khattaras.

Au cours de la période 1973-1985, 72 khattaras, dans toute la province du Tafilalet, ont connu la réhabilitation, les 2/3 situées dans la plaine du Tafilalet, mais cette fois avec la participation des bénéficiaires.

Depuis, l'intervention de l'Office touche en moyenne 10 khattaras par an, intégrées à son programme courant de développement de la PMH. Enfin, à partir de 1995, il inaugure le Projet de Développement Rural du Tafilalet (PDRT) qui comporte entre autres une composante intitulée «sauvegarde des khattaras», dont le financement est assuré dans le cadre du prêt direct contracté avec le FIDA et la BID. Ce programme a concerné 40 khattaras, portant sur leur curage et leur revêtement sur 29 km, l'extension sur 3 km et la couverture de 18 km. En 2002, une subvention importante a été allouée à l'Etat marocain par le Japon dans le cadre de la conservation du patrimoine hydraulique des oasis du sud marocain.

Différentes techniques d'amélioration des performances des khattaras ont été expérimentées et développées par l'Office au cours de ses interventions. Elles avaient moins l'ambition de viser une quelconque rentabilité économique, mais plutôt de résoudre des problèmes majeurs immédiats (sécheresses successives des années 80 qui ont amené à une forte émigration des filalis) qui menaçaient la survie des oasiens bénéficiaires. Les actions agronomiques derrière la réhabilitation des khattara étaient destinées aussi à valoriser une eau de plus en plus chère, à augmenter le revenu des agriculteurs et à les intégrer dans les circuits d'une économie de marché.

Entre 1985 et 2000, le taux de réalisation en matière de recouvrement des parties adductrices des khattaras, maçonnerie des galeries et des canaux d'écoulement, n'a pas dépassé 30% des prévisions. Une des raisons de cette situation relève de la complexité des structures agraires ; la réforme de ces dernières étant complexe, difficile et risquée sur le plan socio-politique. Cependant, si ces résultats sont modestes au point de vue économique, elles ne sont pas négligeables sur le plan social et environnemental : le maintien de niches de vie et de fertilité dans un milieu précaire, la sauvegarde d'emplois même temporaires et la création de revenus supplémentaires, quoique modestes, demeurent des acquis non négligeables.

Cette expérience de l'ORMVATF est assez instructive du point de vue de l'approche conservatoire, puisqu'elle met en exergue le rôle de l'homme, (aménageur et paysan) dans la réussite ou l'échec du projet. Elle démontre plus ou moins leur imparfaite connaissance des valeurs intrinsèques des khattaras, c'est-à-dire des produits et services essentiels qu'elles fournissent au sein de l'agrosystème oasien considéré.

Cependant, pour que soient maintenus les produits et les services qu'offrent les khattaras, les gestionnaires de la ressource eau doivent partir du principe selon lequel ce système d'irrigation fait partie intégrante de l'agrosystème oasien. Autrement dit, ils doivent reconnaître qu'il s'agit d'une technique traditionnelle qui a montré au cours des siècles passés son adéquation et adaptation au contexte précaire de l'oasis, que c'est un produit social, culturel, environnemental et économique dont la survivance est à proscrire dans toute action

d'aménagement. Une telle approche comporte deux exigences fondamentales: gérer les khetaras comme une unité intégrée et assurer une planification et une gestion axées sur la participation. Cette dernière permet non seulement d'assurer la conservation et la gestion des khetaras, la lutte contre leur dégradation, mais aussi de tenir compte des préoccupations des populations locales et de leurs experts-conseils.

Vu la diversité des ressources en eaux dans la zone d'étude, et la complexité de la gestion de ses richesses, il est extrêmement important de faire appel aux systèmes d'informations géographiques(SIG) , tout d'abord pour avoir une idée claire sur toutes les ressources en eaux existantes dans chaque entité homogène du bassin Ziz-Rhéris , puis il faut lier ces ressources à une base de donnée appropriée qui rassemble le maximum d'informations.

Les systèmes d'information géographique permettent de relever le déficit de la connaissance de la ressource tant du point de vue quantitatif que qualitatif. Les organismes de gestion des bassins peuvent aussi disposer d'éléments pour définir des solutions techniques, planifier et programmer à moyen et long terme ,informer et sensibiliser.

Les SIG qui concernent autant les eaux superficielles que souterraines ,participent de cette façon à la protection et à la restauration de la ressource en eau , à la gestion de sa qualité en surveillant l'état de son exploitation ou on optimisant les reserves en eau pour mieux répondre au besoins des usagers .

CHAPITRE III : Les bases de Données et les SIG

1. Les bases de données

1.1 Définitions de quelques concepts de base

1.1.1 Les Bases de données

Selon Sekkat (1999), une Base de Données, en anglais Data Base, se définit de la manière suivante « Une Base de Données est un ensemble de données structurées et inter-reliées et qui sont fiables, correctes, cohérente et partageables par plusieurs utilisateurs ayant des besoins d'informations différents et cela sous le contrôle d'une autorité unique qui est l'administrateur de la base de donnée. » Aussi peut-on dire qu'une **Base de Données** (BD) est un ensemble structuré d'informations cohérentes et persistantes dont l'organisation est régie par un modèle de données. L'organisation des données en base de données présente plusieurs avantages dont on cite :

- Eviter les redondances et les incohérences des données qui entraîneraient fatalement une approche où les données sont réparties dans différents fichiers sans connexion entre eux ;
- Réduire le coût de développement des logiciels. En effet, beaucoup d'opérations sont prises en charge par la base de données ;
- Offrir un langage de haut niveau pour la définition et la manipulation des données ;
- Contrôler l'intégrité entre plusieurs utilisateurs et la confidentialité des données;
- Assurer l'indépendance entre les données et les traitements.

1.1.2 Les systèmes de gestion de la base de données

La gestion d'une base de données, sa consultation et, d'une manière générale, la manipulation des données qu'elle contient, sont des opérations dont la réalisation technique est souvent très complexe. C'est la raison pour laquelle on fera appel à des logiciels spécialisés offrant un ensemble de fonctions permettant la définition, l'exploitation et la gestion de tables et de leurs contenus appelés systèmes de gestion de fichiers (SGF) ou de bases de données (SGBD). L'ensemble de ces logiciels permet d'effectuer plusieurs tâches :

- La mise à jour des données : correction, ajout et suppression d'enregistrement et de champs ;
 - Création de nouveaux champs résultant d'un calcul ;
 - Recherche d'enregistrement vérifiant des critères donnés ;
 - Etablissement d'un masque d'entrée d'enregistrement ;
 - Perfectionnement de formes de sortie des résultats ;
 - Programmation d'application ;
 - Etablissement de relations entre tables de données ;
 - Protection contre les accès non autorisés ;
 - Etc.

Il existe plusieurs S.G.B.D, qui présentent à peu près les mêmes fonctionnalités, mais se distinguent par le volume de données qu'ils peuvent gérer, le nombre d'utilisateurs qui peuvent accéder à la base de données simultanément, etc.

Dans mon travail, je vais utiliser Microsoft Access comme SGBD, l'ensemble des données seront enregistrées dans les objets suivants :

- ✓ **Tables** : les données sont consignées dans des tableaux à double entrée, les lignes ou les enregistrements ou les individus et les colonnes ou les champs ou les variables.
- ✓ **Requêtes** : elles permettent d'établir la liste des enregistrements répondant à certains critères, et consultent plusieurs tables simultanément.
- ✓ **Formulaires** : Un formulaire est un masque d'écran permettant d'améliorer l'affichage et la saisie des données. Il permet de manipuler au même endroit des informations provenant de plusieurs tables simultanément.

1.1.3 Les modèles de SGBD

Il existe différents modèles de base de données :

- La **base de données hiérarchique** : c'est une base de données dont le système de gestion lie les enregistrements dans une structure arborescente où chaque enregistrement n'a qu'un seul possesseur.
- Le **modèle réseau** est une manière de représenter graphiquement les données dans le cadre d'une base de données. Ce modèle est en mesure de lever de nombreuses difficultés du modèle hiérarchique grâce à la possibilité d'établir des liaisons de type (1, n) en définissant des associations entre tous les types d'enregistrements.
- Le **modèle relationnel** : dans ce modèle, les données sont enregistrées dans des tableaux à deux dimensions (lignes appelées enregistrements et colonnes appelées champs). La manipulation de ces données se fait selon la théorie mathématique des ensembles. Les SGBD relationnels sont une application directe de ce modèle.
- Le **modèle orienté objet** : les données sont stockées dans des structures appelées objets. Ces derniers ont une existence persistante indépendante des données (avec leur identité, leur fonction, leur classe, etc.) Les données peuvent être consultées uniquement par un objet, selon les méthodes qui lui ont été attribuées. Une hiérarchie entre objets peut être définie au besoin.

Actuellement les bases relationnelles sont les bases de données les plus utilisées. Etant donné que ce modèle offre une flexibilité des liens entre les enregistrements, il est largement utilisé pour les SIG. De plus, il possède une grande capacité de répondre à toutes les interrogations basées sur la logique booléenne et les opérations mathématiques, et enfin il offre une mise à jour plus facile.

1.2 Démarche de conception d'une base de données

Pour pouvoir créer une base de données cohérente, fonctionnelle et qui reflète la réalité, il faut utiliser une méthode de conception et d'analyse. La plus répandue de ces méthodes est celle de MERISE, qui est une méthode de conception, de développement et de réalisation de projets informatiques. Elle est basée sur la séparation des données et des traitements à effectuer en plusieurs modèles conceptuels et physiques.

MERISE propose une démarche, dite par niveaux, dans laquelle il s'agit de hiérarchiser les préoccupations de modélisation qui sont de trois ordres : la conception, l'organisation et la technique.

Les trois niveaux de représentation des données sont :

- **Niveau conceptuel** : appelé aussi MCD (modèle conceptuel des données). Il décrit les entités du monde réel, en termes d'objets, de propriétés et de relations, indépendamment de toute technique d'organisation et d'implantation des données. Ce modèle se concrétise par un schéma entités-associations représentant la structure du système d'information, du point de vue des données

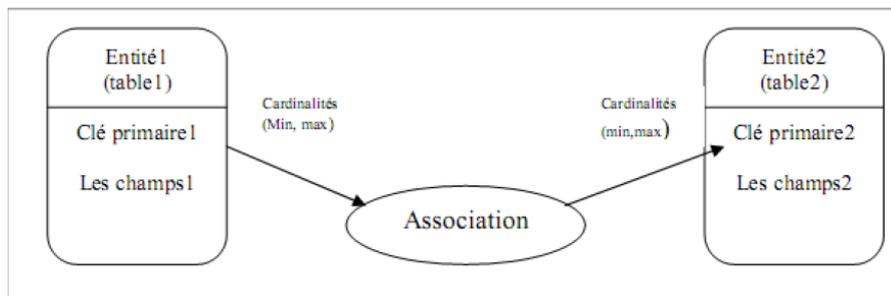


Figure 4 : Modèle Conceptuel de Données simplifié

- **Niveau logique** : ou MLD précise le MCD par des choix organisationnels. Il s'agit d'une transcription du MCP dans un formalisme adapté à une implémentation ultérieure, au niveau physique, sous forme de base de données relationnelle ou réseau, ou autres.
- **Niveau physique** : le modèle physique des données (MPD) permet d'établir la manière concrète dont le système sera mis en place.

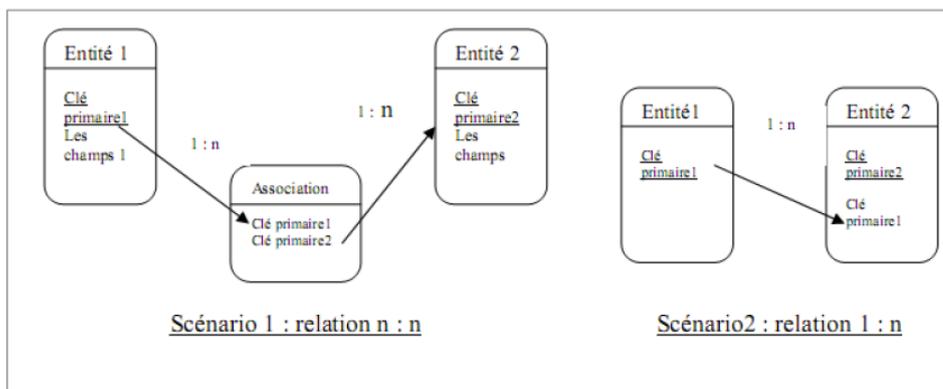


Figure 5 : Modèles physique de données possibles

2. Les systèmes d'informations géographiques (SIG)

2.1 Définitions et généralités

Un système d'information géographique (SIG) est un système informatique qui permet à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer, d'analyser, de combiner et de représenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace.

Un système d'information géographique peut être considéré comme :

- Un outil informatique permettant d'effectuer des tâches diverses, sur des données à **référence spatiale** ;
- Un ensemble informatique constitué de logiciels, méthodes et de matériels destinés à assurer la saisie, l'exploitation, l'analyse, et la représentation de
- données géoréférencées pour résoudre un problème de planification et de management ;
- Un ensemble de données repérées dans l'espace, structurées de façon à fournir et extraire commodément des synthèses utiles à la décision ;
- Un ensemble organisé globalement comprenant des éléments (données, équipements, procédures, ressources humaines) qui se coordonnent, à partir d'une référence spatiale commune, pour concourir à un résultat ;
- Un système de gestion de bases de données pour la saisie, le stockage, l'extraction, l'interrogation, l'analyse, et l'affichage des données localisées ;
- Un SIG traite des informations localisées et apporte ainsi une dimension géométrique aux systèmes d'information classiques. C'est donc un *outil de gestion pour l'utilisateur et un outil d'aide à la décision pour le décideur*.

Les SIG offrent toutes les possibilités des bases de données (telles que requêtes et analyses statistiques) et ce, à travers une visualisation unique et une analyse géographique propres aux cartes. Ces capacités spécifiques font du SIG un outil unique, accessible à un public très large et s'adressant à une très grande variété d'applications.

Questions auxquelles peuvent répondre les SIG Un SIG doit répondre à cinq questions, quel que soit le domaine d'application :

- **Où** : où se situe le domaine d'étude et quelle est son ampleur géographique?
- **Quoi** : quels objets peut-on trouver sur l'espace étudié ?
- **Comment** : comment les objets sont-ils répartis dans l'espace étudié, et quelles sont leurs relations ? C'est l'analyse spatiale.
- **Quand** : quel est l'âge d'un objet ou d'un phénomène ? C'est l'analyse temporelle.
- **Et si** : que se passerait-il si un tel événement se produisait?

2.2 Les composants d'un SIG

Un SIG est constitué de 5 composants majeurs :

Matériel : Les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs, que ce soit ceux d'un bureau connecté au réseau ou des PC utilisés de façon autonome.

Logiciels : les logiciels SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations. Les principaux composants d'un logiciel SIG sont :

- Les outils pour saisir et manipuler les informations géographiques ;
- Les SGBD ;
- Les outils géographiques de requête d'analyse et de visualisation ;
- L'interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.

Données : Les données sont certainement les composants les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.

Utilisateurs : les SIG s'adressent à une grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail la dimension géographique.

Méthodes : la mise en oeuvre et l'exploitation d'un SIG ne peut s'envisager sans le respect de certaines règles et procédures propres à chaque organisation.

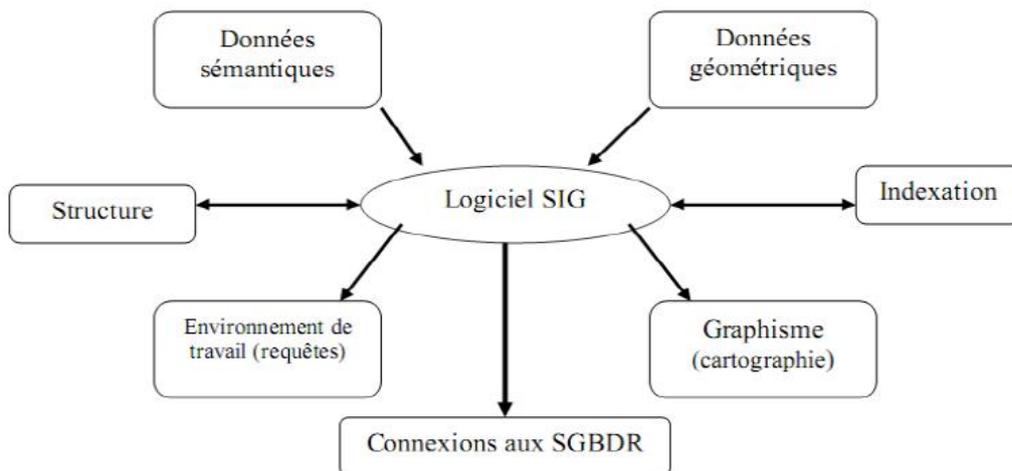


Figure 6 : Environnement d'un SIG

2.3 Conception d'un SIG

Pour être menée à bien, la mise en oeuvre d'un SIG doit reposer, entre autres, sur la conception d'une base de données et d'applications adaptées (Pornon, 1992). Cette conception consiste en l'établissement d'un modèle conceptuel des données, la description des objets graphiques et sémantiques, ainsi que la description des spécifications du SIG. Deux modèles de description des données géographiques sont à distinguer :

- Le modèle *raster* concerne les images et les grilles, composées de cellules juxtaposées (pixels d'une image et mailles d'une grille), dont la taille est égale à la résolution de la donnée. A chaque cellule correspond une valeur. Les bornes extérieures de l'image ou de la grille sont indiquées dans un système de projection géographique.
- Le modèle *vecteur* repose sur des primitives graphiques qui sont le point, la ligne et la surface. Les objets géographiques simples sont représentés à partir de ces primitives qui définissent une couche dans le SIG, et sont positionnés dans un système de projection géographique en mètres.

PARTIE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

Chapitre IV: Méthodologie

1. Introduction

Dans le présent chapitre, je détaillerai la méthodologie retenue pour la réalisation de mes objectifs, qui sont :

- Une représentation géographique des ressources en eau du bassin Ziz-Rhéris à travers l'élaboration d'une base de données géographique (SIG) qui regroupe toutes les ressources hydriques du bassin en se basant sur des données alphanumériques et spatiales
- Développement d'un modèle conceptuel qui met en évidence les ressources en eau disponibles à l'échelle des sous bassins puis les ressources utilisés pour l'irrigation des périmètres de GH et ceux de PMH
- Détermination des périmètres où on a superposition des réseaux moderne et traditionnel
- Renforcement de ma base de données par des informations bien agencées, claires, ordonnées, et faciles à consulter, pour mieux exploiter le modèle géographique.

2. Choix et collecte de données :

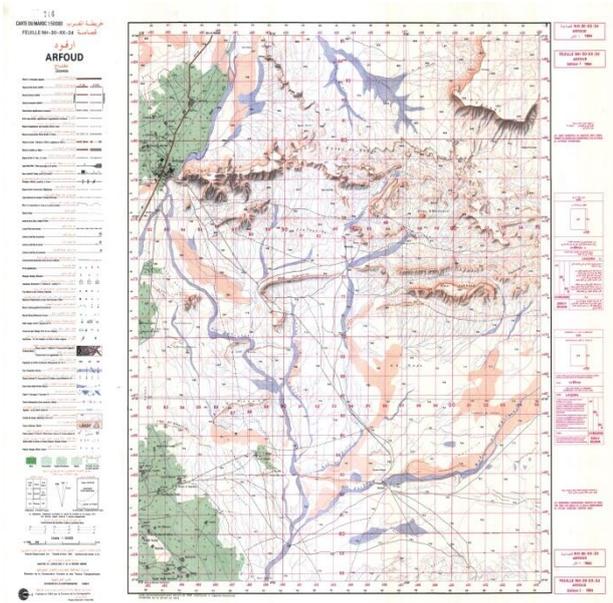
Les données concernant le bassin Ziz-Rhéris situé dans la zone d'action de l'ABHGZR ont été collectées dans le but de créer un modèle conceptuel qui met en évidence les ressources en eau en confrontation avec la demande en eau agricole dans la zone d'étude, et ce par l'élaboration d'une base de données géographique et la spatialisation de ces informations sous SIG pour que leur interprétation soit rapide, facile et pratique au niveau de la zone d'étude.

Les critères les plus importants pour le choix des données afin de réaliser ce travail sont :

- Les cartes spatialisées doivent contenir le maximum d'informations sur les thèmes étudiés :
 - Les Rivières
 - Les puits et les forages
 - Les barrages
 - Les Khettaras, Les seguias
 - Les canaux d'irrigation
 - Les nappes
 - Les périmètres irrigués

- Les informations introduites dans la base de données doivent être suffisamment fiables et pertinentes

2.1. Exemples de données :



Carte 10 : Carte d'Arfoud

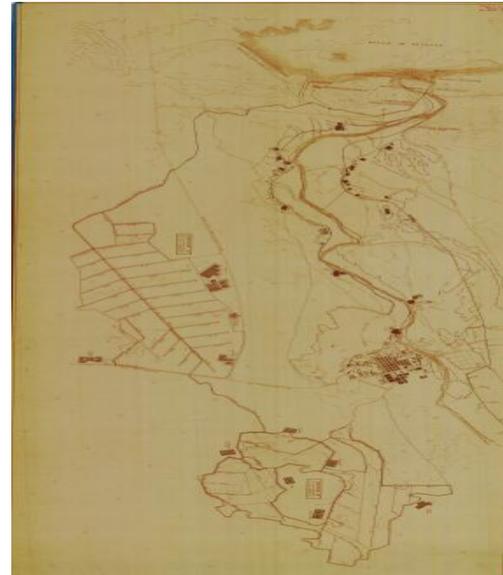


Figure 7: Canaux d'irrigation

2.2. Sources des données

Les données collectées pour être spatialisées ou mises dans la base de données proviennent essentiellement de :

- Direction de la conservation foncière et des travaux topographiques – division de la carte
- Office régional de mise en valeur agricole de Tafilalet (Errachidia)
- L'Agence du bassin hydraulique de Ziz-Rhénis-Guir
- Département DEEI à l'IAV Hassan II

3. Elaboration de la base de données spatiale

Les données spatiales revêtent un aspect très important des SIG. Ces données liées aux données alphanumériques permettent d'augmenter les informations sur les entités et par conséquent donner une idée claire sur les ressources en eau dans la zone d'étude.

Dans ce travail j'utilise le logiciel d'ArcGis® d'ESRI pour élaborer ma base de données spatiales. La démarche suivie pour réaliser ce travail, sera présentée dans le chapitre V.

4. Conception et élaboration de la base de données

Une **base de données** est un ensemble structuré et organisé permettant le stockage de grandes quantités d'informations afin d'en faciliter l'exploitation (ajout, mise à jour, recherche de données). Elle se traduit physiquement par un ensemble de fichiers sur disque.

Il existe trois types de **Géodatabase** que nous pouvons créer et exploiter sur ArcGIS et mettre à jour ou modifier sur MC Access. Vous devez choisir celle qui convient le mieux à votre projet avant de la créer. Mais voici maintenant une présentation des trois types de Géodatabases :

- **La Géodatabase Fichier** stocke les ensembles de données dans un dossier Windows. Chaque ensemble de données peut « peser » jusqu'à 1To. Cette base de données peut-être cryptée et sécurisée. C'est la Géodatabase la plus souple d'emploi.
- **La Géodatabase personnelle** stocke les données dans une base de données Access (.MDB). La taille maximale de cette base de données est de 250 à 500 mo et elle ne peut être utilisée que dans l'environnement Microsoft Windows.
- **La Géodatabase ARCSDE** stocke les données dans des bases de données externes et beaucoup plus lourdes à gérer mais aussi plus performantes comme Oracle, DB2, SQL Server, etc.

Les Géodatabases peuvent contenir des Classes d'entités (Feature class), des jeux de classes d'entités (Feature dataset), des classes d'objets (Object class) aussi appelées Tables ainsi que des fichiers Raster.

Une **classe d'entités** est un ensemble homogène d'entités. Toutes les entités ont la même géométrie (point, polyline, polygone,...) et les mêmes attributs. Ces attributs sont stockés dans la table de la classe d'entités. La notion de classe d'entités est similaire à la notion de fichier de formes (Shapefile).

Un **jeu de classes d'entités** est un ensemble de classes d'entités. Il regroupe des classes d'entités ayant des relations topologiques. Un jeu de classes d'entités peut aussi être utilisé pour regrouper des classes d'entités appartenant à une même thématique. Toutes les classes d'entités appartenant à un même jeu de classes d'entités sont stockées avec la même référence spatiale (datum, projection, domaines,...). La notion de jeu de classes d'entités est similaire à la notion de couverture.

Une **table** peut-être stockée dans une Géodatabase. Elle se caractérise par un ensemble de champs et d'enregistrements. Les tables d'une Géodatabase peuvent être reliées ou jointes à des tables ou à des classes d'entités de la même Géodatabase.

Les fichiers **Raster** peuvent être stockés dans une Géodatabase. Ils peuvent être mosaïqués en un seul jeu de Raster ou gérés comme un ensemble de fichiers différents dans un catalogue d'images.

Les relations, les domaines, les sous-types, les réseaux géométriques, les métadonnées et les références spatiales des couches sont aussi stockés dans la Géodatabase.

Pour ce travail j'ai choisi la **Géodatabase personnelle**, car elle est simple et facile à gérer. La démarche suivie pour réaliser ce travail, sera présentée dans le chapitre VI

Chapitre V : Elaboration de la base de données spatiale

1. Choix du logiciel

Dans ce mémoire, la plate forme de la réalisation de mon travail est le Système d'Information Géographique ArcGIS 9.3®. Le choix s'est porté sur ce logiciel pour de multiples raisons :

- ARCGIS® est un SIG très simple, pratique souple et dispose d'une interface graphique. C'est un Outil puissant permettant de visualiser, explorer, interroger les données d'une manière très simple.

- Il a la capacité de présenter des cartes papiers de haute qualité comme il a la capacité de gérer des données de sources variées ; il accepte des formats caractéristiques d'autres logiciels SIG et d'autres logiciels DAO (AUTO CAD) ainsi que leurs formats d'échange (DXF...).

- Pour les données tabulaires, ArcGIS supporte des fichiers de BASE texte et INFO : le système de gestion de base de données attributaires pour ARC/INFO. ArcGIS® permet surtout la connexion avec d'autres SGBD tel que MS Access® qui est utilisé pour cette application ArcGIS.

2. Préparation des données et de fonds de cartes

Dans le cas de la base de données spatiale, l'importance de la qualité des données (format, précision, ...) est beaucoup plus importante que dans le cas de la base de données alphanumériques. En effet, une fois le format de données est choisi (par exemple le format shapefile), on ne peut plus utiliser d'autres formats, sinon il faut tout convertir en un format de travail. Dans ce travail, nous avons utilisé deux types de données :

- Les données shapefiles : ce sont des cartes concernant la limite du bassin, la limite des sous-bassins, la localisation des localités, et le réseau hydrographique de la zone d'étude, les nappes phréatiques, les nappes profondes, les grands barrages, les barrages de dérivation, les canaux d'irrigation, les séguias, les khéttaras, et les périmètres irrigués.(voir annexes)

Ces shapefiles vont servir comme fond de cartes pour mon SIG.

Pour préparer ces shapefiles, les cartes des thèmes vont être géoréférencées et digitalisés dans le but de déterminer une correspondance entre des points caractéristiques de la carte topographique et leurs homologues vectoriels.

- Les données tables : ce sont les données attributaires de la base de données, ils vont servir pour stocker des informations sur les thèmes, et décrire les ressources disponibles dans chacun des sous bassin, puis dans chacun des périmètres irrigués.

3. Les couches utilisées

Après la création des shapefiles, les couches qui vont être superposés pour avoir le modèle final des ressources en eau dans le bassin Ziz-Rhéris sont :

Tableau 7 : Entités utilisées et leurs représentations

Entités	Objet ID
Limite du bassin Ziz-Rhéris	Polygone
Limite des sous-bassins	Polygone
Limite des périmètres irrigués	Polygone
Ressources de surfaces (rivières)	Polyline
Nappes phréatiques	Polygone
Nappes profondes	Polygone
Barrages	Points
Barrages de dérivation	Points
Khéttaras	Polyline
Puits et forages	Points
Séguias	Polyline
Canaux d'irrigation	Polyline

Toutes les entités sont au format shapefile (fichier de forme), ce format stocke l'emplacement, la forme et les attributs des entités géographiques. Cependant, il existe d'autres formats de stockage des données, à savoir les couvertures qui sont utilisées essentiellement dans ArcInfo.

Chapitre VI : Conception et élaboration de la Base de Données

Dans ce chapitre, je décrirai la base de données créée. Pour ce faire, je présenterai les outils utilisés, puis j'entamerai la démarche suivie pour l'élaboration des tables.

1. Logiciels utilisés

Pour la création de ma base de données j'ai utilisé le logiciel ArcGis 9.3, qui permet de créer des tables liées automatiquement au shapefiles, pour les décrire et introduire les informations nécessaires.

Pour ajouter des données à tables créées, j'ai fait appel au logiciel **Access®2007** qui est un système de gestion de base de données (SGBD), qui permet de créer rapidement des applications performantes construites avec des formulaires, requêtes et tables dans la base de données

2. Création de la base de données

2.1 Description des tables

Après avoir établi l'inventaire des données, nous les avons décomposées en entités qui sont totalement définies par leurs noms, leurs identifiants et leurs listes de propriétés. Dans notre base de données l'entité principale est la « zone » qui définit le sous-bassin à laquelle d'autres tables regroupant des informations relatives à mon travail ont été associées.

Tableau 8 : description des tables de la base de données

Nom de la table	Description de la table
Zones Ziz-Rhéris (Sous-bassins)	Cette table décrit la SAU, les besoins en eau des cultures par sous-bassin, et l'origine des données climatiques
Périmètres GH	Cette table décrit les ressources utilisées pour l'irrigation du périmètre
Périmètres PMH	Cette table décrit les ressources utilisées pour l'irrigation du périmètre, les apports et les besoins en eau .

Nappes profondes	Elle donne le nom de l'aquifère, sa nature, ses composants, son épaisseur, sa Profondeur sa transmissivité m ² /s, son Débit Moyen, sa Productivité, sa salinité, ses sources d'alimentation, ses méthodes d'exploitation, se baisse, son rôle, la nature du faciès du réservoir de l'aquifère, sa recharge, et sa décharge en Mm ³ /an
Nappes phréatiques	Elle donne le nom de la nappe, son type, sa superficie, superficie irriguée, profondeur, transmissivité, perméabilité, salinité, sources d'alimentation, méthodes d'exploitation, sens de l'écoulement, qualité, baisse, total des entrées Mm ³ /an, total des sorties Mm ³ /an
Barrages de dérivation	Dans cette table on trouve le nom du barrage, sa nature, réfX, réfY, le débit l/s , le cours d'eau sur lequel le barrage est installé, le périmètre irrigué le plus proche.
Barrages	Dans cette table on trouve le nom du barrage, nom de l'oued, la hauteur, la ville la plus proche, l'année de mise en service, la capacité, le type du barrage, le volume régularisé, et les rôles du barrage.
Seguias et khattaras	La table donne le nom de la séguia ou la khéttara, et le périmètre qu'elle irrigue.
Canaux d'irrigation	La table donne le nom du canal, son type, son origine, son débit, et le périmètre irrigué par le canal.
Rivières	La table donne le nom de la rivière, son apport moyen/an
Puits et forages	La table donne le nom du point d'eau, son type, et son emplacement.
Cultures	Elle décrit les quantités des céréales, maraîchage, légumineuses, luzerne, amandier, abricotier, grenadier, cognassier, pêcher, prunier, pommier, poirier, palmier, et d'olivier dans chacune des zones

2.2 Relation entre tables

Dans toutes les applications SIG, la gestion des flux de données constitue un élément critique. Les utilisateurs de SIG recourent à des fonctions de géotraitement pour importer et exporter les données des bases de données.

Dans le cas des tables de données la jointure entre deux tables se fait d'une manière simple, il suffit de créer une clé commune entre les deux tables pour établir une sorte de code.

Après avoir défini les différentes entités (tables), il faut définir les associations qui les lient ; c'est-à-dire les relations les plus opportunes.

La table à laquelle j'ai fait la jointure d'autres tables est celle qui définit les sous-bassins ou les zones, les tables jointes décrivent :

- Les ressources en eau de surface dans chacune des zones ;
- Les ressources souterraines dans chacune des zones ;
- Les moyens de mobilisation des ressources en eau de surface par zone ;
- Les moyens d'exploitation des ressources souterraines par zone ;
- Les moyens de transport de l'eau d'irrigation par zone ;
- Les périmètres irrigués par zone ;
- Les cultures pratiquées par zone.

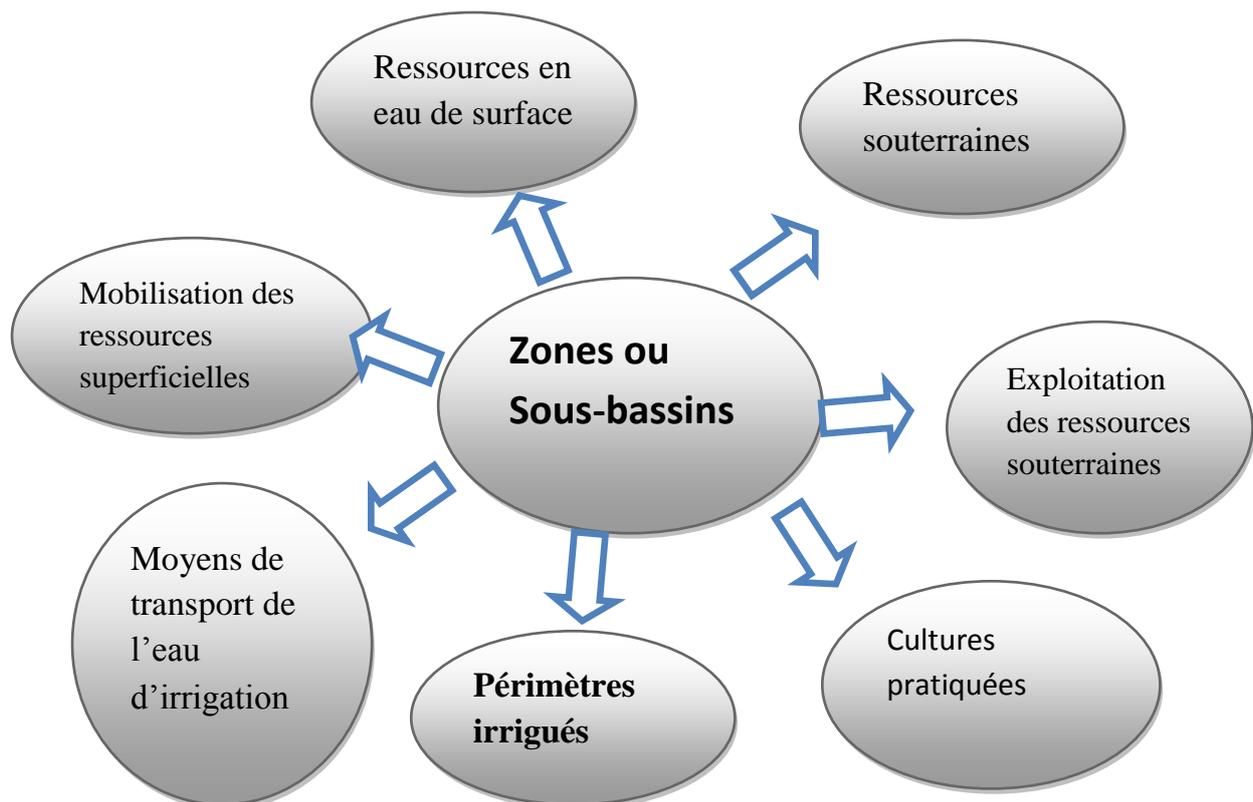


Figure 8 : Schéma des relations entre les tables de la base de données

Selon ce schéma on peut dire :

- Un ou plusieurs sous-bassins sont associés à une/des ressources en eau de surface ;
- Un ou plusieurs sous-bassins sont associés à une/des ressources en eau souterraines ;
- Un ou plusieurs sous-bassins sont associés à un/des moyens de mobilisation ressources en eau de surface ;
- Un ou plusieurs sous-bassins sont associés à un/des moyens d'exploitation des ressources en eau souterraines ;
- Un ou plusieurs sous-bassins sont associés à un/des moyen de transport de l'eau d'irrigation aux périmètres irrigués ;
- Une ou plusieurs cultures sont associés à un/des sous-bassins ;

Ce qui nous permet de dire que :

- Un ou plusieurs périmètres sont associés à un/des sous-bassins.

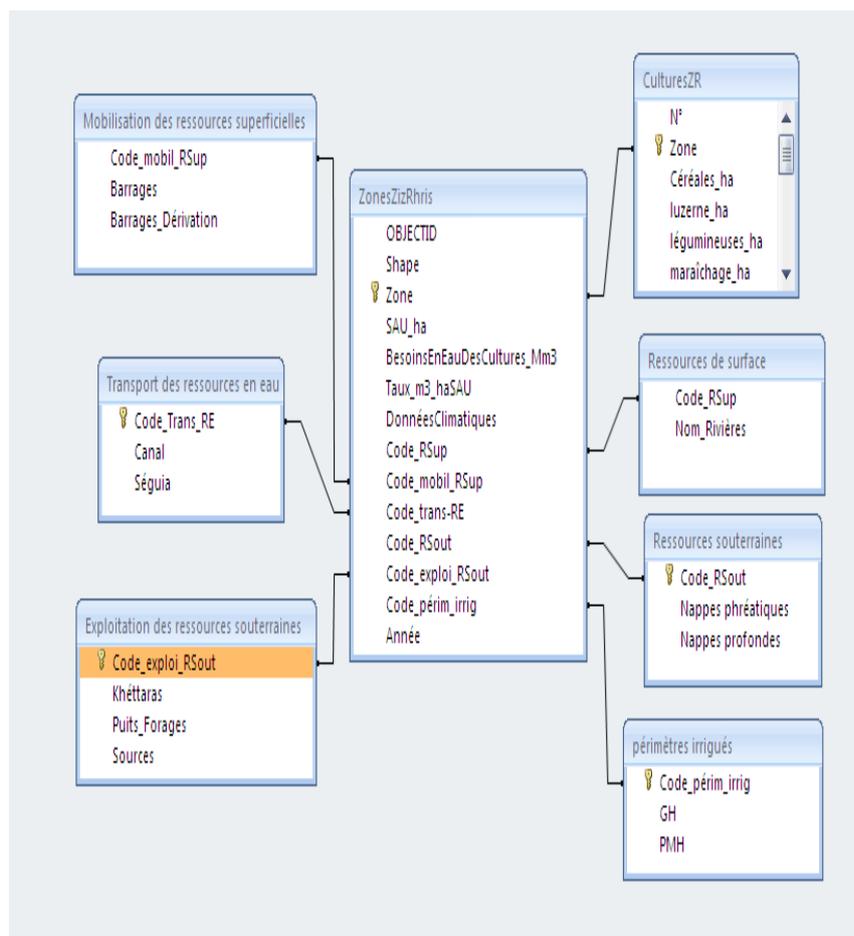


Figure 9 : Relations entre les tables de la base de données

2.3. Description des requêtes

Après l'élaboration des tables, j'ai établi les requêtes qui vont servir à afficher uniquement quelques données spécifiques, contenues dans les tables selon certains critères.

Les requêtes peuvent aussi faire des calculs sur les données, ainsi que créer des sources de données pour d'autres requêtes (une requête peut être faite sur le résultat d'une autre requête) ; pour cela notre choix s'est porté sur les requêtes sélection : Elles permettent de sélectionner des enregistrements, de faire des calculs et des regroupements. Ce type de requête ressemble beaucoup aux filtres, mais permet, en plus, de travailler sur plusieurs tables simultanément.

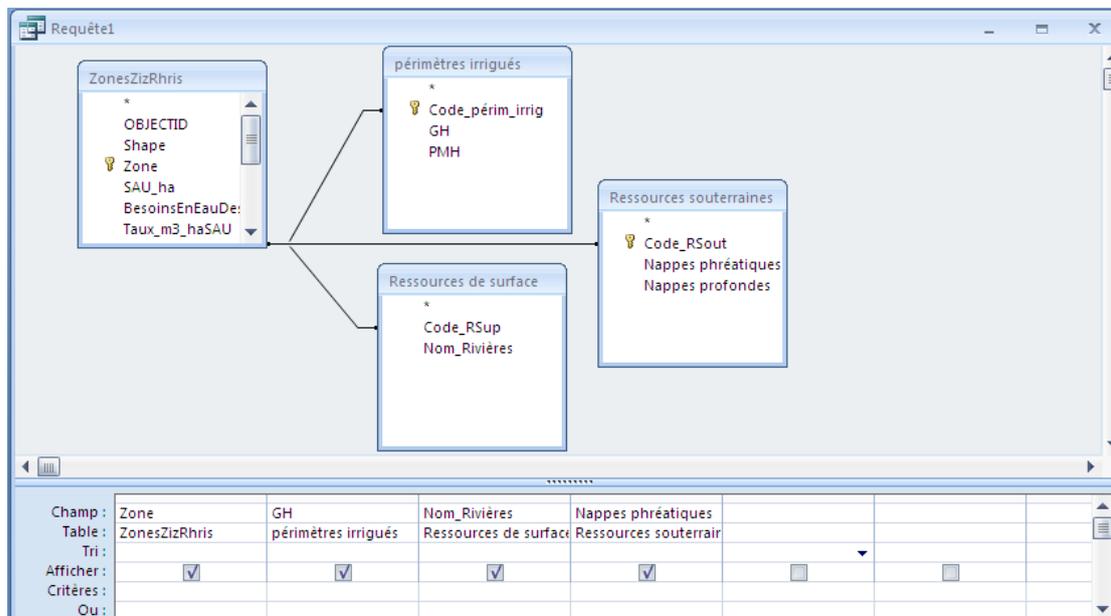


Figure 10 : exemple de création de requête

PARTIE III: RÉSULTATS ET DISCUSSION

Introduction

L'objectif de cette partie est d'exploiter la base de données et les cartes SIG élaborées afin de :

- ✓ Décrire les ressources hydriques disponibles et les périmètres irrigués dans chacun des sous-bassins de la zone d'étude ;
- ✓ Evaluer les ressources utilisées pour l'irrigation des périmètres de GH et de PMH du Ziz-Rhéris ;
- ✓ Localiser les sites où le réseau moderne se superpose avec le réseau traditionnel.
- ✓ Faire une confrontation ressources en eau-demande en eau pour les périmètres de PMH du bassin Ziz-Rhéris

Chapitre VII : Diagnostic de ressources hydriques à l'échelle des sous-bassins du Ziz-Rhéris

L'agence du bassin hydraulique de Guir-Rhéris-Ziz a découpé Le bassin Ziz-Rhéris du Tafilalet en six sous-bassins en se basant sur des caractéristiques hydrauliques.

Le modèle élaboré sur SIG met en évidence les ressources en eau disponibles dans chacun des sous-bassins de la zone d'étude :

1. Le sous-bassin ZR1 :

Le sous-bassin ZR1 du Ziz-Rhéris se situe dans la province de Midelt, il contient 8 communes rurales à savoir : N'Zala, Zaouiat Sidi Hamza, Amougar, Ait Yahya, Outerbat, Sidi Ayad, M'zizel, Guers Tiallaline, et Rich

1.1 Ressources superficielles :

L'Oued Ziz présente une bonne qualité en amont avec un apport d'eau de 4 Mm³ en année Sèche, 90 Mm³ en année moyenne et 220 Mm³ en année humide.

Pour la mobilisation des eaux de l'oued Ziz le sous-bassin dispose de six **barrages de dérivations** qui sont : barrage Tagoujeit, barrage Ighjd, barrage Tighrmatine, barrage M'Zizel, barrage Tamaghourte, et barrage Ayt Yaakoub.

1.2 Ressources souterraines :

1.2.1 Nappes phréatiques :

La nappe phréatique quaternaire du Rich : C'est une nappe d'accompagnement de l'Oued Ziz où les alluvions quaternaires représentent le faciès réservoir. L'écoulement général s'effectue de l'Ouest vers l'Est le long de la vallée de Ziz entre Mzizel et Rich. Entre Igourramene et Taguersift, l'écoulement souterrain est orienté NW-SE. Entre Karrantou et Touahite, l'écoulement devient N-S le long de la vallée de Ziz. Les cotes piézométriques varient de 1220 m à 1460 m. La recharge de la nappe dépend fortement de la pluviométrie et les eaux de crues dont les fluctuations sont ressenties de très près dans les niveaux piézométriques. La profondeur à l'eau est de 3 à 20 m, avec une moyenne de l'ordre de 10 m. Cette nappe est exploitée par de nombreux puits et forages

1.2.2 Nappes profondes

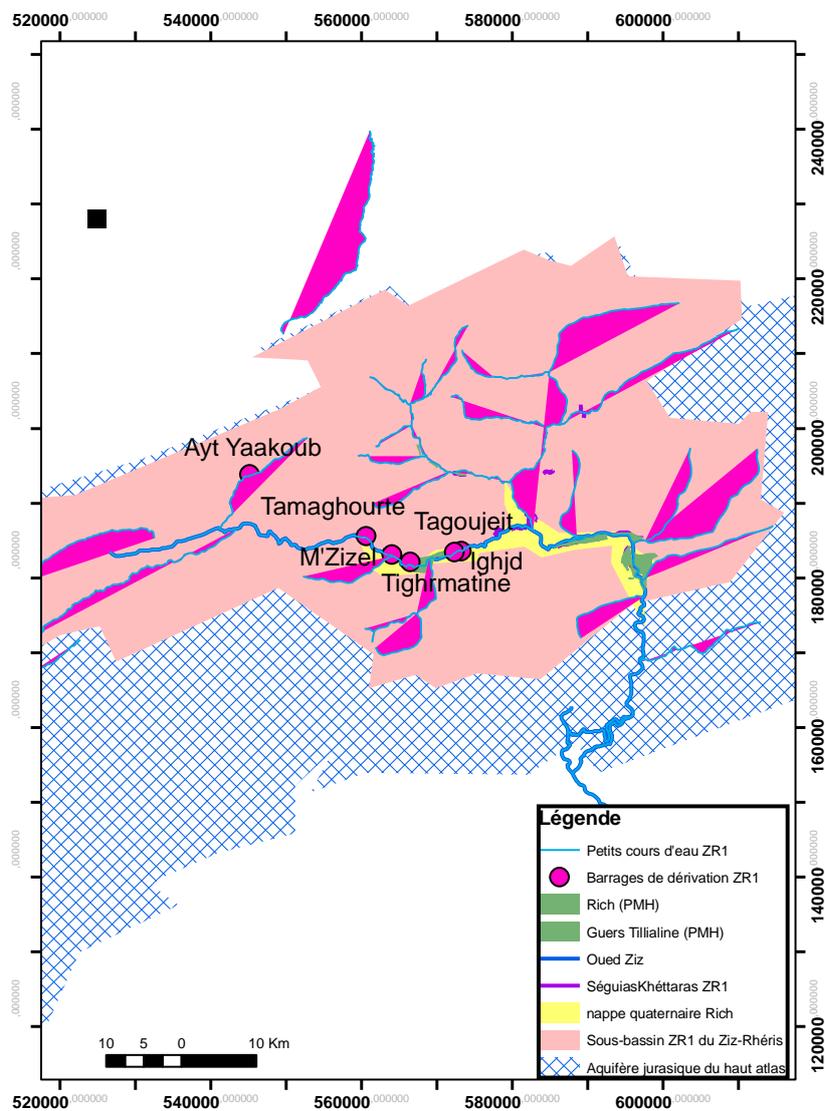
L'aquifère jurassique profond du Haut atlas : Renferme un ensemble d'unités hydrogéologiques communicantes entre elles (Lias et Dogger). Ces aquifères donnent naissance à plusieurs **sources**. Sa productivité est toujours supérieure à 2 l/s, il a une profondeur qui varie entre 5 et 40 m, sa salinité est inférieure à 2 g/l et sa transmissivité varie entre $1.7 \cdot 10^{-5}$ et $6.3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. L'accès à cet aquifère dans le sous bassin 1 est assuré par la source de Zaouiet Sidi Hamza

1.3 Périmètres irrigués :

Les **périmètres irrigués** qui se situent dans le sous-bassin ZR1 sont des périmètres de petite et moyenne hydraulique et sont en nombre de deux : Le périmètre de Rich au milieu et le périmètre Guers Tiallaline vers l'Est du sous-bassin.

Les **Séguias** qui assurent l'irrigation des périmètres du ZR1 sont : Guersia, Cherif, Ayt Ouatou, Ayt Ouatou1, Isoukna, Tasalht, Ayt Oualiou, Tagoujilt, Tigharmatine, Tamalakt, Tisikalte, Sidi Boukil, Gafay, Tadraklout, Boukhlouf, Taguerssift, Tilicht, Karrandou, et Ayt l'Abbas.

**Carte des ressources en eau du sous-bassin
ZR1 du Ziz-Rhéis**



Carte 11 : ressources en eau du sous-bassin ZR1

2. Le sous-bassin ZR2 :

Le sous-bassin ZR2 se situe dans la province d'Errachidia, il contient 6 communes rurales à savoir : Assoul, Amellagou, Tadighoust, Ghéris el Ouili, Ghéris Essoufli, Ait Hani

2.1 Ressources superficielles :

Par le sous-bassin ZR2 passe l'oued Rhéris et ses affluents oued Assfla et oued Taida. L'Oued Rhéris présente un apport d'eau de 1 Mm³ en année Sèche, 40 Mm³ en année moyenne et 182 Mm³ en année humide.

Pour la mobilisation des eaux de l'oued Rhéris le sous-bassin dispose de six **barrages de dérivations** qui sont : barrage Taghountast, barrage Baakram, barrage Tazoughmit, barrage Tadighoust, barrage Timzguit, et barrage Amellagou

2.2 Ressources souterraines :

2.2.1 Nappes phréatiques

La nappe de Goulmima est une nappe alluviale longeant oued Rhéris. Sa superficie est d'environ 80 km². Les palmerais qui en dépendent couvrent une superficie de 2530 ha. Toutes ces palmerais sont situées dans le bassin Crétacé d'Errachidia-Boudnib. Le faciès réservoir est formé d'alluvions quaternaires qui assurent une circulation du NE au SW avec un gradient variable. La profondeur d'eau varie entre 16m et 27m. L'alimentation est assurée par :

- Les précipitations directes ;
- Les apports de crues des affleurements infra-cénomaniens à Ksar Jdid ;
- Les apports profonds à partir du Turonien au niveau de Tadighoust ;
- La réinfiltration des eaux d'irrigation.

L'exploitation est représentée essentiellement par un réseau de khattaras. La qualité des eaux est relativement satisfaisante.

La nappe de Tinjdad-Touroug est une nappe alluviale au pied du Haut Atlas. Sa superficie est d'environ 347 km². Les palmerais qui en dépendent totalisent une superficie de 3170 ha. Toutes ces palmerais sont situées dans le bassin Crétacé d'Errachidia-Boudnib. Le faciès réservoir est formé d'alluvions quaternaires. L'écoulement s'effectue du SW au NE à l'Ouest de Tinjdad et devient Ouest-Est en direction de Touroug avec un gradient qui diminue de l'Ouest vers l'Est. L'alimentation est assurée principalement par :

- Les précipitations directes ;
- Les apports de crues des hauts bassins ;
- La réinfiltration des eaux d'irrigation.

L'exploitation est représentée essentiellement par les pompages qui s'accroissent régulièrement.

La nappe de Jorf- Fezna est une nappe alluviale située en RD de oued Rhéris à l'Est de Touroug. Sa superficie est d'environ 35 km². Les palmerais qui en dépendent totalisent une superficie de 3255 ha. Toutes ces palmerais sont situées dans le bassin Crétacé d'Errachidia-Boudnib. Les faciès réservoirs sont constitués par les formations Plio-Quaternaires des vallées encaissées dans les schistes primaires. Le niveau de la nappe se situe généralement entre 8 m et plus de 20 m de profondeur. L'écoulement général de la nappe est orienté NW-SE. Les apports naturels sont constitués principalement par :

- ✓ Les précipitations directes ;
- ✓ Les apports des eaux de crues ;
- ✓ Les sous écoulements d'oued Rhéris ;
- ✓ La réinfiltration des eaux d'irrigation.

L'aquifère de Jorf-Fezna peut assurer une bonne irrigation des palmeraies en période normale ou pluvieuse car les pompages ne sont pas aussi importants par comparaison aux autres nappes comme celle de Tinjdad-Touroug. Dans l'ensemble, la qualité des eaux est bonne à moyenne. La salinité des eaux oscille entre 0.5 et 3.5 g/l, elle augmente progressivement vers le centre de la palmeraie et vers l'aval.

2.2.2 Nappes profondes

Pour les nappes profondes il y a l'**aquifère jurassique profond du Haut atlas** qui s'étale sous toute la partie nord et nord-ouest du sous-bassin étudié mais sous la partie sud et sud-est on trouve l'**aquifère du bassin crétacé Errachidia-Boudnib**.

Le bassin crétacé d'Errachidia-Boudnib s'étend entre le Haut et l'Anti Atlas et comprend deux aquifères qui sont du haut en bas :

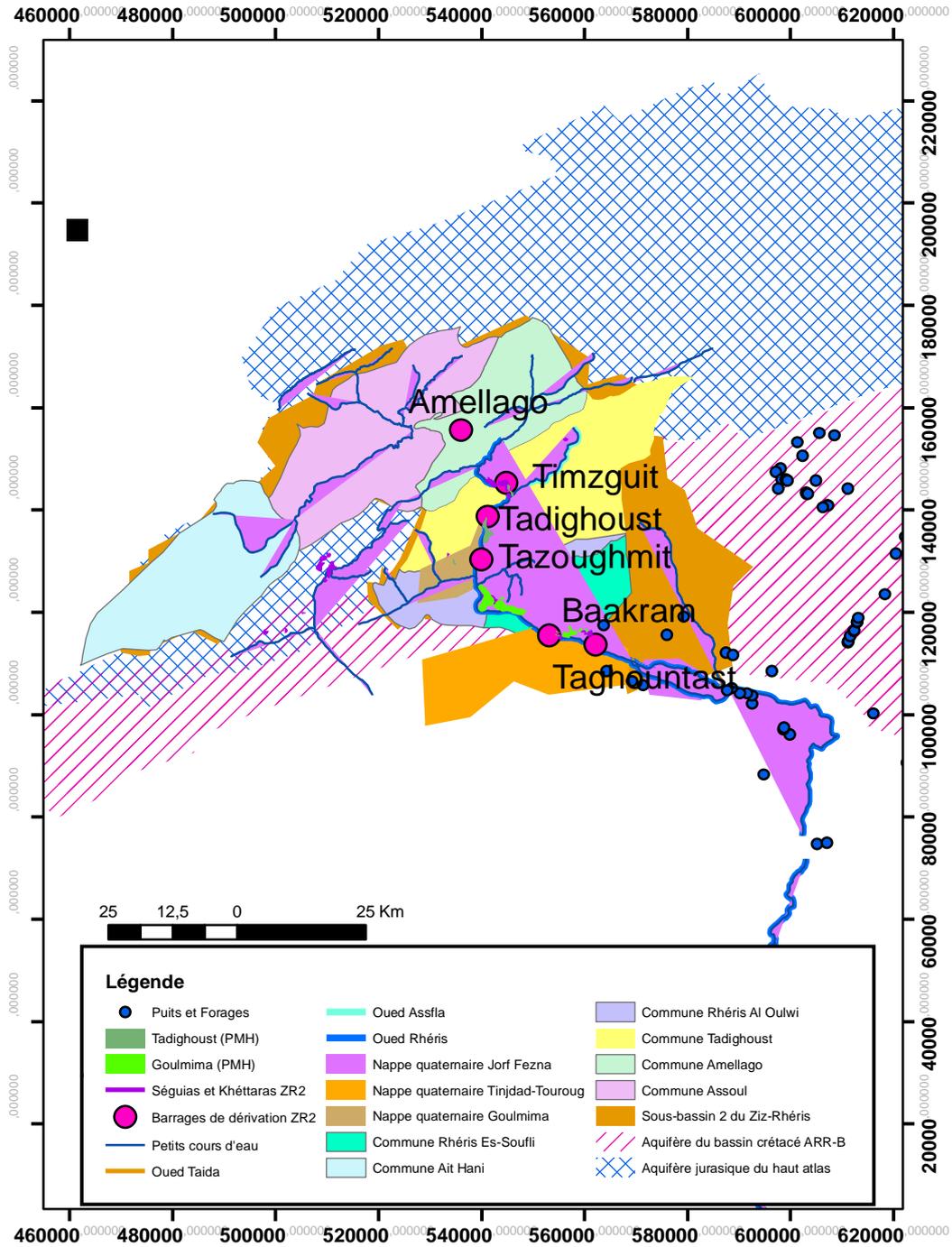
- **La Nappe du Sénonien** qui présente un artésianisme entre Bouânane et Boudnib, exploitée par puits et forages;
- **La Nappe des Calcaires Turoniens** qui donne naissance aux sources de Tifounassine, Meski et Tarda.
- **Nappe de l'Infracénomanien** (Ain El Ati) : localement artésienne, elle est drainée 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.

2.3 Les périmètres irrigués

Les périmètres irrigués qui se situent dans le ZR2 sont des périmètres de petite et moyenne hydraulique et sont en nombre de deux : Le périmètre de Tadighoust au milieu et le périmètre Goulmima vers le Sud du sous- bassin.

Pour l'irrigation des périmètres du ZR2 il existe des **Séguias** : (Timzguit Asfla, Timzguit, Ayt Brahim, Tahamdout, Amsed, Cighnis, Taltfraout, Bahbout, Mezlaghat), et des **Khéttaras** (Haj Thami, Hassania, El Makhzen, Bouhadaouia, Lafouina).

Carte des ressources en eau du sous- bassin ZR2 du Ziz-Rhéris



Carte 12 : ressources en eau du sous-bassin ZR2

3. Le sous-bassin ZR3 :

Le sous-bassin ZR3 est situé en grande partie dans la province d'Errachidia, seul le haut Todgha, en amont de Tinjdad, fait partie de la province d'Ouarzazate, il contient 12 communes rurales à savoir : Mellab, Ferkla El Oouilia, Ferkla Essoufla, Aghbalou N'kérédous, Ouaklime, Imider, Ikniouine, Ait Fersi, Taghzout N'ait Atta, Toudgha Oulia, Toudgha Essoufla, et Tinghir

3.1 Ressources superficielles :

Par le ZR3 passent l'Oued Akkrouz dont les apports sont mobilisés par le barrage Akkrouz et d'autres petits cours d'eaux saisonniers mobilisés par les barrages de dérivation suivants : barrage Gardmit, barrage Tamazirt, barrage Tairza, barrage Ras-Sdaf, barrage Sat, barrage Mohammed V, barrage Tighfert, barrage Lahcini, et barrage Chtam.

Il y a 3 barrages projetés dans cette zone : Le barrage Timkit, Anou'nzim, et le barrage Taghoucht pour l'exploitation de l'excédent des crues.

3.2 Ressources souterraines :

3.2.1 Nappes phréatiques :

La nappe de Todgha-Tinghir est située au pied du Haut Atlas. Sa superficie est d'environ 80 km². Les superficies irriguées des palmeraies qui en dépendent sont de l'ordre de 2440 ha. L'écoulement s'effectue généralement du NW vers le SE avec un gradient hydraulique variable. L'alimentation est assurée principalement par :

- Les précipitations directes
- Les apports issus des eaux superficielles issues des sources
- La réinfiltration des eaux d'irrigation

La nappe avait enregistré une baisse de niveau piézométrique de 20 m environ entre 1980 et 1996 en particulier dans sa partie amont. En effet, une mesure, la seule concernant la nappe de Todgha-Tinghir, de la campagne piézométrique de juin 2006 permet de mettre en avant l'exploitation intense de cette nappe (Puits situé sur la localité d'Ait Ijjou). Les prélèvements semblent, en effet, en hausse considérable depuis 10 ans, et une surveillance piézométrique plus poussée s'impose afin de contrôler le niveau piézométrique et éviter l'apparition ou l'accentuation de problèmes de qualité de l'eau.

L'exploitation est représentée essentiellement par les khattaras qui ont diminué de 27 à 2 seulement qui sont encore productives.

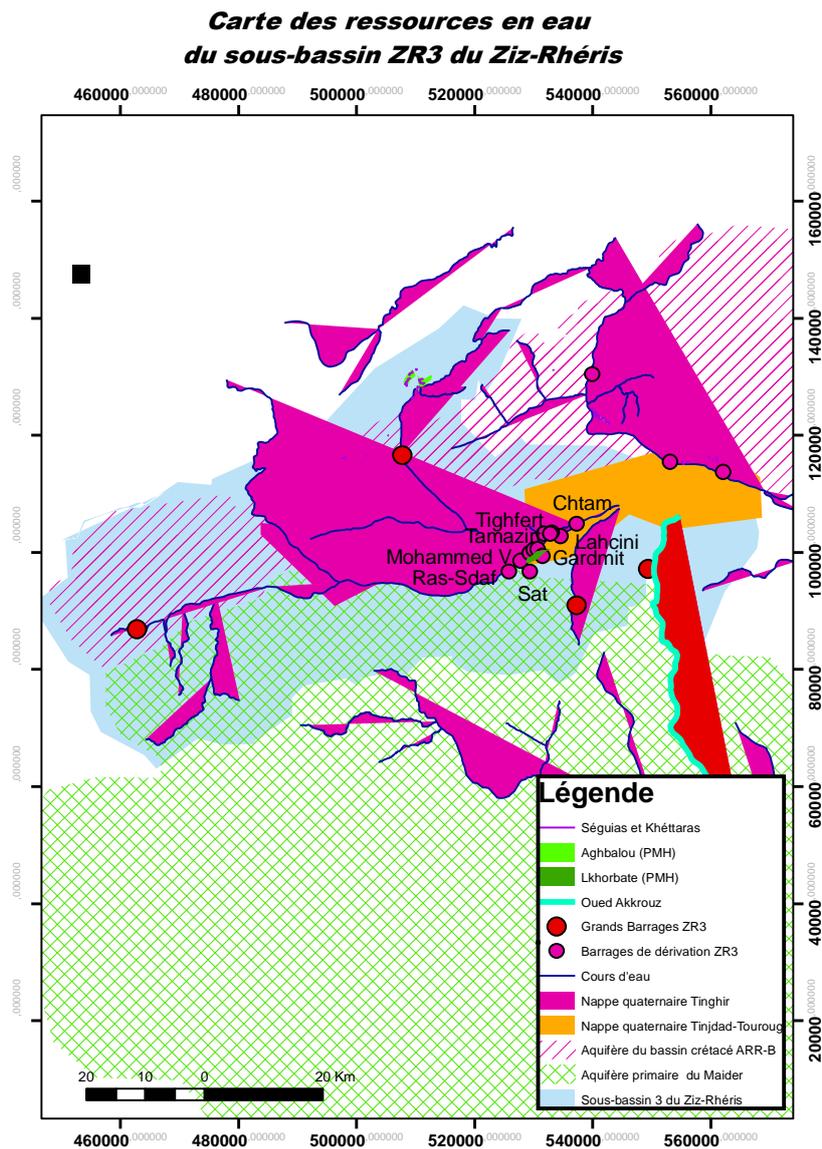
3.2.2 Nappes profondes :

Pour les nappes profondes il y a l'**aquifère jurassique profond du Haut atlas** qui s'étale sous toute la partie nord du sous-bassin étudié, l'**aquifère du bassin crétacé Errachidia-Boudnib** au milieu, et l'**aquifère du Maider** vers le sud du sous-bassin.

3.3 Les périmètres irrigués

Les périmètres irrigués qui se situent dans ZR3 sont des périmètres de petite et moyenne hydraulique et sont en nombre de deux : Le périmètre d'Aghbalou dans la partie nord et le périmètre Lkhorbate vers le sud-est du sous-bassin.

Pour l'irrigation des périmètres du sous bassin ZR3, il existe des **Séguias** (Oulili, Assamer, Tiwerwid, Ijial, Tighdouine, et Isoumir), et des **Khéttaras** (Igouguit, Taourirt, et Tourtit).



4. Le sous-bassin ZR4 :

Le sous-bassin ZR4 est situé dans la province d'Errachidia. Seul , il contient 8 communes rurales à savoir : Lkheng, Mdaghra, Aoufous, Errteb, Aarab Sebah Ziz, Rissani, Bni M'hamed Sijilmassi, Essifa

4.1 Ressources superficielles : L'Oued Ziz et l'oued Aoufous

L'Oued Ziz s'étale sur une bonne partie du sous-bassin, ses apports sont mobilisés par le barrage Hassan Addakhil, mis en service en 1971, ce barrage a une capacité de 380 Mm³, une hauteur de 85 m, il assure l'irrigation des périmètres de GH et la protection des oasis et de la vallée de Ziz contre les crues.

Vers le sud du sous bassin ZR4, les apports de l'Oueds Ziz sont mobilisés par des barrages de dérivation dont on cite : Barrage Ouled Zohra, barrage Sifa, barrage Lghourfa, barrage Rçif, barrage Malik, barrage Ouanguagua, barrage Safsaf, barrage Slaoua, et Barrage Irara.

4.2 Ressources souterraines :

4.2.1 Nappes phréatiques

La nappe quaternaire du bassin intermédiaire du Ziz s'étend sur une superficie d'environ 115 km². Son étendue débute depuis le Nord d'Errachidia jusqu'en aval d'Aoufous longeant l'oued Ziz. Ses eaux circulent principalement sous le lit majeur de l'oued. Les palmeraies les plus importantes qui en dépendent sont celles de Mdaghra et Rteb.

Le faciès réservoir est formé d'alluvions d'épaisseurs et de natures différentes entraînant des variations de caractéristiques hydrodynamiques selon les secteurs. La profondeur de la nappe varie de 7m à 25m. Le résidu sec des eaux de l'aquifère varie de 0.8g/l à 2.5g/l.

Les épaisseurs se répartissent selon les secteurs comme suit :

- ✓ Entre 10m et 40m dans le secteur du Kheng
- ✓ Un maximum de 12m le secteur du Mdaghra
- ✓ Entre 5m et 16m dans le secteur du Rteb

Les transmissivités varient entre $3 \cdot 10^{-3}$ et $9.5 \cdot 10^{-2}$ m²/s. Les bonnes transmissivités sont enregistrées dans la zone de l'Kheng ($2 \cdot 10^{-2}$ à $9.5 \cdot 10^{-2}$ m²/s). Les coefficients d'emmagasinement sont faibles de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-4} . La perméabilité est d'environ 10^{-3} m/s dans l'Kheng et dans la zone de confluence de l'oued Ziz avec l'oued Aoufous. Elle est de l'ordre de 10^{-4} m/s dans le Mdaghra et le Bas Rteb L'alimentation est assurée principalement par :

- ✓ Les précipitations directes
- ✓ Les apports issus des aquifères sous-jacents (Jurassique et Crétacé)
- ✓ Lâchés du barrage Hassan Addakhil
- ✓ La réinfiltration des eaux d'irrigation

Nappe phréatique quaternaire de Tafilalet : Le système de vallées et des plaines alluviales réunies sous le terme du bassin quaternaire du Tafilalet ne constitue pas un bassin hydrogéologique simple et homogène, mais plutôt un ensemble d'unités assez indépendantes les unes des autres du point de vue hydrogéologique.

La nappe du Tafilalet est parmi les principales nappes alluviales.

Il s'agit d'une entité singulière dans le bassin en raison de sa situation géographique pour être le point de convergence privilégié des eaux de surface des bassins du Ziz et du Rhéris-Todgha et le lieu d'aboutissement des eaux souterraines de l'amont. Deux unités hydrogéologiques se distinguent :

- L'unité de Tizimi au Nord qui appartient au système du Ziz
- L'unité de Tafilalet au sens strict au Sud qui est une véritable zone de confluence des systèmes de nappes du Ziz et du Rhéris.

Dans la couverture quaternaire du Tizimi, le principal niveau aquifère est constitué par des conglomérats comportant quelques niveaux lenticulaires d'alluvions graveleuses.

Dans le Tafilalet SS, deux niveaux aquifères très constants sont superposés :

- A la base, des conglomérats et des calcaires lacustres, incluant quelques niveaux graveleux ;
- Au sommet, des sables, cailloutis et galets, recouverts de limons

Dans le Tafilalet SS, les perméabilités diminuent de l'amont vers l'aval. La perméabilité moyenne est d'environ 1.10^{-3} m/s. Dans le détail ce paramètre varie en fonction de l'hétérogénéité lithologique de la couverture quaternaire et surtout des alluvions. La transmissivité moyenne varie de 1 à 2.10^{-3} m²/s.

La profondeur de l'eau est généralement faible; elle oscille entre 5 et 30 m par rapport à la surface du sol :

- ✓ Elle varie de 5 à 13 m au Tizimi ;
- ✓ Elle se situe entre 8 et 10 m au Sud de Tizimi ;
- ✓ Elle s'accroît d'Est en Ouest de 5 à 15 m, sur la rive droite du Rhéris ;
- ✓ Au Tafilalet SS, la profondeur de la nappe varie entre 4 et 18 m ;
- ✓ La profondeur décroît régulièrement du cœur de la palmeraie du Tafilalet vers la périphérie ;
- ✓ Une zone de profondeurs maximales de plus de 15 m longe la rive droite du Ziz ;
- ✓ En période de recharge maximale de la nappe, les profondeurs varient entre 1m et 14m.

La puissance de l'aquifère varie entre 1 et 19 m au Tafilalet SS et décroît très sensiblement du Nord au Sud ou vers la périphérie.

Au Sud, elle est généralement inférieure à 10 m. Au Tizimi, la puissance aquifère est comprise, en période d'étiage, entre 5 et 15 m et décroît vers l'Ouest et le NW en raison de la faible profondeur du substratum.

L'alimentation de la nappe est assurée principalement par :

- ✓ Les épandages des eaux de crues ;
- ✓ L'infiltration directe des précipitations ;
- ✓ La réinfiltration des eaux d'irrigation ;
- ✓ L'infiltration des sources d'émergence ;
- ✓ Lâchés du barrage Hassan Addakhil.

Les sorties se traduisent essentiellement par :

- ✓ les sources d'émergence ;
- ✓ Les khetaras, les puits traditionnels et les stations de pompage ;
- ✓ L'évapotranspiration.

Le faciès chimique des eaux de la nappe présente une certaine homogénéité. Il est généralement de type chloruré-sodique ou bicarbonaté-calcique.

Le problème de qualité connu dans le Tafilalet est celui lié au résidu sec. Au Tizimi, l'eau de la nappe est fortement minéralisée et sa concentration est comprise entre 3 et 5 g/l dans les périmètres irrigués de la palmeraie mais augmente vers les limites Nord et Sud (jusqu'à 10 g/l).

Le long du Ziz, on rencontre des eaux plus douces de la région (1 à 3 g/l), liées à l'apport du sous-écoulement et à l'infiltration des eaux de crue moins concentrées. Les valeurs élevées de la salinité au NW s'expliquent par des apports d'eaux très salées (5 à 15 g/l de résidu sec), originaires de l'Infracénomien et circulant dans des dépôts quaternaires.

Un autre problème de qualité connu et tout aussi important est celui des fortes teneurs en fer dissous des eaux souterraines lié aux apports issus des réservoirs paléozoïques notamment l'ordovicien.

4.2.2 Nappes profondes :

Pour le sous-bassin ZR4 on trouve **l'aquifère jurassique profond du Haut atlas** qui s'étale sous toute la partie nord du sous-bassin étudié, **l'aquifère du bassin crétacé Errachidia-Boudnib** occupe tout le reste du sous-bassin

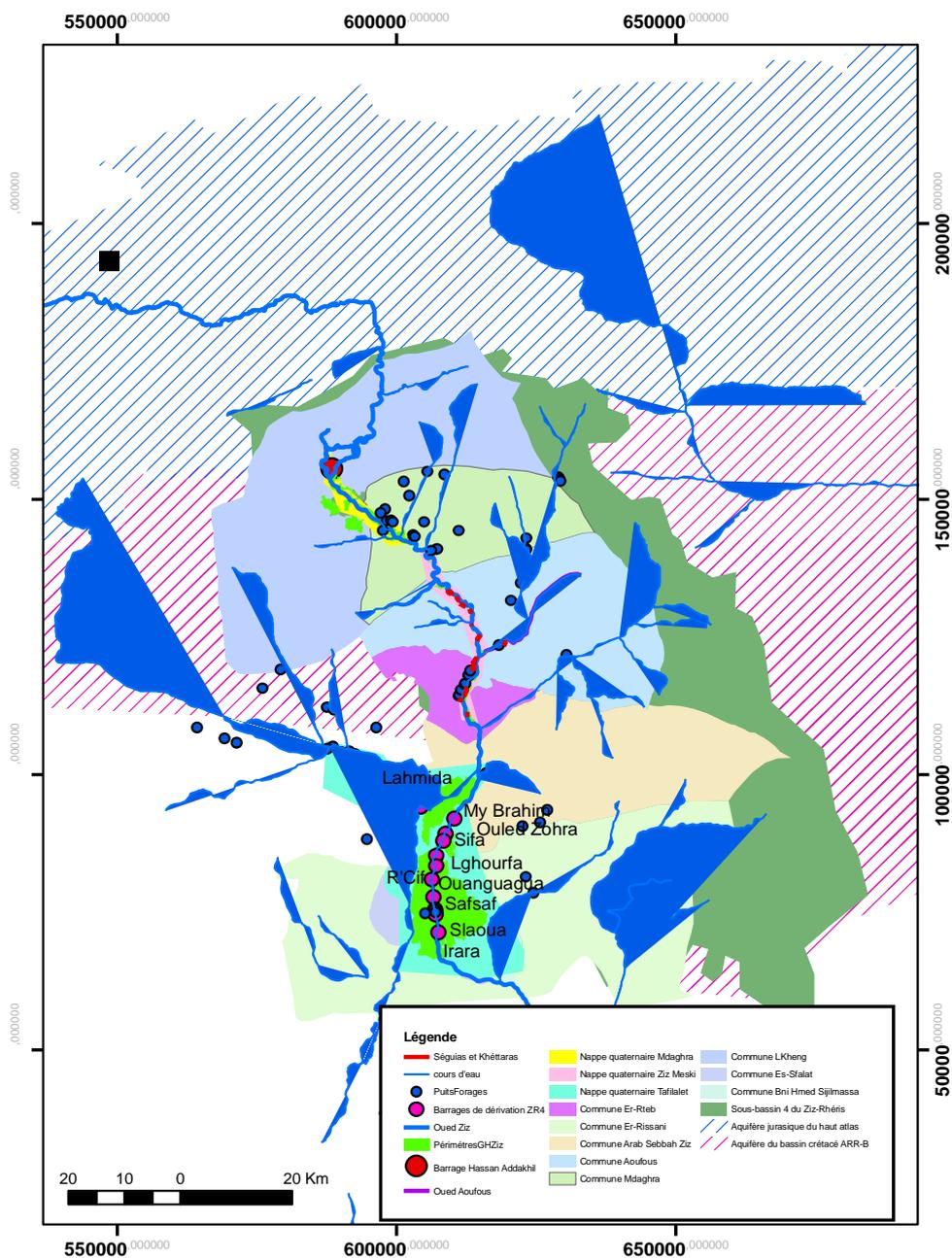
4.3 Les périmètres irrigués

Les périmètres irrigués situés dans le ZR4 sont des périmètres de grande hydraulique :

- ✓ Périmètre de la vallée de Ziz ;
- ✓ Périmètre de recasement ;
- ✓ Périmètre de la plaine de Tafilalet.

Pour l'irrigation de ces périmètres, L'ORMVAT a installé un réseau d'irrigation moderne qui passe par tous les secteurs irrigués (voir annexes), il existe aussi des **Séguias** (Zawiat Amelkis, Jramna, Chakria, Ksar Jdid, Takhiamt, Ouled Amira, Zaouiat Aoufous, Zrigat, Rbit, Maarkia, Btatha, Zawia Jdida, Douira, et Nadoria), et des **Khéttaras** (El Bouria, Ramlia, Laaguilia, et Iakdima).

**carte des ressources en eau
du sous-bassin ZR4 du Ziz-Rhéris**



Carte 14 : ressources en eau du sous-bassin ZR4

5. Le sous-bassin ZR5 :

Le sous-bassin ZR5 est situé dans la province d'Errachidia. Il contient 3 communes rurales à savoir : Esseflet, Aarab Sabah Ghéris, et Fezna

5.1 Ressources superficielles :

Par le ZR5 passe l'Oued Rhéris dont les apports sont mobilisés par les barrages de dérivation suivants : barrage Sidi Majbar, barrage El Gara, barrage Lahmida, barrage My Brahim, et barrage Maktaa Sfa,

5.2 Ressources souterraines :

Dans ce sous-bassin, on rencontre la nappe phréatique quaternaire de Jorf-Fezna au nord et la nappe de Tafilalet au milieu et au sud.

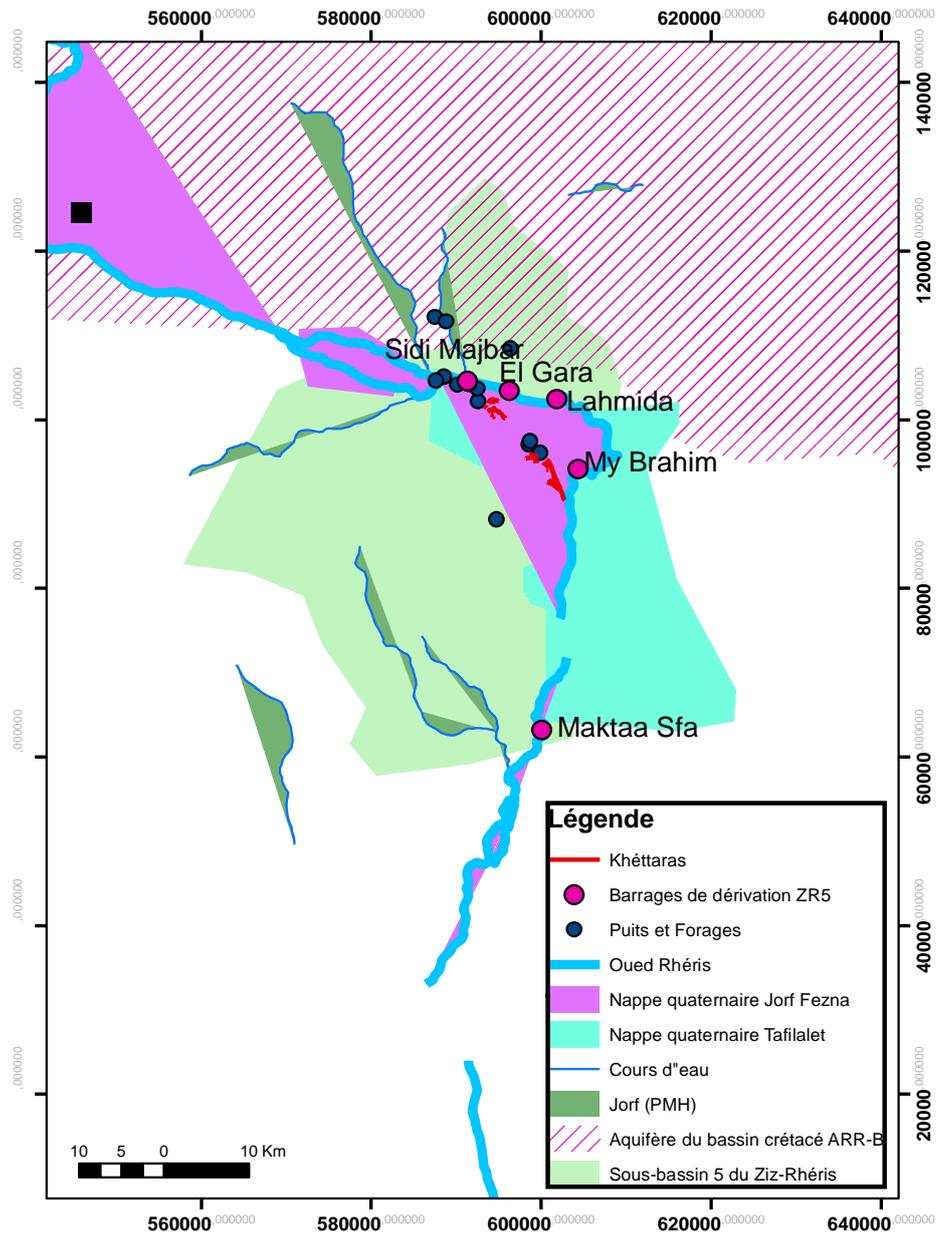
Pour les nappes profondes il y a que l'**aquifère du bassin crétacé Errachidia-Boudnib** qui s'étale sous la partie nord du sous-bassin.

5.3 Périmètres irrigués :

Le périmètre de **Jorf** est le seul périmètre irrigué dans le sous-bassin 5, c'est un périmètre de PMH, il se situe da la partie Est du sous- bassin.

Pour l'irrigation de ce périmètre il y a plusieurs **Khéttaras** (Lyhoudia, Hnabou El qdima, Hnabou eL Ousstania, Lakdima Lkayer, Albouya Jdida, Albouya Lakdima, Souihla, EL Qdima, El Kbira, et Bouchabia.)

**Carte des ressources en eau
du sous-bassin ZR5 du Ziz-Rhéris**



Carte 15 : ressources en eau du sous-bassin ZR5

6. Le sous-bassin ZR6 :

Le sous-bassin ZR6 est situé dans la province d'Errachidia. Il contient une seule commune rurale à savoir : la CR de Taous

6.1 Ressources superficielles :

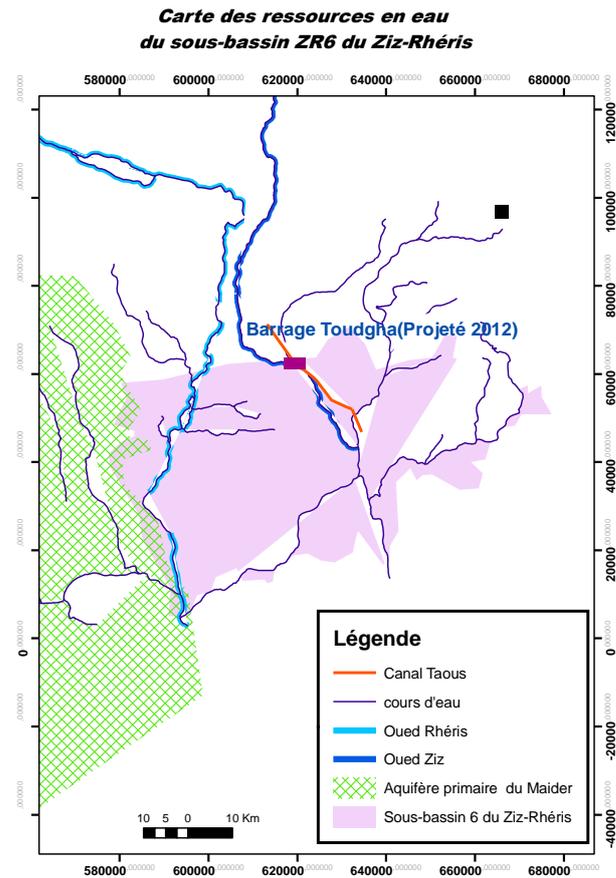
Par le ZR6 passent l'Oued Ziz, et l'Oued Rhéris dont les apports seront mobilisés par le barrage Toudgha qui sera met en service l'année prochaine (2012).

6.2 Ressources souterraines :

Cette zone ne dispose pas de nappe phréatiques, pour les nappes profondes il y a que **l'aquifère du Mair** qui s'étale sous la partie Ouest du sous-bassin.

6.3 Périmètre irrigués

Il n'y a pas de périmètres irrigués dans cette zone. On trouve que quelque palmeraie irriguée par le canal « Taous » installé par l'ORMVAT pour couvrir la demande en eau agricole de la zone.



Carte 16 : ressources en eau du sous-bassin ZR6

Conclusion :

La détermination des ressources en eau disponibles dans chacun des sous-bassins du Ziz-Rhéris, va nous permettre par la suite de connaitre les ressources utilisées pour l'irrigation des périmètres de GH et de PMH appartenant aux sous-bassins.

Chapitre VIII : Diagnostic de ressources utilisées pour l'irrigation des périmètres de GH du Ziz-Rhéris

Les périmètres de la grande hydraulique sont localisés dans la zone d'action de l'ORMVA du Tafilalt. Ils sont dominés par le barrage H.Eddakhil, leur superficie est de 27.900 ha, elle est répartie comme suit :

- la plaine du Tafilalet : d'une superficie de 22.400 Ha
- la vallée du Ziz : d'une superficie de 4.500 Ha
- Périmètre de recasement : d'une superficie de 1.000 Ha

1. Périmètre « Vallée de Ziz » :

Les deux cartes ci-dessous montrent que le périmètre de la vallée du Ziz est constitué de deux périmètres amont et aval.

Chacun des périmètres contient des secteurs irrigués « rive droite » et « rive gauche », alimentés par des canaux trapézoïdaux à partir du barrage Hassan Addakhil.

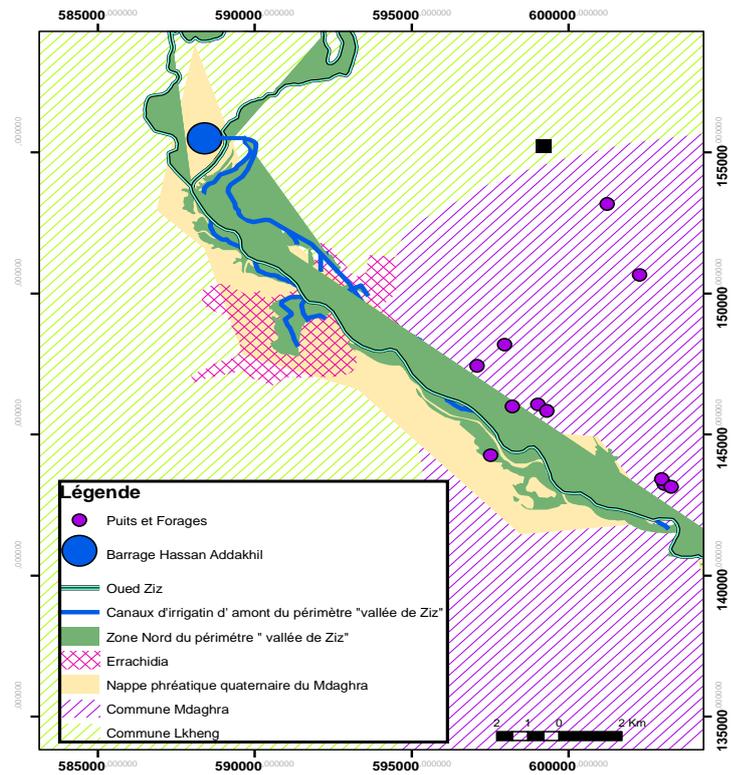
Dans la zone amont du périmètre, les canaux d'irrigation porte les noms suivants : « rive gauche1 » pour l'irrigation de la rive gauche de l'Oued Ziz, et « rive droite1 » pour assurer l'irrigation de la rive droite.

Pour la zone aval du périmètre, les canaux d'irrigation sont : « Rive gauche 2 », « Rive gauche 3 », « Rive gauche 4 », et « Rive gauche 5 » pour l'irrigation de la rive gauche, et « Rive droite 2 », « Rive droite 3 », « Rive droite 4 », et « Rive droite 5 » pour l'irrigation de la rive droite.

Dans le périmètre aval on assiste à une superposition des deux réseaux d'irrigation ; traditionnel et moderne ; surtout dans la zone d'Aoufous. Le réseau traditionnel est constitué des plusieurs séguias : Zawiat Amelkis, Jramna, Chakria, Ksar Jdid, Takhiamt, Ouled Amira, Zaouiat Aoufous, Zrigat, Rbit, Maarkia, Btatha, Zawia Jdida, et Douira.

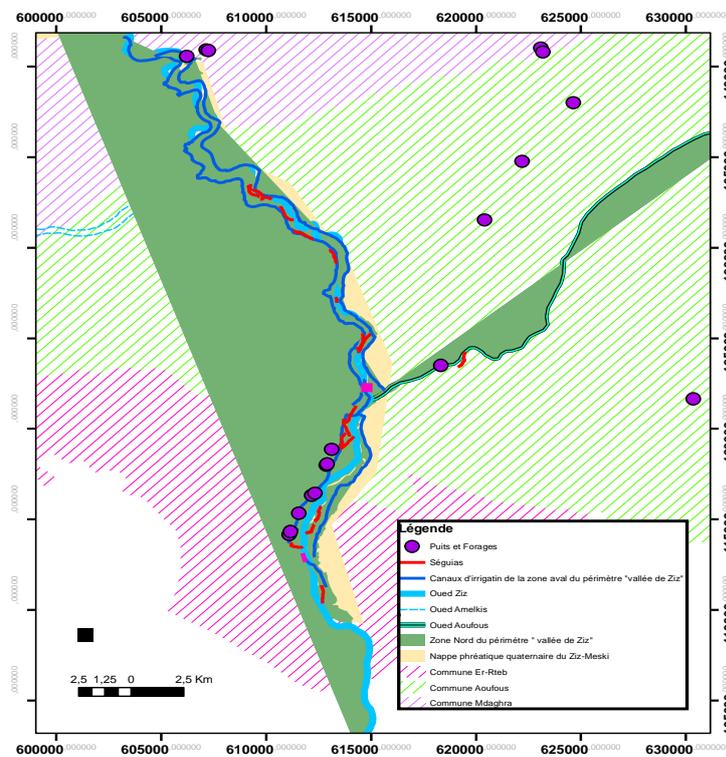
L'irrigation des palmeraies de Mdaghra et Rteb dépend fortement du pompage de la nappe phréatique du bassin intermédiaire du Ziz.

Carte des ressources d'irrigation de la zone amont du périmètre "vallée de Ziz" de GH



Carte 17 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation du périmètre vallée de Ziz amont

Carte des ressources d'irrigation de la zone aval du périmètre "vallée de Ziz" de GH



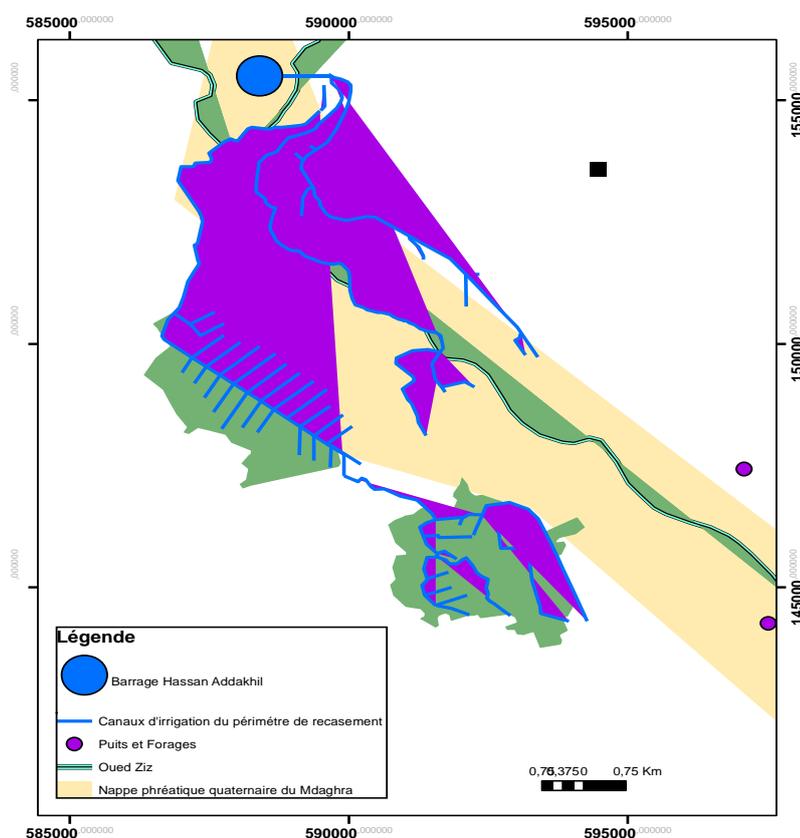
Carte 18 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation du périmètre vallée de Ziz aval

2. Le périmètre de recasement

Le périmètre de recasement est irrigué à partir du barrage Hassan Addakhil par un canal principal bétonné de section trapézoïdale. Le débit nominal du canal est de 840 l/s.

Le périmètre de recasement est découpé en 2 secteurs, le secteur A et le secteur B. Le réseau d'irrigation à l'intérieur des secteurs est constitué de canaux portés secondaires et tertiaires.

**Carte des ressources d'irrigation
du périmètre de recasement de GH**



Carte 19 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation du périmètre de recasement

3. Le périmètre « plaine du Tafilalet » :

La plaine du Tafilalet est alimentée par des lâchers d'eaux du barrage Hassan Addakhil dans l'oued Ziz et dérivées par le barrage El Borouj. Cette plaine est irriguée aussi par la déviation des eaux de crues du Rhéris par des digues et barrages de dérivation tels que les barrages L'hamada et My Brahim.

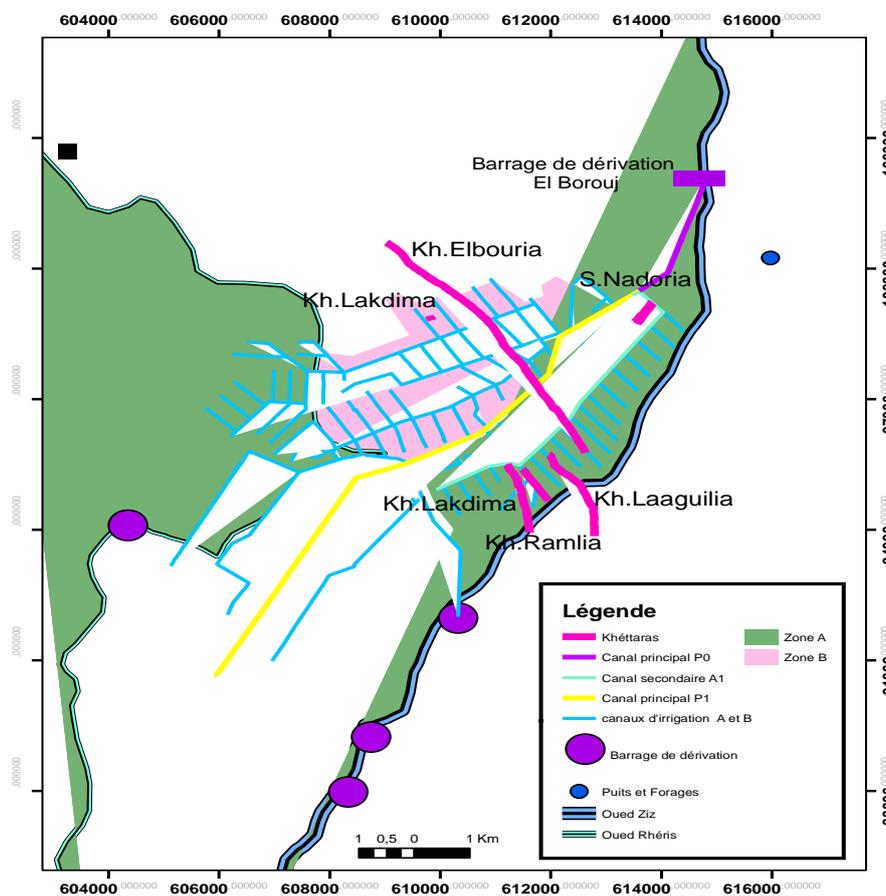
L'irrigation dans la plaine est organisée par secteurs nommés par lettres (A, B, C.....V), ces secteurs sont alimentés par des canaux trapézoïdaux qui couvrent toute la plaine.

Pour l'irrigation des deux secteurs A et B le canal principal P0 achemine l'eau du barrage El Borouj, l'eau passe au canal principal P1, puis aux canaux secondaires A1, A2 dans le secteur A et aux canaux secondaires B1, B2, et B3 dans le secteur B.

Dans ces secteurs on assiste une seconde fois à la superposition du réseau d'irrigation moderne avec le réseau traditionnel constitué de plusieurs Khéttaras (El Bouria, Ramlia, Laaguilia, et lakdima ...) qui exploite la nappe quaternaire de Tafilalet.

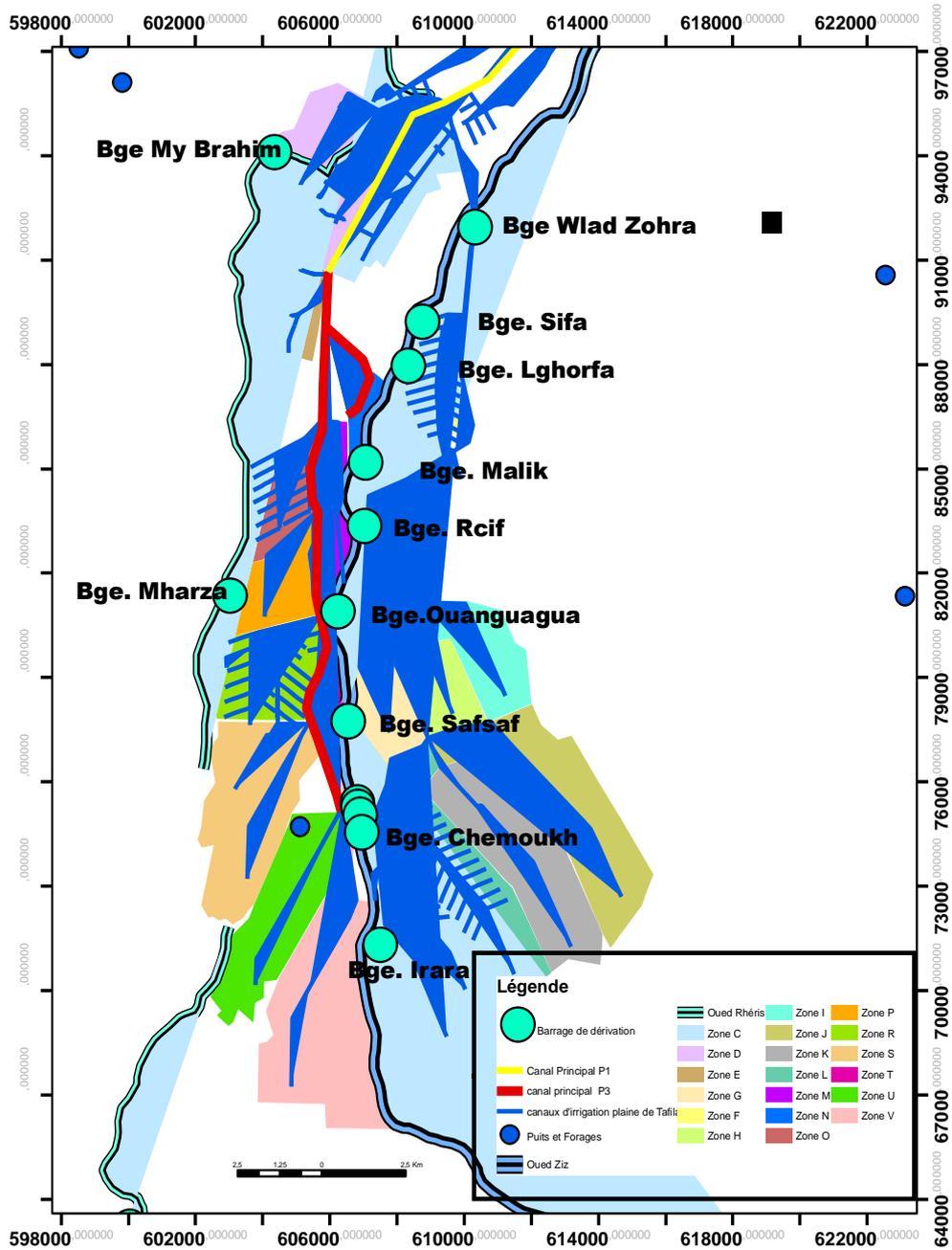
Pour l'irrigation du reste de la plaine de Tafilalet, on ne trouve que le système d'irrigation moderne. L'eau est mobilisée par plusieurs barrages de dérivation installés sur les deux oueds Ziz et Rhéris.

Carte des ressources d'irrigation des zones A, et B du Tafilalet



Carte 20 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation des secteurs A et B du périmètre plaine de Tafilalet

Carte des ressources d'irrigation des zones de C à V du Tafilalet



Carte 21 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation du périmètre plaine de Tafilalet

Chapitre IX : Diagnostic de ressources utilisées pour l'irrigation et établissement du bilan ressources en eau-Besoins en eau des périmètres de PMH du Ziz-Rhéris

Les périmètres de la petite et moyenne hydraulique sont localisés dans les zones d'actions des 2 ORMVA du Tafilalt et d'Ouarzazate. La superficie totale de ces périmètres est de l'ordre de 45.482 ha répartie sur 415 périmètres, 346 périmètres dans la zone de l'ORMVA du Tafilalt et 69 périmètres dans la zone d'action de l'ORMVA d'Ouarzazate.

Ces périmètres sont irrigués soit par les eaux de surfaces (eaux pérennes et de crues) ou des eaux souterraines. Pour les eaux de surfaces, l'irrigation se fait par des ouvrages de dérivation sur les oueds, retenues collinaires ou bassin d'accumulation. Quant aux eaux souterraines, leur mobilisation se fait par les Khetaras et les stations de pompes. On trouve aussi des exploitations privées irriguées par des stations de pompes individuelles.

L'irrigation dans ces périmètres de PMH se fait selon les droits d'eau coutumiers et elle est gérée soit par des AUEA ou des Jmaa, soit par des personnes élues pour cette tâche, surtout au niveau des Khéttaras. Les eaux de crue dérivées par des barrages obéissent à la loi du droit de l'amont sur l'aval.

Dans la zone d'action de l'ORMVA du Tafilalt, la mobilisation des eaux de surfaces se fait par plus de 250 ouvrages de dérivation. Les ouvrages les plus importants sont les barrages de transfert d'eau complémentaire du Rhéris au Ziz tel que le barrage El Borouj, barrage Tadighoust.... Pour ce qui est des eaux souterraines, on compte plus de 75 stations de pompes collectives, 6500 puits privés et plus de 300 Khéttaras.

Le diagnostic des infrastructures d'irrigation de ces périmètres montre que la plus part des ouvrages sont dans un état détérioré et ne jouent pas leurs rôles convenablement, ce qui engendre des pertes d'eau importantes.

Les interventions de l'administration dans ces périmètres par la réhabilitation, le bétonnage, la construction des ouvrages de prises, de captage d'eau, le re-profilage et la construction des khetaras, permettent l'amélioration de la mobilisation de l'eau et de l'efficacité des réseaux d'irrigation.

Ces actions de réhabilitation permettent de mieux valoriser le mètre cube d'eau et permettent l'amélioration de la production et une meilleure gestion de la ressource en eau.

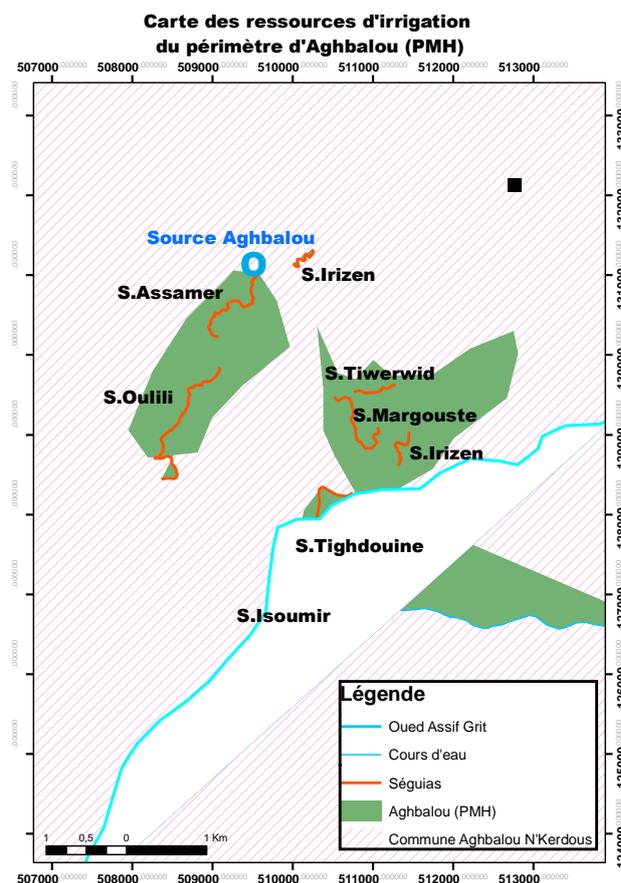
L'importance des réseaux d'irrigation et la diversification des ouvrages nécessitent encore beaucoup plus de moyens pour aboutir aux objectifs fixés.

En parallèle à ces périmètres de PMH, on trouve aussi des exploitations irriguées sur des terrains collectifs cédés aux investisseurs privés dans le cadre du programme de partenariat,

la superficie exploitée actuellement est de l'ordre de 1800 ha. La mise en valeur de ces exploitations est basée essentiellement sur l'adoption des systèmes d'irrigation économe.

Dans ce chapitre et grâce aux cartes SIG établies, on va déterminer les ressources utilisés pour l'irrigation des périmètres de PMH qui se situent dans le bassin Ziz-Rhéris, puis on va établir un bilan ressources en eau-besoins en eau pour chacun des périmètres suivant :

- Aghbalou ;
- Arfoud ;
- Jorf ;
- Lkhorbate ;
- Goulmima ;
- Rich ;
- Guers Tillaline ;
- Tadighoust ;
- Aoufous .



Carte 22 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation du périmètre Aghbalou

1. Aghbalou

1.1 Situation géographique :

Le périmètre d'Aghbalou est situé à 90 km à l'ouest de la ville de Goulmima. Il est situé à une altitude de 1840 m. Il est limité au nord par Amellagou, au sud par Tinghir, à l'Ouest par Ait Hani et à l'est par Goulmima.

Il est composé de deux sous périmètres, à savoir, la zone de la source du même nom, située au niveau du village et la zone de Tawdaat plus à l'Est, à environ 2km. Trois khetaras font également partie du périmètre, elles sont situées plus au Sud Ouest à environ 17km de la partie Nord du périmètre.

Le périmètre est accessible à partir de la RN10 reliant Errachidia à Ouarzazate en quittant la route nationale à hauteur de Tinjdad et en empruntant une route récemment revêtue suivant la direction Nord ouest sur environ 30km, puis la direction Nord sur environ 20km.

Il est situé sur le territoire d'une seule commune rurale, celle d'Aghbalou qui regroupe trois machiakhats : Ait Yahya, Igoudman et Ifegh. Il relève du Cercle de Goulmima, province d'Errachidia.

1.2 Ressources d'irrigation du périmètre :

Le sous périmètre de l'Ain est irrigué exclusivement à partir des eaux de la source d'Aghbalou, dont le débit moyen mensuel observé varie de 48 L/s observé en juillet 1988 et 400 L/s observé en Février 1990.

Les séguias qui acheminent l'eau de la source vers les exploitations sont Assamer et Oulili.

Le sous périmètre de Taoudaât est irrigué à partir des eaux de l'oued Assif Grit et du reliquat des eaux de la source.

Les séguias qui alimentent ce sous périmètre sont : Tiwerwid, Ijjal, Tighdouine, et Isoumir

Les eaux souterraines sont mobilisées par les Khéttaras Tourtite, Igourguit et Taourirte ainsi que par des pompages individuels.

Tableau 9 : Superficie dominée par les khetaras du périmètre d'Aghbalou

Khettara	prise	Superficie dominée
Kettara Igourguit	Eaux souterraines	25 ha
Khettara Taourirte	Eaux souterraines	28 ha
Khettara Tourtite	Eaux souterraines	7 ha

Source : ABH du GRZ

1.3 Evaluation des apports :

1.3.1 Apports de la source Aghbalou :

La source d'Aghbalou Amont est située aux coordonnées X=507 400 et Y=130 500, elle porte l'identification IRE 52/47. Cette source est alimentée à partir d'une formation jurassique avec un débit moyen de 123L/s.

Les données disponibles auprès de l'Agence du Bassin Hydraulique de Guir, Rhéris, Ziz concernant les mesures de débit de la source sont exploitables sur la période de 86/87 à 93/94. L'analyse de ces données montre que le débit moyen mensuel de la source varie de 48L/s, observé en juillet 1988 à 400L/s, observé en février 1990. La variation mensuelle est pratiquement constante d'une année à l'autre, le maximum se situant pendant le mois de janvier ou février et commence à régresser pour atteindre son minimum au mois d'août, ensuite le débit commence à progresser pour atteindre son maximum en janvier. Le tableau suivant récapitule les apports de la source Aghbalou :

Tableau 10: Apports mensuels année moyenne, sèche et humide de la source Aghbalou (Mm3)

Année	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
Moyenne	0,323	0,363	0,329	0,375	0,435	0,379	0,409	0,403	0,334	0,359	0,352	0,330	4,388
Humide	0,446	0,463	0,419	0,409	0,413	0,383	0,422	0,427	0,383	0,456	0,448	0,445	5,114
Sèche	0,158	0,196	0,145	0,161	0,224	0,218	0,191	0,184	0,214	0,215	0,227	0,212	2,344

Source : ABH du GRZ

1.3.2 Apports du bassin versant de l'Assif Grit

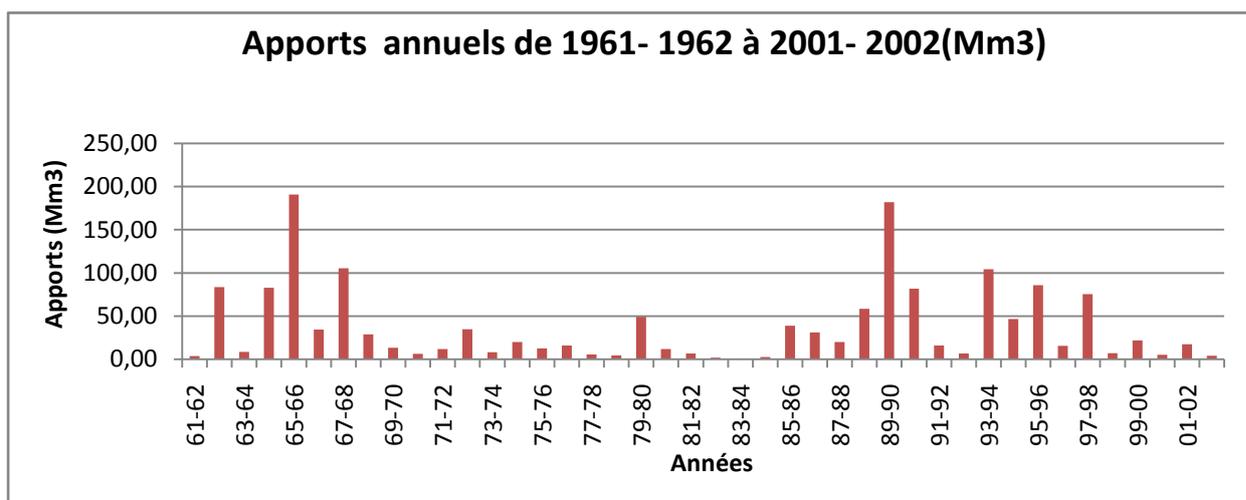
Les données utilisées pour l'évaluation des apports sont celles de la station Tadighouste fournis par l'Agence du Bassin Hydraulique (ABH) :

- série de débits mensuels : 1961-62 à 2002-03
- série de débits instantanés : 1961 à 1998

Variations mensuelle et interannuelle

L'analyse des données recueillies au niveau de la station Tadighouste montre une forte irrégularité interannuelle : Le module moyen annuel est de 1,18m³/s, avec un minimum de 0,03 m³/s observé en 1983/1984 et un maximum de 6,06 m³/s observé en 1965/1966.

Le débit moyen mensuel varie entre 0.41 m³/s observé en juillet et 2.66 m³/s observé en novembre. La période de faible écoulement se situe entre juillet et septembre et pendant le mois de janvier. On constate donc que l'oued Rhéris, au niveau de Tadighouste maintient un écoulement pendant toute l'année, ceci s'explique par la présence de sources et résurgences dont les plus importantes sont les sources d'Amsed et de Moui, dont la première se situe à l'amont de la station.



Source : ABH du GRZ

1.3.3 Apports au niveau de la station de Tadighouste

Les apports au niveau de la station Tadighouste ont été estimés à partir des observations sur une période de 40 années : 1962 à 2002.

L'apport moyen annuel est de 37,7 Mm3, avec un minimum de 0,88Mm3 observé en 1983/1984 et un maximum de 191Mm3, observé en 1965/1966.

Les valeurs observées ont fait l'objet d'une analyse fréquentielle. Ces valeurs ont été classées par ordre croissant et la fréquence empirique a été déterminée. Sur la base de cette fréquence, les apports pour une année humide et une année sèche ont été déterminés.

Les apports estimés pour une année moyenne, une année sèche et une année humide sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Apports mensuels année moyenne, sèche et humide à la station de Tadighouste

Mm3	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	année
moyenne	2,534	6,162	6,885	3,625	2,033	2,774	2,443	2,541	3,354	2,139	1,095	1,563	37,148
année sèche	0,258	0,278	0,247	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,231	0,018	0,004	0,000	1,056
année humide	3,784	6,306	3,830	2,934	2,802	3,967	3,826	5,366	3,286	2,267	1,735	1,763	41,866

Source : ABH du GRZ

Les valeurs des apports en année moyenne des mois de novembre, décembre et mai sont supérieures à celles de l'année humide en raison de certaines valeurs observées largement supérieures aux autres valeurs de la série.

1.3.4 Apports de Assif Grit au niveau du périmètre Aghbalou

Aucune donnée n'est disponible sur les écoulements de l'Assif Grit, l'estimation des apports a été faite en se basant sur les apports du bassin versant limitrophe de Tadighoust.

Les apports ont donc été estimés sur la base des apports à la station de Tadighouste par application de l'apport spécifique au Km². En effet, les bassins versants sont situés à la même latitude et présentent des conditions similaires de topographie, de couvert végétal et de nature géologique. Ils sont par ailleurs situés à une distance d'environ 15 km l'un de l'autre.

L'application de cette méthode revient à multiplier les apports du bassin versant de Tadighouste par un coefficient de 0,06 représentant le rapport des superficies des deux bassins versants, pour obtenir les apports au niveau du périmètre.

Aucun prélèvement en cours de route n'est recensé, en tenant donc compte de ce qui précède, et en ajoutant les apports de la source Aghbalou, dont le débit moyen mensuel est de 139 l/s, les apports au droit du périmètre ont été estimés ; ils sont présentés ci-après.

Tableau 12 : Apports mensuels année moyenne, sèche et humide à Aghbalou N'Kerdous

Mm3	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	année
année humide	0,829	1,096	0,827	0,737	0,731	0,798	0,809	0,987	0,720	0,695	0,630	0,627	9,485
année moyenne	0,576	0,979	1,017	0,737	0,638	0,656	0,653	0,657	0,669	0,573	0,461	0,486	8,103
année sèche	0,184	0,215	0,170	0,155	0,223	0,194	0,178	0,175	0,224	0,203	0,203	0,199	2,323

Source : ABH du GRZ

1.3.5 Apports d'eau souterraines des khéttaras

Les ressources en eau souterraines sont exploitées par l'intermédiaire des 3 khéttaras, Igourguit, Taourirt et Tourtite, dominant une superficie de 60 ha. Ces apports dépendent étroitement du niveau de la nappe et de l'état des khéttaras. Les données disponibles ne permettent pas d'estimer raisonnablement ces apports. Par ailleurs, les khéttaras sont situées à 16 km du périmètre et forment un ensemble indépendant du système d'écoulement superficiel de l'Assif Grit et de la source Aghbalou. Le bilan se limitera aux apports de la source et ceux de l'Assif Grit.

1.4 Evaluation des besoins en eau

Les besoins en eau des cultures ont été calculés à partir de l'évapotranspiration maximale :

$$ETM = Kc \times ETo$$

Avec : *ETM* : Évapotranspiration maximale,

Kc : Coefficient cultural dépendant de la culture et de son stade de croissance,

ETo : Évapotranspiration de référence.

L'évapotranspiration est la lame d'eau liquide convertie en vapeur et perdue dans l'atmosphère par une surface de sol couverte de végétation. Plusieurs formules sont utilisées pour approcher l'évapotranspiration climatique. La plus utilisée au Maroc est la formule de Blannet-Cridde qui ne fait intervenir que la température et la pluviométrie (données météorologiques usuelles), contrairement à la formule de Penman-Monteith (FAO n°56) faisant appel à d'autres données climatiques, non disponibles dans la zone de l'étude.

La formule de Blannay-Criddle (présentée dans le bulletin de la FAO n°24) s'énonce comme suit : $ET_o = ((0.457 \times T) + 8.128) \times p \times K_t$

Avec :

- ET_o : Évapotranspiration de référence (mm/j)
- T : Température moyenne en °C,
- p : % du nombre moyen journalier d'heures d'éclairement par rapport au total annuel,
- K_t : Coefficient climatique dépendant de la température moyenne T (approchée par la formule suivante $K_t = 0.031 \times T + 0.24$).

Les valeurs de « p » correspondant à la zone de l'étude (latitude de 31°27') ont été interpolées à partir des valeurs présentées dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Valeurs de « p » pour des latitudes marocaines

Lat.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
20°	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.3	0.3	0.29	0.28	0.26	0.25	0.25
25°	0.24	0.26	0.27	0.29	0.3	0.31	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24
30°	0.24	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.31	0.3	0.28	0.26	0.24	0.23
35°	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.32	0.3	0.28	0.25	0.23	0.22
40°	0.22	0.24	0.27	0.3	0.32	0.34	0.33	0.31	0.28	0.25	0.22	0.21

Source: FAO Irrigation and Drainage Paper 24 (Doorenbos and Pruitt, 1977)

Les valeurs des coefficients culturaux K_c utilisés pour les différentes cultures sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau 14 : Valeurs des coefficients culturaux K_c

Culture	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
Blé dur			0.3	0.58	0.86	1.15	0.8	0.6	0.4			
Blé tendre			0.3	0.58	0.86	1.15	0.8	0.6	0.4			
Orge			0.3	0.58	0.86	1.15	0.8	0.6	0.4			
Maïs									0.6	0.8	0.9	0.8
Fève		0.5	0.8	0.9	1	0.9	0.7	0.6				
Petit pois		0.5	0.8	0.9	1	0.9	0.7	0.6				
Luzerne	1.15	0.91	0.74	0.57	0.4	0.56	0.72	0.88	1.04	1.2	1.18	1.16
Maraîchage d'hiver	0.7	0.9	1.05	0.95								
Maraîchage d'été							0.6	0.85	1.15	0.8		
Olivier	0.7	0.65	0.65	0.65	0.65	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Palmier dattier	0.94	0.93	0.92	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Amandier	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45	0.56	0.67	0.78	0.9	0.84	0.78	0.72
Autres Arbres.	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45	0.56	0.67	0.78	0.9	0.84	0.78	0.72

Pour l'olivier, un coefficient réducteur de 0,7 a été appliqué aux valeurs du coefficient Kc ci-dessus pour tenir compte de l'état des plantations et de la couverture végétale. Pour les cultures pratiquées sous étage, le coefficient cultural sera réduit de 20%.

L'évapotranspiration ainsi calculée est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Valeurs de l'évapotranspiration de référence (ETo mm) selon Blanney-Criddle

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuel
Température T (°C)	26,0	20,0	14,2	10,6	9,6	11,8	15,4	19,2	22,5	28,0	30,7	29,2	
Durée d'insolation (%)	8,34	7,93	7,11	7,06	7,21	6,97	8,37	8,75	9,62	9,59	9,77	9,28	
Coefficient Climatique (Kt)	1,05	0,86	0,68	0,57	0,54	0,61	0,72	0,84	0,94	1,11	1,19	1,14	
ETo (mm)	174,7	117,8	70,9	52,2	48,5	57,2	91,2	123,7	165,8	222,0	257,3	227,9	1609,1

Source : ABH du GRZ

Le besoin théorique net est égal à :

$$Bn = ETM - Pe \quad \text{si} \quad ETM > Pe$$

$$Bn = 0 \quad \text{si} \quad ETM < Pe$$

Avec : Pe : la pluie efficace;

Bn: le besoin net de la culture.

La pluie efficace retenue pour le calcul des besoins en eau correspond à 70% de la valeur de la pluie moyenne.

✓ **Occupation du sol**

Tableau 16 : Occupation du sol

Type de culture	Superficie en Ha		
	intercalaire	plein champ	total
Olivier seul			-
Olivier associé			131
Amandier	73		73
Autres arbo.	22		22
Blé dur	7	80	87
Blé tendre	9	100	109
Orge	6	64	70
Maïs	7	83	91
Fève	1	6	6
Petit pois	0,2	2	2,6

Luzerne	5	51	56
Maraîchage d'hiver	0,5	6	6,1
Maraîchage d'été	1	6	7
Jachère			53

Source : Diagnostic participatif 2009

Les efficiences retenues ont été appréciées pour chaque périmètre selon les critères suivants :

- la nature des sols du périmètre
- la nature et l'état des canaux existants
- l'état actuel de gestion et de fonctionnement des ouvrages. En effet, l'absence de vannettes pour la fermeture des prises au niveau des tronçons existants aménagés conduit les bénéficiaires à colmater les prises avec de la boue et de la terre. Des pertes importantes sont observées au niveau des prises sur les seguias existantes.
- Le manque d'entretien notamment le curage des tronçons envasés conduit à des pertes d'eau par débordement.

Pour le périmètre les efficiences retenues sont les suivantes :

- Efficience à la parcelle (irrigation gravitaire) : 58%
- Efficience de distribution : 61%

Les besoins en eau en tête du périmètre sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 17: Besoins en eau en tête du périmètre

Mois	Sep t	Oct .	No v.	Déc .	Jan .	Fév .	Mar s	Avr .	Mai	Jui n	Juil .	Ao ût	Ann uel
Besoins en eau d'Irrigation (m3)	862 175	459 613	236 369	270 744	341 730	501 004	838 307	1 012 496	1 466 175	1 655 371	1 942 138	1 598 744	11 184 866
Besoins en eau d'Irrigation (m3/ha)	1 649	879	452	518	653	958	1 603	1 936	2 803	3 165	3 713	3 057	21 386
Débit fictif continu (l/s/ha)	0,6 36	0,3 28	0,1 74	0,1 93	0,2 44	0,3 92	0,5 98	0,7 47	1,0 47	1,2 21	1,3 86	1,1 41	1,38 6

1.5 Etablissement du bilan ressources en eau - besoins en eau :

Le bilan a été réalisé pour une année moyenne, une année humide et une année sèche.

Les tableaux ci-après illustrent le bilan mensuel établi :

Tableau 18 : Bilan ressources en eau-Besoin en eau dans le périmètre d'Aghbalou

ressources (m3)	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Août
année humide	829 405	1 095 526	826 796	736 933	731 212	797 852	809 029	986 563	719 674	694 772	629 878	627 383
année moyenne	576 066	978 784	1 017 044	737 115	637 840	656 329	653 219	656 815	669 242	573 236	461 416	486 123
année sèche	183 889	215 313	169 896	155 347	222 843	193 536	178 381	174 649	223 968	202 902	202 916	199 273
besoins (m3)	862 175	459 613	236 369	270 744	341 730	501 004	838 307	1 012 496	1 466 175	1 655 371	1 942 138	1 598 744
B-R												
année humide	32 769	-635 913	-590 427	-466 189	-389 483	-296 848	29 278	25 933	746 501	960 600	1 312 259	971 361
Déficit (%)	4%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	3%	51%	58%	68%	61%
année moyenne	286 109	-519 171	-780 675	-466 371	-296 110	-155 325	185 087	355 682	796 933	1 082 135	1 480 722	1 112 621
Déficit (%)	33%	0%	0%	0%	0%	0%	22%	35%	54%	65%	76%	70%
année sèche	678 286	244 300	66 473	115 396	118 887	307 468	659 925	837 847	1 242 207	1 452 469	1 739 222	1 399 471
Déficit (%)	79%	53%	28%	43%	35%	61%	79%	83%	85%	88%	90%	88%

1.6 Conclusion

Le besoin annuel en eau d'irrigation s'élève à 11 Millions de m³, contre des apports de 8 en année moyenne. En année sèche l'apport n'est que de 2,3 Millions de m³, soit un déficit de 8,7Mm³/

L'examen du bilan mensuel montre un déficit de 35 à 68% en été pour une année moyenne. Le déficit en année sèche est plus important et il atteint jusqu'à 90% en été et s'étale pratiquement sur 9mois.

Le bilan montre que les besoins en eau ne sont pas couverts par les apports d'eaux superficielles de mai à août dans le cas d'une année moyenne. Le déficit pourrait être atténué si l'on fait recours au pompage.

Il est à signaler que le pompage n'est pas fréquent dans le périmètre et il serait intéressant d'encourager les exploitants à faire recours aux eaux souterraines..

2. Arfoud :

2.1 Situation géographique

Le périmètre d'Arfoud est situé au niveau de la ville du même nom, sur la route nationale RN 13, à 80 km au sud de la ville d'Errachidia.

Le périmètre est composé de 2 sous périmètres distincts :

- ✓ Le sous périmètre de la commune Arab Sabah Ziz, situé à 4 km à l'amont de la ville est composé de 2 seguias principales en rive droite de l'oued Ziz ;
- ✓ Le sous périmètre de la commune Sifa, à 12 km au sud de la ville d'Arfoud est composé de 5 khattaras en rive droite de l'oued Ghéris. Cette partie du périmètre est située à un endroit où les oueds Ziz et Ghéris se rapprochent à environ 3 km l'un de l'autre sans toutefois se rencontrer.

Le périmètre est accessible à partir de la RN13 entre Errachidia et Arfoud.

Le périmètre est situé sur le territoire de 2 communes rurales, Arab Sabah Ziz et Sifa et relève du Cercle d' Arfoud, province d'Errachidia.

2.2 Ressources d'irrigation du périmètre :

La superficie agricole utile du périmètre est d'environ **1 280** ha. Sa partie nord longe l'oued Ziz alors que la partie sud, se situe le long de l'oued Ghéris à plusieurs kilomètres du centre d'Arfoud.

La partie nord est irriguée à partir des eaux de l'oued Ziz et de ses affluents, des lâchés du barrage Hassan Addakhil par des séguias disposées le long de l'oued, et alimentées au moyen de seuils en dur. L'adduction et la distribution se font au moyen de séguias revêtues totalement ou partiellement ou en terre.

La partie sud est irriguée par des khattaras (El Bouria, Ramlia, Lyhoudia, Lakdima, Laaguilia) drainant la nappe phréatique du Tafilalt, en rive droite de l'oued Ghéris. Les eaux souterraines sont également mobilisées au moyen de pompes privés ou collectifs.

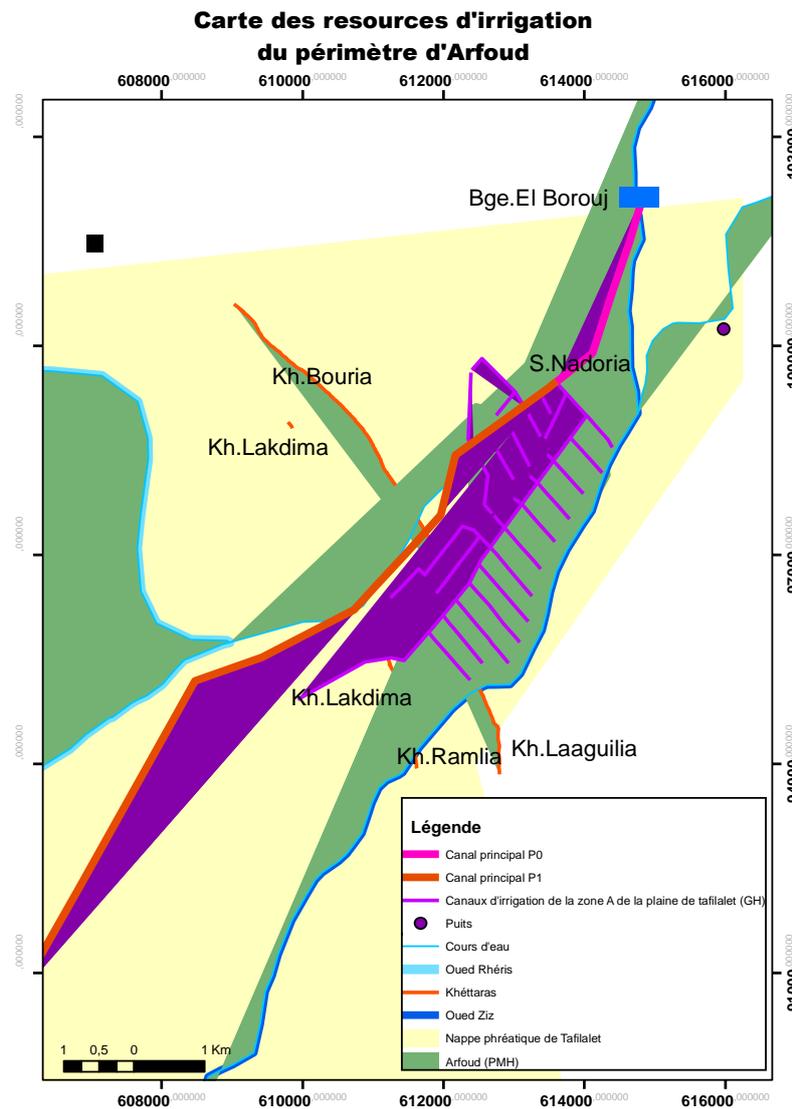
Tableau 19 : Longueurs des khattaras du périmètre Arfoud

Khattara	prise	Longueur Totale (ml)
Khéttara Lyhoudia	Nappe souterraine	4500
Khéttara Ramlia	Nappe souterraine	5080
Khéttara El Bouria	Nappe souterraine	6520

Khéttara Laaguilia	Nappe souterraine	7500
Khéttara Lakdima	Nappe souterraine	4500

La station hydrométrique du radier d'Erfoud est la plus proche du périmètre, elle est située à quelques kilomètres au nord du centre.

Dans ce périmètre on assiste à la superposition du réseau d'irrigation moderne avec le réseau traditionnel. (le périmètre d'arfoud fait partie du secteur A de la plaine de Tafilalet)



Carte 23 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation du périmètre Arfoud

2.3 Evaluation des apports

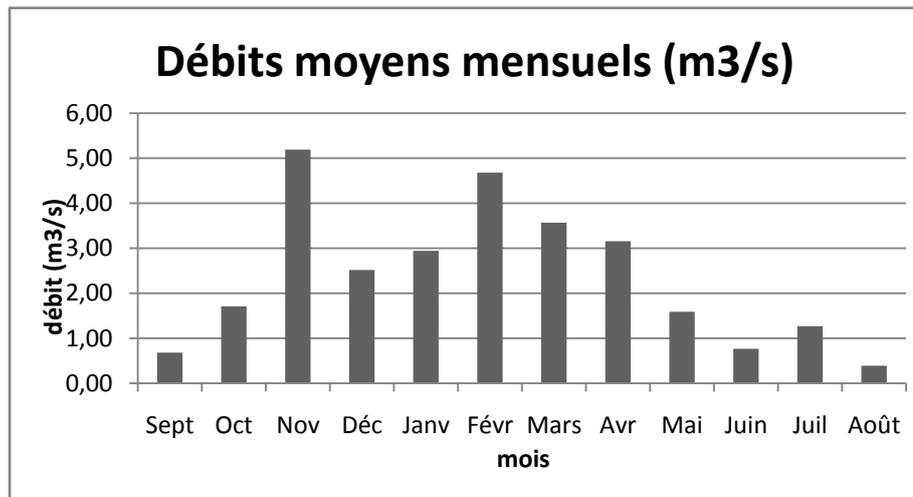
Les données utilisées pour l'évaluation des apports sont celles de la station du radier d'Erfoud fournies par l'Agence du Bassin Hydraulique (ABH) :

- série de débits mensuels : 1974-75 à 2002-03

Variations mensuelle et interannuelle

L'analyse des données recueillies au niveau de la station montre une irrégularité interannuelle : Le module moyen annuel total est de $2,37\text{m}^3/\text{s}$, avec un minimum de $0,13\text{ m}^3/\text{s}$ observé en 1983/1984 et un maximum de $7,25\text{ m}^3/\text{s}$ observé en 1987/1988.

Le débit moyen mensuel varie entre $0,39\text{ m}^3/\text{s}$ observé en août et $5,19\text{ m}^3/\text{s}$ observé en novembre. La période de faible écoulement se situe entre juin et septembre. On constate donc que l'oued Ziz, au niveau du radier d'Erfoud maintient un écoulement pendant toute l'année, ceci s'explique par la présence de la source Meski et les lâchés du barrage.



Source ABH GRZ

2.3.1 Apports au niveau du périmètre

La station est située à l'amont immédiat du périmètre, les apports du petit bassin versant intermédiaire (250 km^2) sont négligeables et l'on peut considérer, que les apports enregistrés au niveau de la station correspondent à ceux au niveau du périmètre.

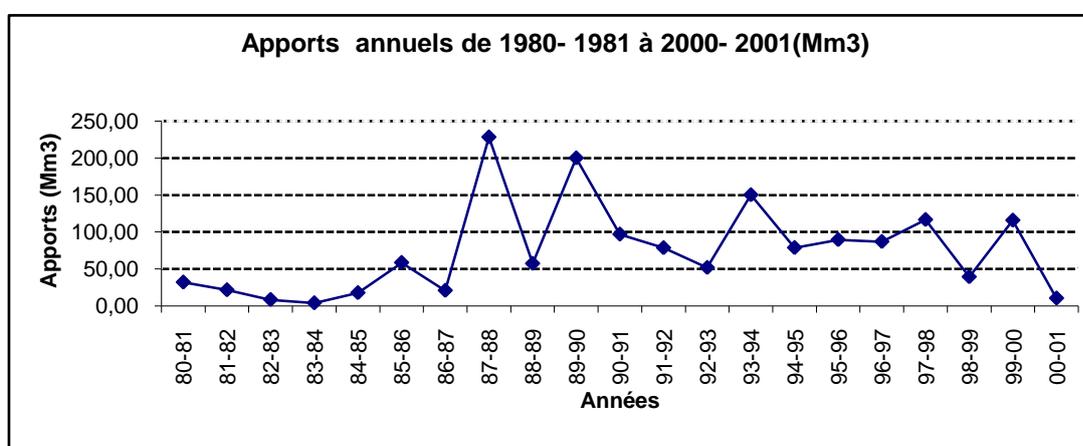
L'apport moyen annuel est de 74 Mm^3 , avec un minimum de $1,8\text{Mm}^3$ observé en 1980/1981 et un maximum de 429 Mm^3 , observé en 2000/2001.

Les apports estimés pour une année moyenne, une année sèche et une année humide sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 20 : Apports mensuels année moyenne, sèche et humide au périmètre Erfoud (Mm³)

Mm3	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	année
année humide	1,165	2,761	26,501	11,110	9,540	15,105	18,208	13,903	2,435	2,441	4,928	1,350	109,448
moyenne	1,764	4,570	13,447	6,744	7,883	11,321	9,548	8,173	4,260	1,980	3,399	1,048	74,138
année sèche	0,260	0,286	0,316	0,392	0,329	1,061	0,459	0,916	0,500	0,216	0,217	0,245	5,198

Source : ABH du GRZ



Source : ABH du GRZ

Les valeurs des apports en année moyenne des mois de septembre, octobre et mai sont supérieures à celles de l'année humide. Ceci s'explique par les lâchers du barrage Hassan Addakhil qui se font en année de déficit pluviométrique et qui biaisent les valeurs mesurées par la station hydrologique.

2.3.2 Apports d'eaux souterraines

Les ressources en eau souterraines sont exploitées par l'intermédiaire de puits individuels. Ces puits sont creusés au niveau des zones d'extension et aux endroits souffrant de manque d'eau en période sèche. Les puits existants au niveau du périmètre sont de l'ordre de 213 unités et pourraient assurer un volume mensuel de 405 000m³ (3L/s, 10h/jour, 22 jours par mois).

Les khetaras qui irriguent la partie sud du périmètre constituent un système hydraulique indépendant. Les données ne sont pas disponibles sur les khetaras et il n'est pas possible de pouvoir établir de bilan. Il a été cependant constaté que les débits prélevés sont faibles et que les priorités des propositions d'aménagement formulées par les agriculteurs consistent en le prolongement des galeries drainantes pour essayer d'atteindre la nappe et améliorer le débit des khetaras.

2.4 Evaluation des besoins en eau

Les besoins en eau des cultures ont été calculés à partir de l'évapotranspiration maximale :

$$ETM = Kc \times ETo$$

Avec : ETM : Évapotranspiration maximale,

Kc : Coefficient cultural dépendant de la culture et de son stade de croissance,

ETo : Évapotranspiration de référence.

L'évapotranspiration est la lame d'eau liquide convertie en vapeur et perdue dans l'atmosphère par une surface de sol couverte de végétation. Plusieurs formules sont utilisées pour approcher l'évapotranspiration climatique. La plus utilisée au Maroc est la formule de Blaney-Criddle qui ne fait intervenir que la température et la pluviométrie (données météorologiques usuelles), contrairement à la formule de Penman-Monteith (FAO n°56) faisant appel à d'autres données climatiques, non disponibles dans la zone de l'étude.

La formule de Blaney-Criddle (présentée dans le bulletin de la FAO n°24) s'énonce comme suit :

$$ETo = ((0.457 \times T) + 8.128) \times p \times Kt$$

Avec : ETo : Évapotranspiration de référence (mm/j)

T : Température moyenne en °C,

p : % du nombre moyen journalier d'heures d'éclairement par rapport au total annuel,

Kt : Coefficient climatique dépendant de la température moyenne T (approchée par la formule suivante $Kt = 0.031 \times T + 0.24$)

Les valeurs de « p » correspondant à la zone de l'étude ont été interpolées à partir des valeurs présentées dans le tableau suivant.

Tableau 21 : Valeurs de p pour des latitudes marocaines

Lat.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
20°	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.3	0.3	0.29	0.28	0.26	0.25	0.25
25°	0.24	0.26	0.27	0.29	0.3	0.31	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24
30°	0.24	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.31	0.3	0.28	0.26	0.24	0.23
35°	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.32	0.3	0.28	0.25	0.23	0.22
40°	0.22	0.24	0.27	0.3	0.32	0.34	0.33	0.31	0.28	0.25	0.22	0.21

Source: FAO Irrigation and Drainage Paper 24 (Doorenbos and Pruitt, 1977)

Les valeurs des coefficients culturaux Kc utilisés pour les différentes cultures sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau 22 : Valeurs des coefficients culturaux Kc

Culture	Sept	Oct.	Nov	Déc.	Janv	Févr	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
Blé dur			0.3	0.58	0.86	1.15	0.8	0.6	0.4			
Blé tendre			0.3	0.58	0.86	1.15	0.8	0.6	0.4			
Orge			0.3	0.58	0.86	1.15	0.8	0.6	0.4			
Maïs									0.6	0.8	0.9	0.8
Fève		0.5	0.8	0.9	1	0.9	0.7	0.6				
Petit pois		0.5	0.8	0.9	1	0.9	0.7	0.6				
Luzerne	1.15	0.91	0.74	0.57	0.4	0.56	0.72	0.88	1.04	1.2	1.18	1.16
Maraîchage d'hiver	0.7	0.9	1.05	0.95								
Maraîchage d'été							0.6	0.85	1.15	0.8		
Olivier	0.7	0.65	0.65	0.65	0.65	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Palmier dattier	0.94	0.93	0.92	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Amandier	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45	0.56	0.67	0.78	0.9	0.84	0.78	0.72
Autres Arbres.	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45	0.56	0.67	0.78	0.9	0.84	0.78	0.72

Pour les cultures pratiquées sous étage, le coefficient cultural sera réduit de 20%.

Le tableau suivant présente les valeurs de l'évapotranspiration « ETo » calculée au niveau du périmètre :

Tableau 23: Valeurs de l'évapotranspiration de référence (ETo mm) selon Blanney-Criddle

Mois	Sept	Oct.	Nov	Dé	Jan	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuel
Température T (°C)	27,9	22,3	15,6	10,7	10,2	13,0	17,0	20,6	24,3	29,6	32,8	31,9	
Durée d'insolation (%)	8,34	7,95	7,13	7,08	7,23	6,99	8,38	8,74	9,59	9,57	9,74	9,26	
Coefficient Climatique (Kt)	1,11	0,93	0,72	0,57	0,55	0,64	0,77	0,88	0,99	1,16	1,26	1,23	
ETo (mm)	192,8	135,8	79,0	52,7	51,2	63,3	102,2	134,8	182,9	240,2	282,7	258,1	1775,7

Source : ABH du GRZ, 2009

Le besoin théorique net est égal à :

$$B_n = ETM - P_e \quad \text{si} \quad ETM > P_e$$

$$B_n = 0 \quad \text{si} \quad ETM < P_e$$

Avec : P_e : la pluie efficace;

B_n : le besoin net de la culture.

La pluie efficace retenue pour le calcul des besoins en eau correspond à 70% de la valeur de la pluie moyenne.

Occupation du sol

L'occupation du sol est présentée dans le tableau ci-après :

Tableau 24 : Assolement du périmètre

Type de culture	Superficie en Ha		
	intercalaire	plein champ	total
Palmier dattier associé			700,6
Olivier associé			139,1
Autres arbo.	25,0		25,0
Blé tendre	167,5	111,7	279,1
Orge	158,7	105,8	264,4
Fève	2,2	1,5	3,7
Petit pois	2,1	1,4	3,5
Luzerne	26,4	17,6	44,1
Maraîchage d'hiver	8,6	5,8	14,4
Maraîchage d'été	8,6	5,8	14,4
Jachère			190,5

Pour le périmètre d'Erfoud les efficacités retenues sont les suivantes :

- Efficacité à la parcelle (irrigation gravitaire) : 58%
- Efficacité de distribution : 58%

Ainsi, les besoins en eau en tête du périmètre sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 25 : Besoins en eau des cultures dans le périmètre d'Arfoud

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuel
Besoins en eau d'Irrigation (m3)	3 412 843	2 296 968	1 441 622	1 065 538	1 134 318	1 710 607	2 567 873	3 110 031	4 037 961	4 391 076	5 128 678	4 662 524	34 960 039
Besoins en eau d'Irrigation (m3/ha)	3 662	2 465	1 547	1 143	1 217	1 835	2 755	3 337	4 333	4 711	5 503	5 003	37 511
Débit fictif continu (l/s/ha)	1,413	0,920	0,597	0,427	0,454	0,752	1,029	1,287	1,618	1,818	2,055	1,868	2,055

2.5 Etablissement du bilan ressources en eau - besoins en eau

Le bilan a été réalisé pour une année moyenne, une année humide et une année sèche. La partie concernée par le bilan est la partie nord alimentée à partir des eaux de l'oued Ziz et dont la superficie est de 932ha.

La partie aval alimentée par des khattaras (dont les données sur les débits ne sont pas disponibles), de superficie 348 ha n'est pas concernée par le bilan.

Le tableau ci-après illustre le bilan mensuel établi :

Tableau 26 : Bilans Ressources –Besoins en eau dans le périmètre d'Arfoud

ressources (m3)	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
année humide	1 165 363	2 760 895	26 500 608	11 110 003	9 540 461	15 105 485	18 207 763	13 903 488	2 434 666	2 440 627	4 928 256	1 349 914
année moyenne	1 763 671	4 569 733	13 447 296	6 743 956	7 882 659	11 321 395	9 548 496	8 172 946	4 260 187	1 980 411	3 398 507	1 048 275
année sèche	260 237	286 053	316 224	391 582	328 908	1 061 061	459 078	916 013	500 325	216 173	217 486	245 341
besoins (m3)	3 412 843	2 296 968	1 441 622	1 065 538	1 134 318	1 710 607	2 567 873	3 110 031	4 037 961	4 391 076	5 128 678	4 662 524
B-R												
année humide	2 247 479	-463 926	-25 058 986	-10 044 465	-8 406 143	-13 394 878	-15 639 890	-10 793 457	1 603 295	1 950 448	200 422	3 312 610
Déficit (%)	66%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	40%	44%	4%	71%
année moyenne	1 649 172	-2 272 765	-12 005 674	-5 678 418	-6 748 341	-9 610 788	-6 980 623	-5 062 915	-222 226	2 410 664	1 730 171	3 614 249
Déficit (%)	48%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	55%	34%	78%
année sèche	3 152 606	2 010 915	1 125 398	673 956	805 410	649 546	2 108 795	2 194 018	3 537 636	4 174 903	4 911 192	4 417 183
Déficit (%)	92%	88%	78%	63%	71%	38%	82%	71%	88%	95%	96%	95%

2.6 Conclusion

En année sèche, il ressort un déficit important pendant toute l'année.

En année humide, le bilan annuel est excédentaire. Le déficit est observé à partir du mois de mai jusqu'à septembre. Ce déficit atteint 71% pendant le mois d'août.

Le déficit persiste toujours en année moyenne mais il est atténué de façon substantielle et seul le mois d'août accuse un déficit assez marqué de 75%.

Le bilan montre que le déficit apparaît pendant les mois d'août et septembre, en année moyenne et humide. Le recours au pompage pourrait contribuer largement à la réduction de ce déficit.

Les puits existants au niveau du périmètre sont au nombre de 213 unités et pourraient assurer un volume mensuel de 405 000m³ (3L/s, 10h/jour, 22 jours par mois). Cet apport pourrait combler une partie du déficit, mais il est certain que le déficit subsisterait toujours, d'où la nécessité d'encourager le creusement de puits pour irriguer les plantations en période de pénurie.

3. Jorf

3.1 Situation géographique

Le périmètre de Jorf est situé sur la route provinciale RP 3451, à 19 km au nord ouest de la ville d'Erfoud.

Le périmètre, situé en rive droite de l'oued Rhéris. Il est composé de 2 sous périmètres distincts : le sous périmètre de la commune Arab Sabah Rhéris, situé au sud est, à 9km du centre de Jorf et le sous périmètre de la commune urbaine de Jorf, situé à 4 km au nord immédiat du centre.

Cette partie du périmètre est située à un endroit où les oueds Ziz et Rhéris se rapprochent à environ 3 km l'un de l'autre sans toutefois se rencontrer.

Le périmètre est accessible à partir de la RN13 reliant Rissani à Meknès, en prenant la route provinciale RP 3451 à partir d'Erfoud ou à partir de la RN 10 reliant Errachidia à Ouarzazate en prenant la RP 3451 à partir de la ville de Tinjdad.

Le périmètre est situé sur le territoire de la commune rurale Arab Sabah Ghéris et la municipalité de Jorf, il relève du Cercle d' Erfoud, province d'Errachidia.

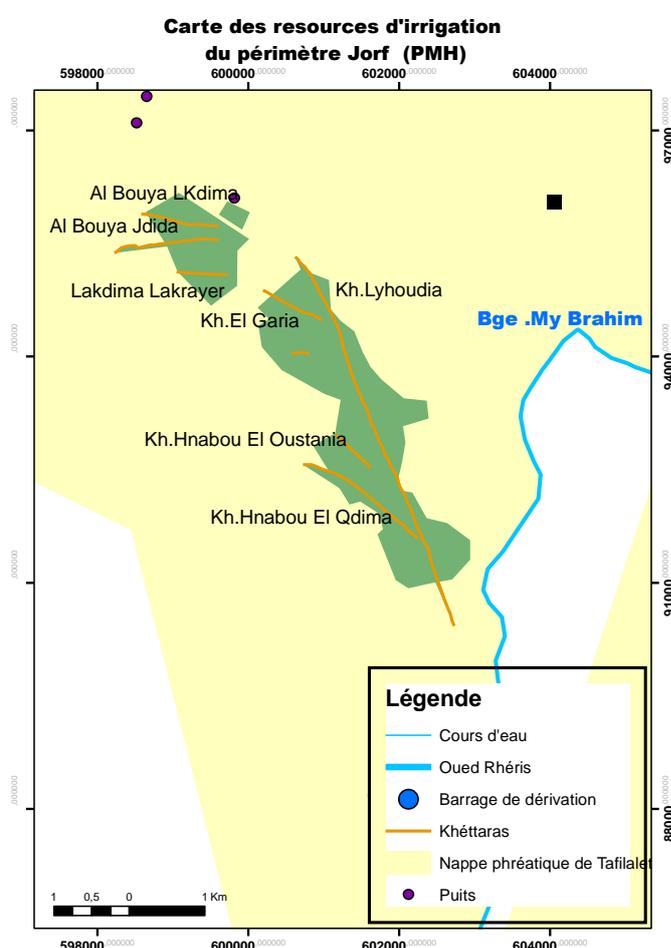
Le périmètre couvre une SAU de 920 ha, dont 310 ha pour la partie amont et 610 ha pour la partie aval.

3.2 Ressources d'irrigation du périmètre

Le périmètre de Jorf est irrigué à partir des eaux de la nappe phréatique mobilisées par une série de khéttaras El Bouchabia, Souihla, Lakbira1, Lakbira2, Brikiya, Hnabou Ouastania, Lakrayar, Al Bouya Jdida et Hnabou El Qdima.

Des pompages privés ou collectifs existent également et permettent d'apporter un complément aux eaux des khéttaras. On compte environ 165 puits au niveau du périmètre.

La séguia El Garia, avec une base de 3,00 m et une hauteur moyenne de 1,30 m prélève les eaux de crue de l'oued Rhéris



Carte 24 : ressources en eau utilisés pour l'irrigation du périmètre Jorf

3.3 Evaluation des apports

3.3.1 Apports d'eaux souterraines au niveau du périmètre

La situation des khéttaras connaît des fluctuations au gré des conditions hydrologiques qui sévissent dans les deux bassins versants de Ziz et Rhéris. En effet ce sont les eaux de crues de l'oued Rhéris qui contribuent en grande partie à l'alimentation de la nappe phréatique. La

plupart des khetaras ont tari entre 1999 et 2000. Avec l'amélioration des conditions hydrologiques dans la région, la nappe est remontée et les khetaras ont ressuscité.

Le tableau suivant présente une estimation des débits des khetaras sur la base des informations disponibles au niveau de l'ORMVA, notamment une étude effectuée dans le cadre de la coopération japonaise, ainsi que des estimations effectuées lors de l'étape de diagnostic en mars 2009 :

Tableau 27 : Estimation des débits des khetaras

Khéttaras	Débit (L/s)	
	2003	2009
khettara lakdima Lakrayar	14,0	75,0
khettara l'Ousstania Hannabou	17,0	45,0
Khettara lakdima Hannabou	12,0	45,0
khettara Bouya jdida	20,0	37,5
khettara Bouya qdima	19,0	37,5
khettara Lakbira	0,0	107,3
khettara Bouchabia	0,0	99,0
khettara Brikia	0,0	75,0
khettara Souihla	2,3	63,0
Total débit (L/s)	84,3	584,3
Total volume mensuel (m3)	218 506	1 514 376

Le volume mensuel moyen prélevé par les khéttaras s'élève donc à 868 000m³, soit un volume annuel de 10Mm³.

La seguia El Garia, avec une base de 3,00 m et une hauteur moyenne de 1,30 m prélève les eaux de crue de l'oued Rhéris, on estime que cette seguia prélève pendant chaque crue un volume de 84000m³ par crue (pour une vitesse de 0,50m/s à pleine section pendant 12heurs). Les crues ont lieu en général pendant les mois de septembre, novembre, décembre, janvier, mars et juin.

3.4 Evaluation des besoins en eau

Les besoins en eau des cultures ont été calculés à partir de l'évapotranspiration maximale :

$$ETM = Kc \times ETo$$

Avec : *ETM* : Évapotranspiration maximale,

Kc : Coefficient cultural dépendant de la culture et de son stade de croissance,

ETo : Évapotranspiration de référence.

L'évapotranspiration est la lame d'eau liquide convertie en vapeur et perdue dans l'atmosphère par une surface de sol couverte de végétation. Plusieurs formules sont utilisées pour approcher l'évapotranspiration climatique. La plus utilisée au Maroc est la formule de Blanney-Criddle qui ne fait intervenir que la température et la pluviométrie (données météorologiques usuelles), contrairement à la formule de Penman-Monteith (FAO n°56) faisant appel à d'autres données climatiques, non disponibles dans la zone de l'étude.

La formule de Blanney-Criddle (présentée dans le bulletin de la FAO n°24) s'énonce comme suit :

$$ET_o = ((0.457 \times T) + 8.128) \times p \times K_t$$

Avec : ET_o : Évapotranspiration de référence (mm/j)

T : Température moyenne en °C,

p : % du nombre moyen journalier d'heures d'éclairement par rapport au total annuel,

K_t : Coefficient climatique dépendant de la température moyenne T (approchée par la formule suivante $K_t = 0.031 \times T + 0.24$)

Les valeurs de p correspondant à la zone de l'étude ont été interpolées à partir des valeurs présentées dans le tableau suivant.

Tableau 28 : Valeurs de p pour des latitudes marocaines

Lat.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
20°	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.3	0.3	0.29	0.28	0.26	0.25	0.25
25°	0.24	0.26	0.27	0.29	0.3	0.31	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24
30°	0.24	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.31	0.3	0.28	0.26	0.24	0.23
35°	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.32	0.3	0.28	0.25	0.23	0.22
40°	0.22	0.24	0.27	0.3	0.32	0.34	0.33	0.31	0.28	0.25	0.22	0.21

Source: FAO Irrigation and Drainage Paper 24 (Doorenbos and Pruitt, 1977)

Les valeurs des coefficients culturaux K_c utilisés pour les différentes cultures sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau 29 : Valeurs des coefficients culturaux Kc

Culture	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
Blé dur			0.3	0.58	0.86	1.15	0.8	0.6	0.4			
Blé tendre			0.3	0.58	0.86	1.15	0.8	0.6	0.4			
Orge			0.3	0.58	0.86	1.15	0.8	0.6	0.4			
Maïs									0.6	0.8	0.9	0.8
Fève		0.5	0.8	0.9	1	0.9	0.7	0.6				
Petit pois		0.5	0.8	0.9	1	0.9	0.7	0.6				
Luzerne	1.15	0.91	0.74	0.57	0.4	0.56	0.72	0.88	1.04	1.2	1.18	1.16
Maraîchage d'hiver	0.7	0.9	1.05	0.95								
Maraîchage d'été							0.6	0.85	1.15	0.8		
Olivier	0.7	0.65	0.65	0.65	0.65	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Palmier dattier	0.94	0.93	0.92	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Amandier	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45	0.56	0.67	0.78	0.9	0.84	0.78	0.72
Autres Arbres.	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45	0.56	0.67	0.78	0.9	0.84	0.78	0.72

Pour les cultures pratiquées sous étag, le coefficient cultural sera réduit de 20%.

L'évapotranspiration calculée pour le périmètre est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 30 : Valeurs de l'évapotranspiration de référence (ETo mm) selon Blaney-Criddle (Jorf)

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuel
Température T (°C)	27,9	22,3	15,6	10,7	10,2	13,0	17,0	20,6	24,3	29,6	32,8	31,9	
Durée d'insolation (%)	8,34	7,95	7,13	7,08	7,23	6,99	8,38	8,74	9,60	9,57	9,75	9,27	
Coefficient Climatique (Kt)	1,11	0,93	0,72	0,57	0,55	0,64	0,77	0,88	0,99	1,16	1,26	1,23	
ETo (mm)	192,8	135,7	79,0	52,7	51,2	63,3	102,2	134,8	182,9	240,2	282,8	258,2	1775,8

Source : ABH du GRZ, 2009

Le besoin théorique net est égal à :

$$B_n = ETM - P_e \quad \text{si} \quad ETM > P_e$$

$$B_n = 0 \quad \text{si} \quad ETM < P_e$$

Avec : P_e : la pluie efficace;
 B_n : le besoin net de la culture

La pluie efficace retenue pour le calcul des besoins en eau correspond à 70% de la valeur de la pluie moyenne.

Occupation du sol

L'occupation du sol a été établie selon le plan de mise en valeur agricole. Des simulations ont été effectuées en fonction de la disponibilité des ressources en eau en amont du périmètre. L'occupation du sol avant et avec projet est présentée dans le tableau ci-après.

Type de culture	Superficie en Ha		
	intercalaire	plein champ	total
Palmier dattier seul			83,5
Palmier dattier associé			255,8
Olivier seul			32,6
Olivier associé			76,0
Amandier	15,2		15,2
Autres arbo.	45,1		45,1
Blé dur	-	-	-
Blé tendre	186,2	130,0	316,2
Orge	20,5	14,3	34,7
Fève	0,5	0,3	0,8
Petit pois	0,3	0,2	0,5
<i>Luzerne</i>	54,2	37,8	92,0
Maraîchage d'hiver	4,8	3,4	8,2
Maraîchage d'été	4,8	3,4	8,2
Jachère			282,6

Pour le périmètre, les efficacités retenues sont les suivantes :

- Efficacité à la parcelle (irrigation gravitaire) : 58%
- Efficacité de distribution : 56%

Ainsi, les besoins en eau en tête du périmètre sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 31 : Besoin en eau des cultures pour le périmètre de Jorf

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
Besoins en eau d'Irrigation (m3)	3 081 347	2 001 165	1 232 559	900 015	945 951	1 478 330	2 247 877	2 760 621	3 664 217	4 030 531	4 686 328	4 233 727
Besoins en eau d'Irrigation (m3/ha)	3 349	2 175	1 340	978	1 028	1 607	2 443	3 001	3 983	4 381	5 094	4 602
Débit fictif continu (l/s/ha)	1,292	0,812	0,517	0,365	0,384	0,658	0,912	1,158	1,487	1,690	1,902	1,718

3.5 Etablissement du bilan ressources en eau - besoins en eau :

Le tableau ci-après illustre le bilan mensuel établi :

Tableau 32 : Bilan ressources-Besoins en eau dans le périmètre de Jorf

	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
ressources (m3)												
année moyenne	952 119	867 879	952 119	952 119	952 119	867 879	952 119	867 879	867 879	952 119	867 879	867 879
besoins (m3)	3 081 347	2 001 165	1 232 559	900 015	945 951	1 478 330	2 247 877	2 760 621	3 664 217	4 030 531	4 686 328	4 233 727
B-R												
année moyenne	2 129 227	1 133 285	280 439	-52 104	-6 168	610 451	1 295 757	1 892 742	2 796 338	3 078 411	3 818 448	3 365 847
Déficit (%)	69%	57%	23%	0%	0%	41%	58%	69%	76%	76%	81%	80%

Conclusion

Les apports annuels sont estimés à 10,9 Mm³ contre des besoins de 31,2Mm³. Le déficit est donc important et atteint un taux annuel de 65%. En effet, le niveau de la nappe a baissé pendant les dernières années et ce n'est que l'année dernière avec les pluies importantes qu'a connues le pays que la nappe s'est remplie. D'après les informations recueillies lors du diagnostic, les khattaras prélèvent actuellement un volume d'environ 1,5Mm³/mois. Le volume moyen retenu est celui du volume observé en 2003 et celui de 2009, soit 868 000m³ par mois.

Par ailleurs l'état des khattaras est pour beaucoup dans ce déficit, la plupart souffrent d'un manque d'entretien et surtout de colmatage ou nécessitent le prolongement de la galerie de captage pour suivre l'abaissement du niveau de la nappe, sans oublier les effondrements des parois. L'aménagement des khattaras contribuerait pour beaucoup à la réduction du déficit mais il faut faire appel aussi au pompage. Il existe actuellement environ 164 puits pouvant fournir un apport mensuel de 312 000m³ par mois.

4. Lkhorbate

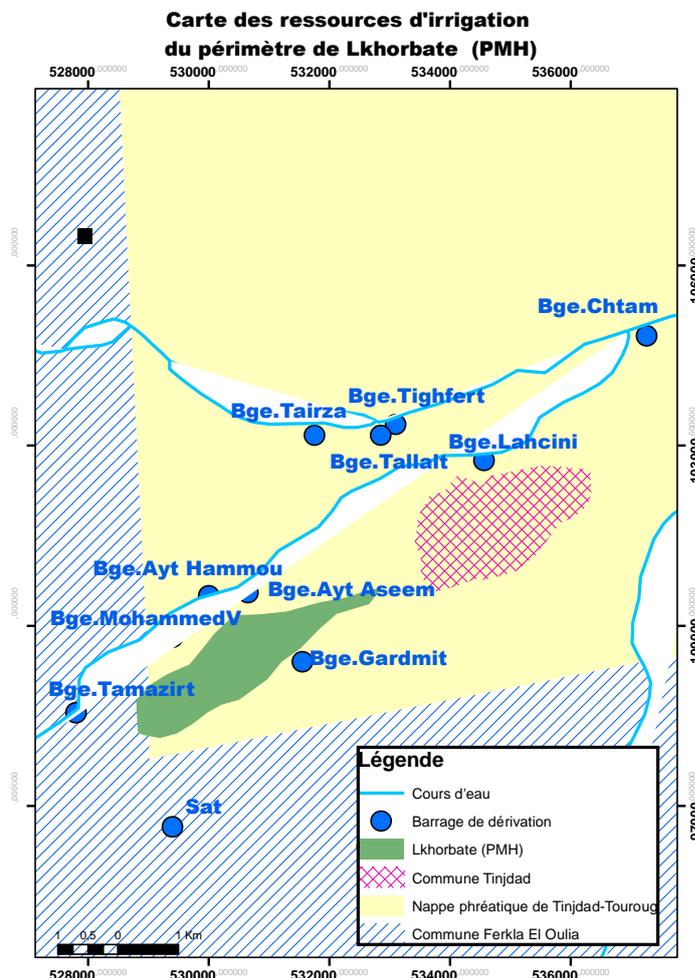
4.1 Situation géographique :

Le périmètre Lkhorbate est situé à l'amont de la palmeraie de Tinjdad, à environ 8 km à l'Ouest du centre Tinjdad.

Le périmètre est accessible à partir de la RN10 reliant Errachidia à Ouarzazate par une piste carrossable de 3km. Il a une superficie de 1 200 ha.

Sur le plan administratif, le périmètre Bour Lkhorbate relève de la commune Rurale de Ferkla El Oulia, cercle de Goulmima, province d'Errachidia.

Le périmètre Lkhorbate est situé sur une petite crête entre les lits des oueds Todgha et Satt. D'une manière générale, la topographie de la zone d'étude est plane et ne présente pas de contraintes au développement de l'irrigation. La pente moyenne est de 3.7 %.



Carte 25 : ressources en eau utilisées pour l'irrigation du périmètre Lkhorbate

4.2 Ressources d'irrigation du périmètre :

L'oued Todgha et l'oued Satt sont considérés comme des torrents à sec, ne fonctionnant qu'en cas d'orages. La zone d'étude se trouve dans la catégorie des bassins passifs. Les principaux cours d'eau qui la traversent sont constitués des chaâbas, talwegs et petits Oueds. Dans presque toute l'année, ces cours d'eau sont à sec et sont utilisés, souvent, comme des pistes piétonnes.

En période de forte crue, les palmeraies du périmètre font recours aux barrages de dérivation installés dans la zone pour couvrir une partie des besoins agricoles.

La nappe de Tinjdad-Touroug constitue la principale ressource des palmeraies de Tinghir-Tinjdad. Elle alimente le périmètre par les eaux souterraines pompées par environ 250 puits

4.3 Evaluation des apports

4.3.1 Apports au niveau de la station de Ait Bouijane

Les apports au niveau de la station Ait Bouijane ont été estimés à partir des débits instantanés observés durant une période d'observation de 20 années : 03/1976 à 10/1981 et 02/1985 à 11/1998.

Les apports estimés pour une année moyenne, une année sèche et une année humide sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 33 : Apports mensuel au niveau de la station de Ait Bouijane

Mm3 / Mois	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	année
année moyenne	5.73	5.02	4.76	3.13	3.05	2.97	3.94	3.40	3.70	4.30	2.77	4.94	47.70
année sèche	1.15	1.23	1.75	0.54	0.53	0.45	1.46	1.19	1.33	1.05	0.91	0.91	19.43
année humide	7.16	6.51	7.23	5.72	5.30	3.60	5.14	5.66	5.30	6.68	4.65	5.50	74.74

4.3.2 Apports d'eau souterrains (exploités par pompage)

Les ressources en eau souterraines sont exploitées par les agriculteurs du périmètre Lkhorbate. Le nombre de puits dénombrés est d'environ 250 puits ; leur débit unitaire est estimé à 3 l/s. En supposant une durée d'irrigation de 10h par jour et de 22 jours par mois (jours de souks exclus), le volume pompé est d'environ 594 000 m³ par mois.

4.4 Evaluation des besoins en eau

Les besoins en eau des cultures ont été calculés à partir de l'évapotranspiration

maximale :

$$ETM = Kc \times ETo$$

Avec :

- ETM : Évapotranspiration maximale,
- Kc : Coefficient cultural dépendant de la culture et de son stade de croissance,
- ETo : Évapotranspiration de référence.

Les données pluviométriques et les données de température utilisées sont relatives à la station de Ait Bouijane : 1961-2006 pour la pluviométrie (données ajustées pour une période de retour de 5 ans) et 1982-2006 pour la température.

La formule de Blaney-Criddle (présentée dans le bulletin de la FAO n°24) s'énonce comme suit :

$$ETo = ((0.457 \times T) + 8.128) \times p \times Kt$$

Avec : ETo : Évapotranspiration de référence (mm/j)

- T : Température moyenne en °C,
- p : % du nombre moyen journalier d'heures d'éclairement par rapport au total annuel,
- Kt : Coefficient climatique dépendant de la température moyenne T (approchée par la formule suivante $Kt = 0.031 \times T + 0.24$)

Remarque : Les valeurs des coefficients culturaux Kc utilisés pour les différentes cultures sont les mêmes pour tous les périmètres étudiés.

L'évapotranspiration ainsi calculée est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 34 : Valeurs de l'évapotranspiration de référence (ETo mm) selon Blanney-Criddle

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuel
Température (°C)	23.7	17.9	13.3	9.3	8.4	10.6	13.6	17.0	20.6	24.7	24.9	27.5	
Durée d'insolation (%)	8.34	7.96	7.14	7.04	7.21	7.01	8.37	8.74	9.62	9.57	9.74	9.25	
Coefficient Climatique (Kt)	0.97	0.79	0.65	0.53	0.50	0.57	0.66	0.77	0.88	1.01	1.01	1.09	
ETo (mm)	154.1	103.0	66.2	45.8	43.1	51.5	79.4	106.3	148.2	187.3	192.1	208.7	1385.8

Le besoin théorique net est égal à :

$B_n = ETM - P_e$ si $ETM > P_e$

$B_n = 0$ si $ETM < P_e$

Avec :

P_e : la pluie efficace;

B_n : le besoin net de la culture.

Occupation du sol

L'occupation du sol est présentée dans le tableau ci-après.

Tableau 35 : Assolement du périmètre Lkhorbate

Culture	Superficie (ha)
Blé dur	42.75
Blé tendre	27.71
Orge	9.54
Fève	15.23
Petit pois	4.77
Luzerne	60.00
Maraîchage d'hiver	25.00
Maraîchage d'été	15.00
Olivier	10.00
Palmier dattier	170.00
Amandier	10.00

Les efficacités retenues ont été appréciées selon la nature du terrain et la nature des canaux existants :

- Efficacité à la parcelle (irrigation gravitaire) : 60%
- Efficacité de distribution : 50%

Ainsi, les besoins en eau en tête du périmètre sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 36 : Besoin en eau des cultures dans le périmètre Lkhorbate

Besoins en eau (1000 m ³)	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuel
BE des cultures	365	173	98	67	66	72	188	259	364	461	465	490	3067
Besoins en eau d'Irrigation	1216	576	327	222	221	241	626	862	1213	1537	1548	1634	10224

4.5 Etablissement du bilan ressources en eau - besoins en eau :

Le tableau ci-après illustre le bilan mensuel établi :

Tableau 37 : Bilan ressources-Besoins en eau, sans et avec pompage dans le périmètre de Lkhorbate

Déficit (%)	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
<u>Déficit sans pompage</u>												
année moyenne	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
année sèche	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
année humide	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<u>Déficit avec pompage</u>												
année moyenne	51%						5%	31%	51%	61%	62%	64%
année sèche	51%						5%	31%	51%	61%	62%	64%
année humide	51%						5%	31%	51%	61%	62%	64%

4.6 Conclusion :

La seule ressource en eau consiste en le pompage. Le déficit dans le cas « sans pompage » est de 100%

Ce pompage n'arrive pas à subvenir aux besoins en eau d'irrigation pendant les mois de mars à septembre des 390 ha assolés. Le déficit atteint 64% pour le mois d'août

L'installation de plusieurs seuils de dérivation sur les cours d'eau les plus proches du périmètres peut atténuer la gravité du déficit.

5. Goulmima

5.1 Situation géographique

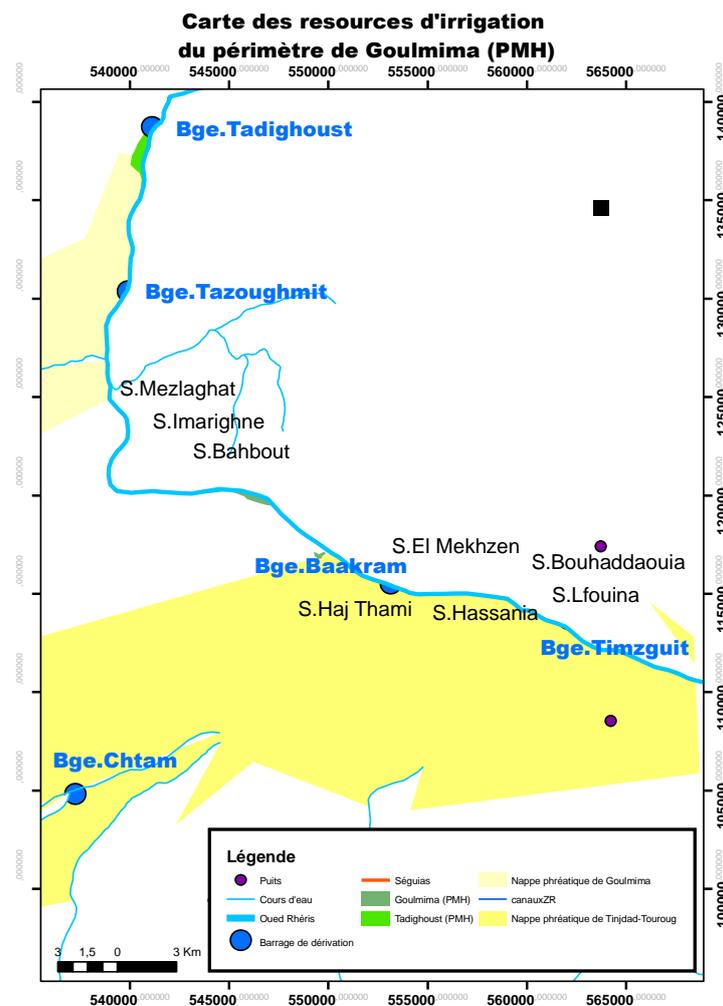
Le périmètre de Goulmima longe l'Oued Rhéris. La partie nord du périmètre est située dans la commune rurale Rhéris El Ouloui, alors que la partie sud se situe dans la commune de Rhéris Es Soufli dans la province d'Errachidia.

5.2 Ressources d'irrigation du périmètre

Le périmètre de Goulmima est irrigué à partir des eaux de l'Oued Rhéris, l'eau est mobilisée par les barrages de dérivation de Tazoughmit, Baakram, et Timzguit.

L'adduction et la distribution se font au moyen de séguias de Taltfraout, Bahbout, et Mezlaghat dans la partie nord et les séguias de Haj Thami, Hassania, El Makhzen, Bouhadaouia, et Lafouina dans la partie sud du périmètre.

Des pompages privés ou collectifs existent également et permettent d'apporter un complément aux eaux des barrages.



Carte 26 : ressources en eau utilisées pour l'irrigation du périmètre Goulmima

5.3 Etablissement du bilan ressources en eau - besoins en eau :

Pour les étapes d'établissement du bilan ressources en eau - besoins en eau du périmètre de Goulmima (voir annexe 9)

Le tableau ci-après illustre le bilan mensuel établi :

Tableau 38 : Bilan ressources-Besoins en eau dans le périmètre de Goulmima

Mois	Ressources (m3)	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
Total ressources (m3):	année humide	4 313 729	7 188 330	4 366 720	3 344 645	3 193 933	4 522 936	4 361 958	6 117 150	3 746 353	2 583 882	1 977 661	2 010 280
	année moyenne	2 888 322	7 024 626	7 848 996	4 132 199	2 317 274	3 162 613	2 784 578	2 896 542	3 824 087	2 438 685	1 248 771	1 782 337
	année sèche	293 859	317 208	282 084	0	0	0	0	23 048	263 201	20 093	4 885	0
Total besoins (m3):	Besoins (m3)	915 334	512 214	253 954	243 950	285 662	385 191	675 631	838 215	1 088 637	1 273 429	1 490 223	1 282 040
	B-R												
(Besoin - Ressources) (m3):	année humide	-3 398 395	-6 676 116	-4 112 766	-3 100 696	-2 908 281	-4 137 745	-3 686 326	-5 278 935	-2 657 716	-1 310 453	-487 436	-728 240
	Déficit (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	année moyenne	-1 972 988	-6 512 411	-7 595 043	-3 888 250	-2 031 622	-2 777 422	-2 108 947	-2 058 328	-2 735 450	-1 165 256	241 452	-500 297
	Déficit (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16%	0%
	année sèche	621 475	195 007	-28 130	243 950	285 662	385 191	675 631	815 167	825 436	1 253 336	1 485 337	1 282 040
	Déficit (%)	68%	38%	0%	100%	100%	100%	100%	97%	76%	98%	100%	100%

5.4 Conclusion

En année sèche, il ressort un déficit important pendant toute l'année.

En années humide, le bilan annuel est excédentaire.

Pour l'année moyenne, le déficit est observé en mois d'Aout, mais il ne dépasse pas les 16%.

Le bilan montre que le déficit n'apparaît que pendant les années sèches. Le recours au pompage pourrait contribuer largement à la réduction de ce déficit.

6. Rich

6.1 Situation géographique

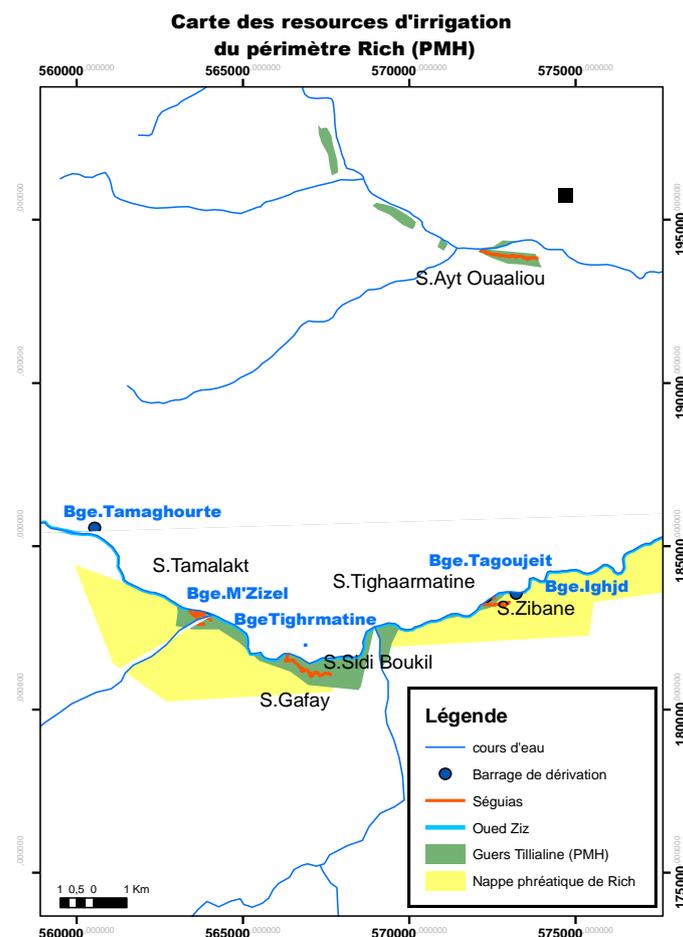
Le périmètre de Rich longe la partie amont de l'Oued Ziz. Ce périmètre est situé dans la commune rurale qui porte le même nom, c'est la commune de Rich dans la province de Midelt.

6.2 Ressources d'irrigation du périmètre

Le périmètre de Rich est irrigué à partir des eaux de l'Oued Ziz, l'eau est mobilisée par les barrages de dérivation de Tamaghourte, M'Zizel, Tighrmatine, Tagoujeit, Ighjd, et barrage Ayt Yaakoub.

L'adduction et la distribution se font au moyen de séguias d'Ayt Oualiou, Tigharmatine, Tamalakt, Tisikalte, Zibane, Sidi Boukil, et Gafay.

Des pompages privés ou collectifs existent également et permettent d'apporter un complément aux eaux des barrages en mobilisant la nappe phréatique de Rich.



Carte 27 : ressources en eau utilisées pour l'irrigation du périmètre Rich

6.3 Etablissement du bilan ressources en eau - besoins en eau :

Pour les étapes d'établissement du bilan ressources en eau - besoins en eau du périmètre de Rich (voir annexe 10)

Le tableau ci-après illustre le bilan mensuel établi :

Tableau 39 : Bilan ressources-Besoins en eau dans le périmètre de Rich

Mois	ressources (m3)	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
Total ressources (m3):	année humide	11 578 982	16 702 502	14 670 720	10 262 557	11 426 054	15 565 133	18 920 218	24 057 907	16 780 712	13 296 442	12 571 338	7 728 255
	année moyenne	8 173 033	13 015 921	11 759 142	7 740 576	7 204 581	10 214 147	13 231 926	14 771 351	12 531 761	12 259 398	7 587 119	5 208 228
	année sèche	2 715 898	4 012 779	3 233 779	3 566 557	2 729 825	2 930 135	4 182 589	4 782 240	7 061 334	3 027 456	1 646 145	2 703 577
Total besoins (m3):	besoins (m3)	2 884 290	1 678 710	1 350 815	1 170 579	1 201 623	2 075 619	2 810 290	3 325 890	4 303 242	5 011 720	6 060 422	4 930 112
	B-R												
(Besoin - Ressources) (m3):	année humide	-8 694 693	-15 023 792	-13 319 905	-9 091 978	-10 224 432	-13 489 514	-16 109 928	-20 732 017	-12 477 470	-8 284 722	-6 510 916	-2 798 143
	Déficit (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	année moyenne	-5 288 744	-11 337 211	-10 408 327	-6 569 997	-6 002 958	-8 138 528	-10 421 636	-11 445 461	-8 228 519	-7 247 678	-1 526 697	-278 116
	Déficit (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	année sèche	168 392	-2 334 069	-1 882 964	-2 395 978	-1 528 203	-854 516	-1 372 300	-1 456 350	-2 758 092	1 984 264	4 414 278	2 226 535
	Déficit (%)	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	40%	73%	45%

6.4 Conclusion

En année humide et moyenne, le bilan annuel est excédentaire.

Le déficit est observé à partir du mois de Juin jusqu'à septembre pendant l'année sèche. Ce déficit atteint 73% pendant le mois de Juillet.

Le recours au pompage pourrait contribuer largement à la réduction de ce déficit.

Les puits existants au niveau du périmètre sont au nombre de 213 unités et pourraient assurer un volume mensuel de 405 000m³ (3L/s, 10h/jour, 22 jours par mois). Cet apport pourrait combler une partie du déficit, mais il est certain que le déficit subsisterait toujours, d'où la nécessité d'encourager le creusement de puits pour irriguer les plantations en période de pénurie.

7. Guers Tillaline

7.1 Situation géographique

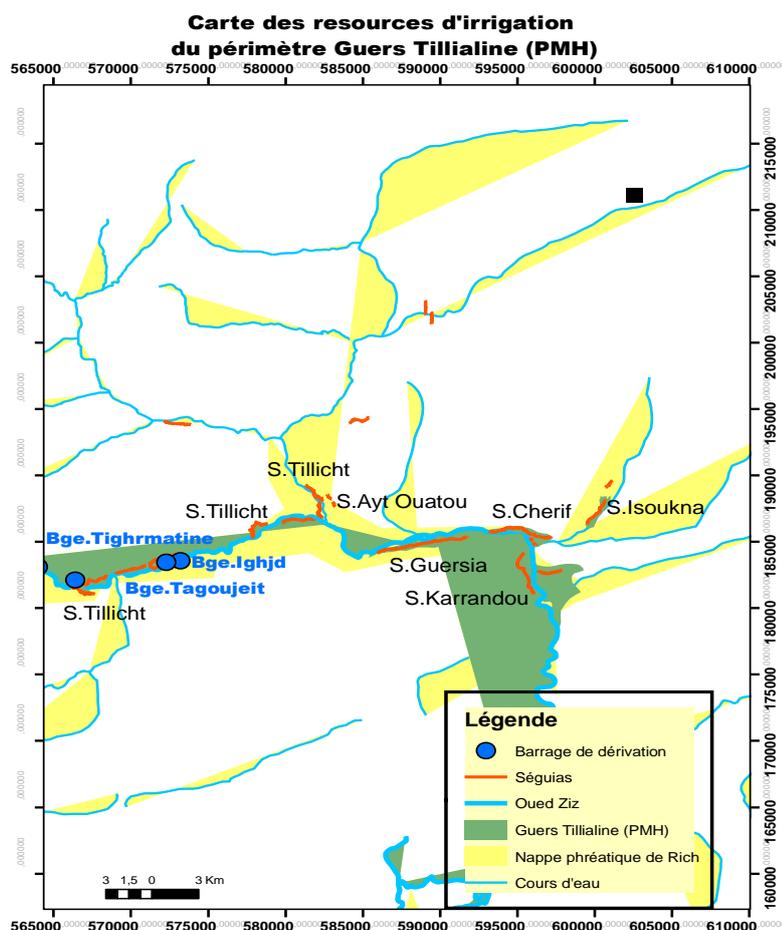
Le périmètre de Guers Tillaline longe l'Oued Ziz. Ce périmètre est située dans la commune rurale qui porte le même nom, c'est la commune de Guers Tillaline dans la province de Midelt.

7.2 Ressources d'irrigation du périmètre

Le périmètre de Guers Tillaline est irrigué à partir des eaux de l'Oued Ziz , l'eau est mobilisée par les barrages de dérivation de Tighrmatine, Tagoujeit, et barrage Ighjd.

L'adduction et la distribution se font au moyen de séguias Guersia, Cherif, Ayt Ouatou, Ayt Ouatou1, Isoukna, Taguerssift, Tilicht, Karrandou, et Ayt l'Abbas.

Des pompages privés ou collectifs existent également et permettent d'apporter un complément aux eaux des barrages en mobilisant la nappe phréatique de Rich.



Carte 28 : ressources en eau utilisées pour l'irrigation du périmètre Guers Tillaline

7.3 Etablissement du bilan ressources en eau - besoins en eau :

Pour les étapes d'établissement du bilan ressources en eau - besoins en eau du périmètre de Guers Tillaline (voir annexe 11)

Le tableau ci-après illustre le bilan mensuel établi :

Tableau 40 : Bilan ressources-Besoins en eau dans le périmètre de Guers Tillaline

Mois	ressources (m3)	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août
Total ressources (m3) :	année humide	12 385 889	26 482 425	10 362 139	7 493 883	8 853 867	9 322 169	11 033 567	23 437 636	13 804 767	13 913 842	4 401 318	5 188 431
	année moyenne	7 531 526	20 471 243	12 433 966	6 260 498	5 337 259	5 548 646	7 122 061	14 224 296	14 465 685	9 552 475	4 484 729	3 380 271
	année sèche	1 382 370	1 326 450	1 006 917	498 350	540 733	588 525	773 607	681 494	1 373 025	604 871	232 874	538 405
Total besoins (m3) :	B-R	4 341 148	2 554 453	1 854 038	1 430 527	1 361 850	2 135 512	3 133 474	3 835 951	4 940 366	6 655 154	8 180 545	6 836 113
(Besoin - Ressources) (m3) :	année humide	-8 044 741	-23 927 972	-8 508 101	-6 063 357	-7 492 017	-7 186 657	-7 900 094	-19 601 685	-8 864 401	-7 258 688	3 779 228	1 647 682
	Déficit (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	46%	24%
	année moyenne	-3 190 378	-17 916 790	-10 579 928	-4 829 971	-3 975 409	-3 413 134	-3 988 588	-10 388 345	-9 515 319	-2 897 321	3 695 817	3 455 842
	Déficit (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	46%	51%
	année sèche	2 958 778	1 228 003	847 122	932 177	821 117	1 546 987	2 359 867	3 154 456	3 567 341	6 050 283	7 947 671	6 297 708
	Déficit (%)	68%	48%	46%	65%	60%	72%	75%	82%	72%	91%	97%	92%

7.4 Conclusion

Le bilan montre qu'en année sèche, il ressort un déficit important pendant toute l'année. En année humide et moyenne, le bilan annuel est excédentaire, mais le déficit est observé à partir du mois de Juillet et Août où il atteint 51 %.

D'où la nécessité d'encourager le creusement de puits pour irriguer les plantations en période de pénurie.

8. Tadighoust

8.1 Situation géographique

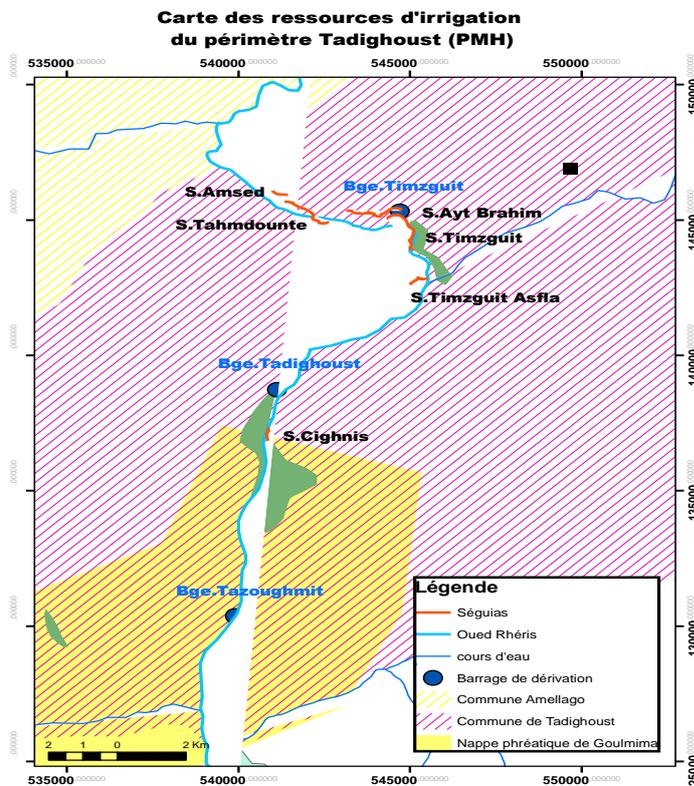
Le périmètre de Tadighoust longe l'Oued Rhéris. Ce périmètre est situé dans la commune rurale qui porte le même nom, c'est la commune de Tadighoust dans la province d'Errachidia.

8.2 Ressources d'irrigation du périmètre

Le périmètre de Tadighoust est irrigué à partir des eaux de l'Oued Rhéris, l'eau est mobilisée par le barrage de dérivation de Timzguit dans la zone nord du périmètre et par le barrage de Tadighoust dans la partie sud.

L'adduction et la distribution se font au moyen des séguias : Timzguit Asfla, Timzguit, Ayt Brahim, Tahamdount, et Amsed pour irriguer la zone nord du périmètre, et par la séguia Cighnis pour irriguer la partie sud.

Des pompages privés ou collectifs existent également et permettent d'apporter un complément aux eaux des barrages en mobilisant la nappe phréatique de Goulmima.



Carte 29 : ressources en eau utilisées pour l'irrigation du périmètre Tadighoust

8.3 Etablissement du bilan ressources en eau - besoins en eau :

Pour les étapes d'établissement du bilan ressources en eau - besoins en eau du périmètre de Tadighoust (voir annexe 12)

Le tableau ci-après illustre le bilan mensuel établi :

Tableau 41 : Bilan ressources-Besoins en eau dans le périmètre de Tadighoust

Mois	ressources	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	AOÛT
Total ressources (m3):	année humide	3 783 973	6 305 553	3 830 457	2 933 899	2 801 696	3 967 488	3 826 279	5 365 921	3 286 275	2 266 563	1 734 790	1 763 404
	année moyenne	2 533 615	6 161 952	6 885 085	3 624 736	2 032 696	2 774 222	2 442 612	2 540 827	3 354 462	2 139 197	1 095 413	1 563 463
	année sèche	257 771	278 252	247 442	0	0	0	0	20 218	230 878	17 626	4 285	0
Total besoins (m3):	besoins	1 163 319	701 602	364 382	313 161	334 963	410 760	773 141	993 419	1 265 612	1 591 645	1 828 289	1 575 403
	(B-R)												
(Besoin - Ressources)(m3):	année humide	-2 620 653	-5 603 950	-3 466 074	-2 620 738	-2 466 732	-3 556 728	-3 053 138	-4 372 502	-2 020 662	-674 919	93 499	-188 001
	Déficit(%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0%
année moyenne		-1 370 296	-5 460 350	-6 520 702	-3 311 575	-1 697 733	-2 363 462	-1 669 471	-1 547 408	-2 088 850	-547 553	732 875	11 950
	Déficit(%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	40%	1%
année sèche		905 548	423 350	116 940	313 161	334 963	410 760	773 141	973 201	1 034 734	1 574 019	1 824 003	1 575 403
	Déficit(%)	78%	60%	32%	100%	100%	100%	100%	98%	82%	99%	100%	100%

8.4 Conclusion

Le bilan ressources en eau-besoins en eau du périmètre de Tadighoust montre qu'en année sèche, il ressort un déficit important pendant toute l'année.

En années humide et moyenne, les ressources couvrent tous les besoins en exceptant le mois de Juillet où le déficit est de 5% pour la première, et il atteint 40 % pour la deuxième.

D'où la nécessité d'encourager le creusement de puits pour irriguer les plantations en période de pénurie.

9. Aoufous

9.1 Situation géographique

Le périmètre d'Aoufous est situé au niveau de la ville du même nom, sur la route principale RP 21, il fait partie de la province d'Errachidia. Il longe l'Oued Ziz et son affluent Oued Aoufous

9.2 Ressources d'irrigation du périmètre

Le périmètre d'Aoufous est irrigué à partir des eaux de l'Oued Ziz et de son affluent Oued Aoufous, des lâchés du barrage Hassan Addakhil par des séguias disposées le long de l'oued. L'adduction et la distribution se font au moyen de canaux portés :

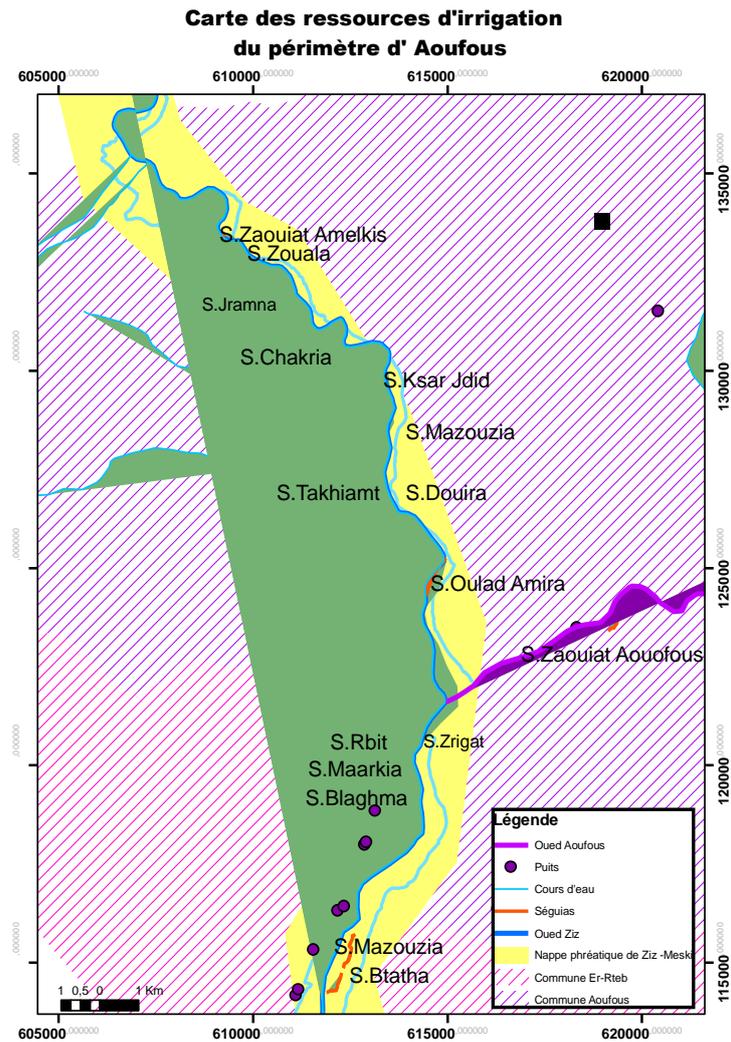
- ✓ le canal « Rive gauche3 »,
- ✓ canal « Rive droite3 »,
- ✓ canal « Aoufous rive gauche »

Et par des séguias :

- ✓ Séguia de Zawiat Amelkis,
- ✓ Jramna,
- ✓ Chakria,
- ✓ Ksar Jdid,
- ✓ Takhiamt,
- ✓ Ouled Amira,
- ✓ Zaouiat Aoufous,
- ✓ Zrigat, Rbit,
- ✓ Maarkia,
- ✓ Zawia Jdida,

Les eaux souterraines de la nappe de Ziz-Meski sont également mobilisées au moyen de pompes privées ou collectives.

Dans ce périmètre on assiste encore une fois à la superposition du système d'irrigation moderne avec le système traditionnel.



Carte 30 : ressources en eau utilisées pour l'irrigation du périmètre Aoufous

9.3 Etablissement du bilan ressources en eau - besoins en eau :

Pour les étapes d'établissement du bilan ressources en eau - besoins en eau du périmètre d'Aoufous (voir annexe 13)

Le tableau ci-après illustre le bilan mensuel établi :

Tableau 42 : Bilan ressources-Besoins en eau dans le périmètre d'Aoufous

Mois	ressources (m3)	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout
Total ressources (m3):	année humide	6 781 579	8 377 111	32 116 824	16 726 219	15 156 677	20 721 701	23 823 979	19 519 704	8 050 882	8 056 843	10 544 472	6 966 130
	année moyenne	7 379 887	10 185 949	19 063 512	12 360 172	13 498 875	16 937 611	15 164 712	13 789 162	9 876 403	7 596 627	9 014 723	6 664 491
	année sèche	5 876 453	5 902 269	5 932 440	6 007 798	5 945 124	6 677 277	6 075 294	6 532 229	6 116 541	5 832 389	5 833 702	5 861 557
Total besoins (m3):	besoins (m3)	11 886 925	7 960 756	4 569 446	3 012 955	2 834 474	4 218 642	7 031 533	9 193 165	13 149 731	16 747 133	19 344 731	17 326 014
	B-R												
(Besoin-Ressources) (m3):	année humide	5 105 346	-416 355	-27 547 378	-13 713 265	-12 322 203	-16 503 059	-16 792 447	-10 326 539	5 098 849	8 690 290	8 800 259	10 359 884
	Déficit (%)	43%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	39%	52%	45%	60%
	année moyenne	4 507 038	-2 225 193	-14 494 066	-9 347 218	-10 664 401	-12 718 969	-8 133 179	-4 595 997	3 273 328	9 150 506	10 330 008	10 661 523
	Déficit (%)	38%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	55%	53%	62%
	année sèche	6 010 472	2 058 487	-1 362 994	-2 994 843	-3 110 650	-2 458 635	956 239	2 660 936	7 033 190	10 914 745	13 511 029	11 464 457
	Déficit (%)	51%	26%	0%	0%	0%	0%	14%	29%	53%	65%	70%	66%

9.4 Conclusion

En année sèche, il ressort un déficit important à partir du mois de Mars jusqu'à Novembre. En années humide et moyenne, le déficit est observé à partir du mois de mai jusqu'à septembre. Ce déficit atteint 62 % pendant le mois d'août.

Le bilan montre que le déficit apparaît pendant les mois d'août et septembre, en année moyenne et humide. Le recours au pompage pourrait contribuer largement à la réduction de ce déficit. Cet apport pourrait combler une partie du déficit, mais il est certain que le déficit subsisterait toujours, d'où la nécessité d'encourager le creusement de puits pour irriguer les plantations en période de pénurie.

Conclusion & Recommandations

Axé sur la conception et la mise en oeuvre d'un système d'information géographique, ce travail a pour objectif de développer un modèle des ressources en eau et de l'irrigation dans le bassin Ziz-Rhéris du Tafilalet. Pour arriver à cet objectif, j'ai adopté une méthodologie de travail qui se résume dans ce qui suit :

- La collecte des données cartographiques sur tous les thèmes à étudier
- Le traitement des cartes et la digitalisation des thèmes
- La création du modèle spatiale finale
- Le renforcement du modèle par une base de données descriptive des thèmes

Le résultat est un modèle sous SIG qui donne une vision globale sur les ressources en eau disponibles dans chacun des sous-bassins puis dans chacun des périmètres du bassin Ziz-Rhéris.

Cette connaissance des ressources a permis d'établir un bilan ressources-besoins en eau pour les périmètres de PMH pour pouvoir évaluer le déficit hydrique dans ces zones.

Le modèle élaboré offre une organisation de l'information, une idée claire sur les ressources en eau, l'irrigation, et la demande en eau agricole dans les PMH du bassin Ziz-Rhéris, et il met en évidence les zone de superposition des deux réseaux d'irrigation ; traditionnel et moderne. Il va permettre un accès facile aux données graphique et alphanumérique, une mise à jour des données pour une utilisation continue et durable du modèle .

Le modèle développé pourrait répondre aux besoins de l'ORAMVAT et le l'ABH de Guir-Ziz-Rhéris pour une aide à la prise de décision et à la gestion des ressources en eau.

Toutefois, quelques recommandations s'avèrent utiles pour l'amélioration de ce travail :

- Enrichir la base de données par davantage informations sur le bassin de Ziz-Rhéris tel que : les données climatiques, les caractéristiques pédologiques, les données topographiques...; ceci serait un vrai atout puisque, plus la base est riche, plus elle est beaucoup plus importante ;
- Essayer de créer plus de relations entre les tables et plus de requêtes pour mieux exploiter le modèle ;
- Développer une interface qui englobe, la base de données et les carte SIG, qui doit contenir plusieurs requêtes, répondant à plusieurs questions des utilisateurs ;
- Approfondir ce travail en étudiant chaque sous-bassin ou périmètre appart, pour pouvoir intégrer des données plus détaillées.
- Revérifier les thèmes par vision satellitaire afin d'ajouter ce qui manque et rendre le modèle plus fiable

Liste des ressources bibliographiques

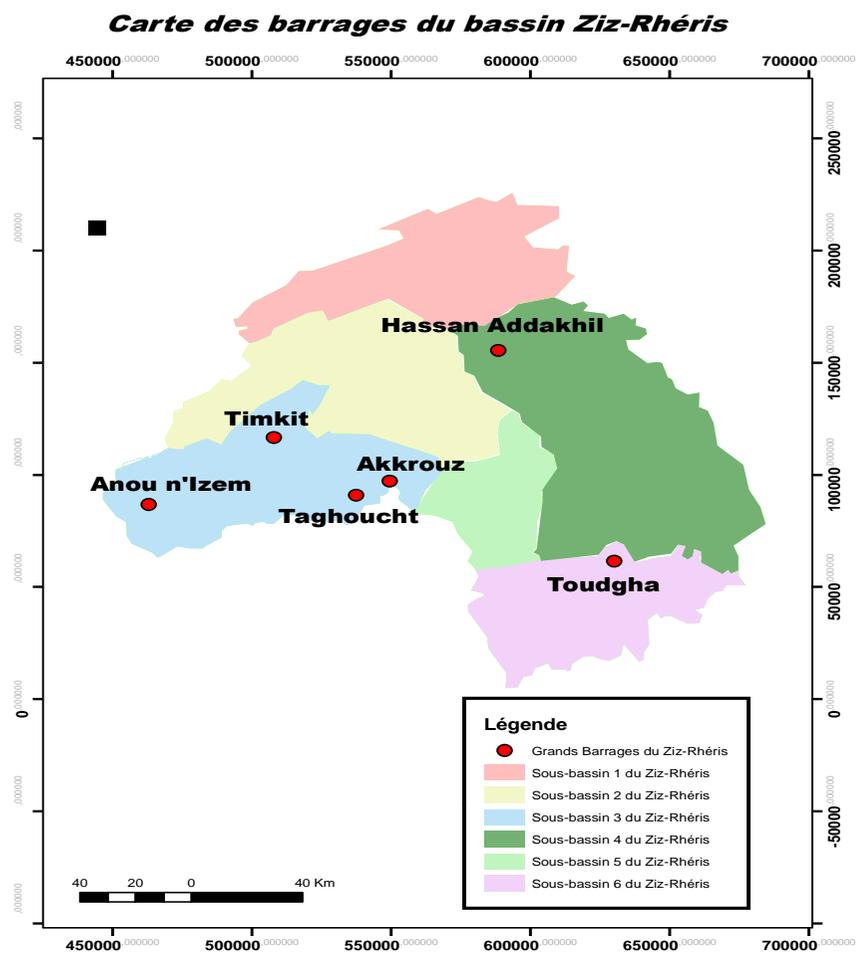
- **ABHGRZ.** (2011). Actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des Ressources en eau des bassins de Guir – Ghéris – Ziz et Maider Phase 1-Provinces Errachidia, Ouarzazate, Zagora et Figuig, Mission 1 : Evaluation des ressources en eau ;
- **ABHGRZ.** (2011). Actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des Ressources en eau des bassins de Guir – Ghéris – Ziz et Maider Phase 1-Provinces Errachidia, Ouarzazate, Zagora et Figuig, Mission 2 : Evaluation et projection des besoins et des demandes en eau ;
- **AHOSSI M.C Armel.** (2007).Analyse diagnostique des systèmes de productions agricoles et perspectives de développement des oasis du Tafilalet : Cas de Bouya ;
- **Alaeddine EL JAAFARI, Latifa QARIANI, Rachid BELKHADIR, Samir EL JAAFARI.** (2008). Approche méthodologique interdisciplinaire pour la gestion de l'eau par les acteurs locaux dans le Tafilalet (Maroc) ;
- **BEN BRAHIM. M.** Irrigation traditionnelle et construit socioculturel dans les oasis du Tafilalet (Sud-est Marocain) ;
- **BEN BRAHIM. M** (2001). Les khetaras du Tafilalet ; un patrimoine hydraulique à sauvegarder ;
- **CRANCE Johan, LOVELLUC William.** (2006). Diagnostic agraire du « périmètre irrigué traditionnel » de la commune rurale d'El Kheng, Errachidia, Tafilalet, Maroc ;

- **DRH GRZ.** (2003). Synthèse sur les ressources en eau dans les bassins de Guir, Ghéris et Ziz ;
- **DRH GRZ.** (2009). Elaboration d'un système d'information géographique et hydrologique du bassin versant de Guir, Ziz, Rhéris ;
- **DRPE, SOGREAHSCT MAROC.**(1996).Etude du plan directeur de l'aménagement des eaux des bassins Sud Atlasiques ;
- **François LAURENT.** (1996). Outils de modélisation spatiale Pour la gestion intégrée des ressources en eau, Application aux Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux ;
- **IRD.** (2011). Actualité scientifique, Les réseaux d'eau oasiens ressuscitent en méditerranée ;
- **LARAICHI S.** 2007. Elaboration d'une base de données sous SIG en vue de développement d'outil d'aide à la décision basée sur la modélisation hydrologique et hydrogéologique -Mémoire de 3ème cycle-Option Génie Rural.IAV Hassan II. Rabat ;
- **M. Bousfoul.** (2009). Gestion intégrée des ressources en eau: une nécessité pour La préservation des oasis du sud est marocain (cas du Tafilalet), Page 80 ;
- **MCA Maroc.** (2010). Etudes de faisabilité, la conception, l'évaluation environnementale et sociale et appui a l'exécution et à la supervision du projet dans les secteurs irrigués (PMH et oasis) ;
- **MINA AMHARREF.**(1991) .Contribution à l'étude hydrologique de la Vallée du Ziz ;
- **N. Toujgani, S. El Jaafari.**(2005).Gestion de l'eau dans le Tafilalet entre droit coutumier et législation en vigueur

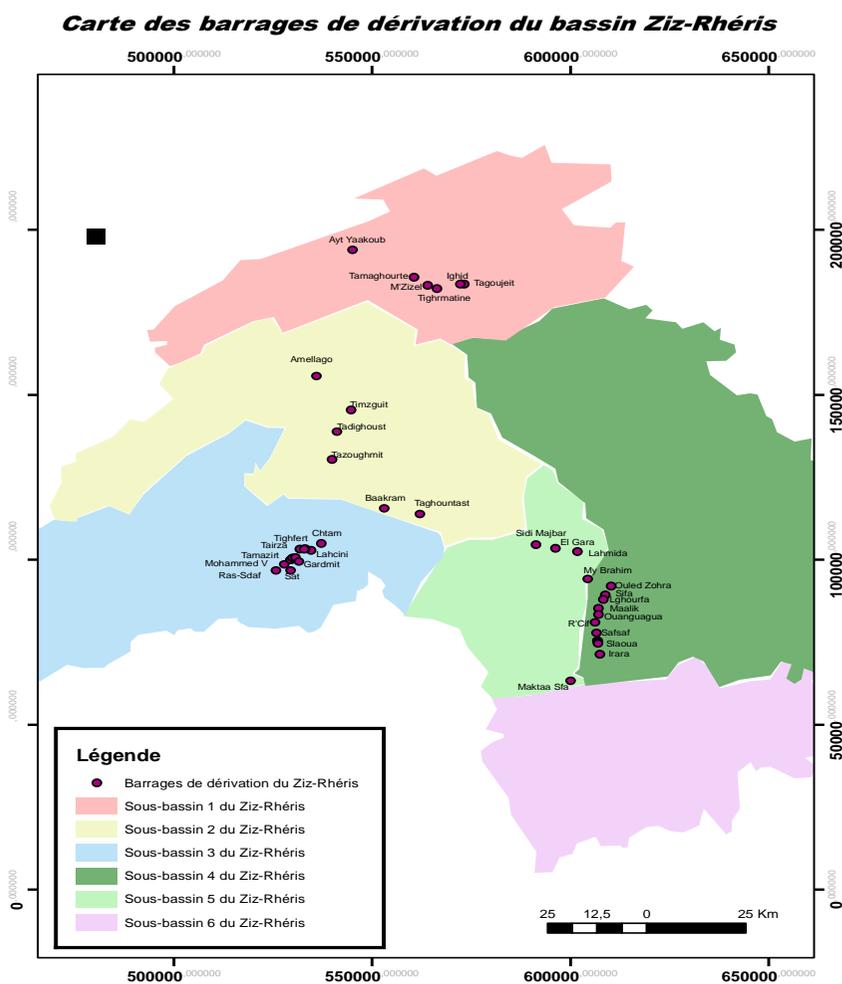
- **Renevot, G., A. Bouaziz, T.Ruf et Raki.** (2009). Pratiques d'irrigation du palmier dattier dans les systèmes oasiens du Tafilalet, Maroc- Partie 3: Relation eau-production agricole
- **SGRID, ORMVATF.** (2005). Ressources en eau dans la zone d'action de l'Office
- **YOUNES BEKKAR, MARCEL KUPER, MOSTAFA ERRAHJ, NICOLAS FAYSSE, MOHAMED GAFSI.** Sur la difficulté de gérer une ressource invisible: stratégies et perceptions des agriculteurs de l'utilisation des eaux souterraines, reposant sur des observations au Maroc

Annexes

Annexe 1 :

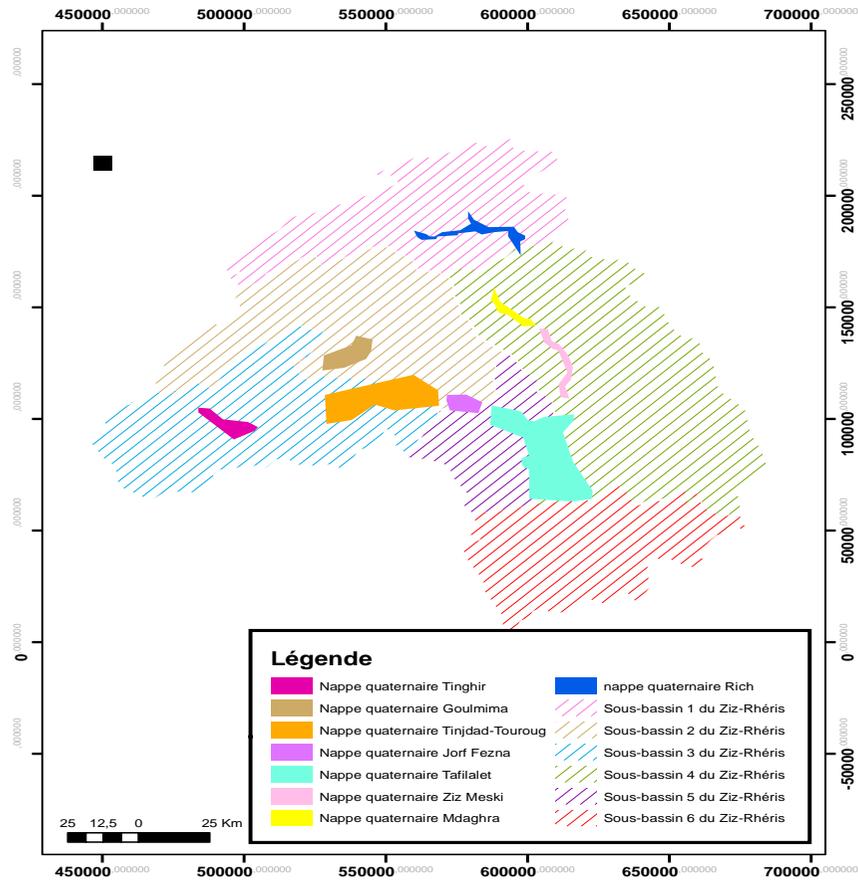


Annexe 2 :



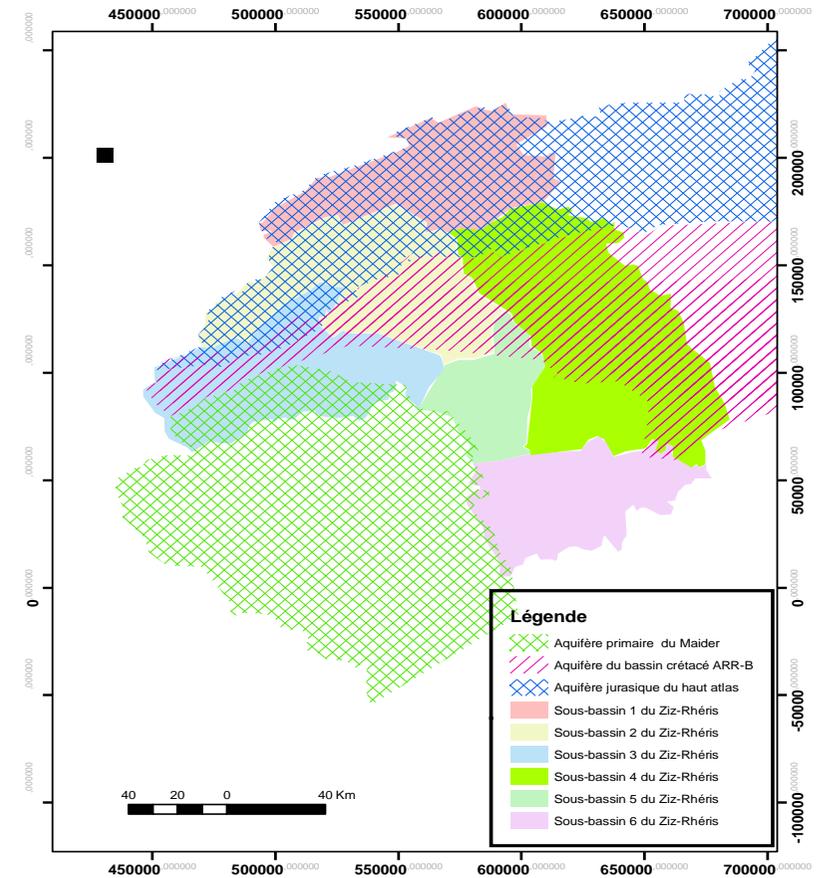
Annexe 3 :

Carte des nappes phréatiques du bassin Ziz-Rhérès

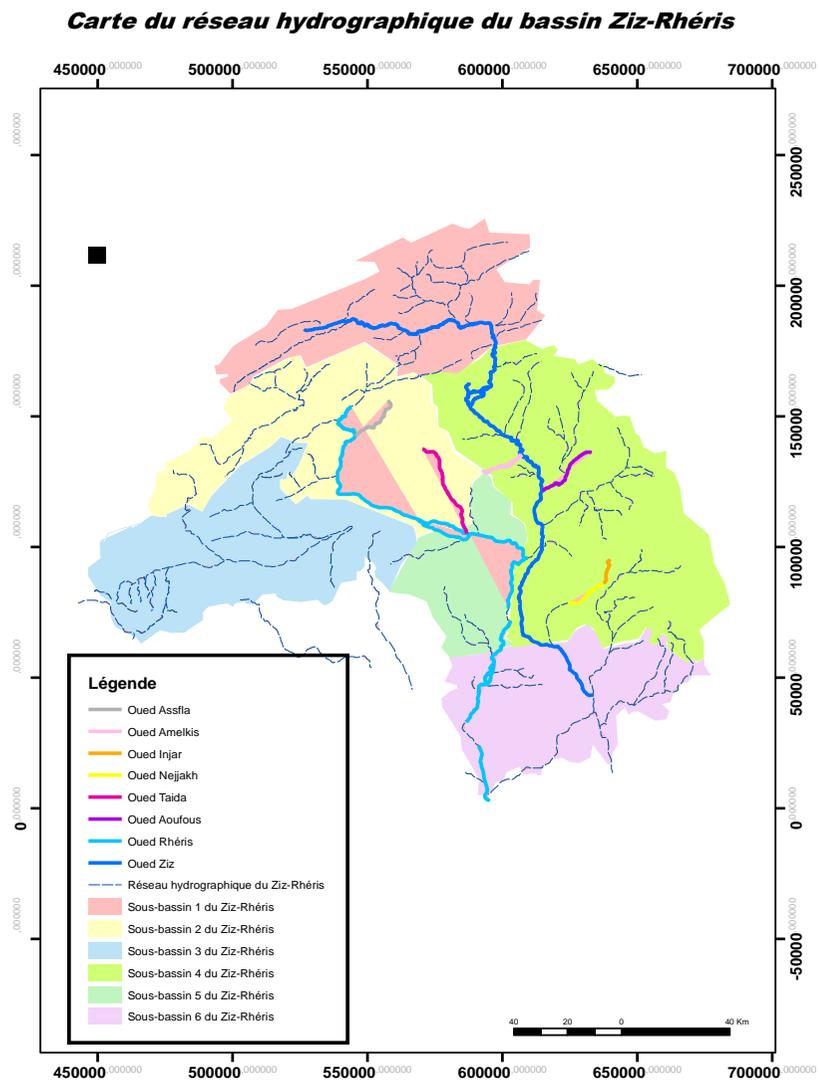


Annexe 4 :

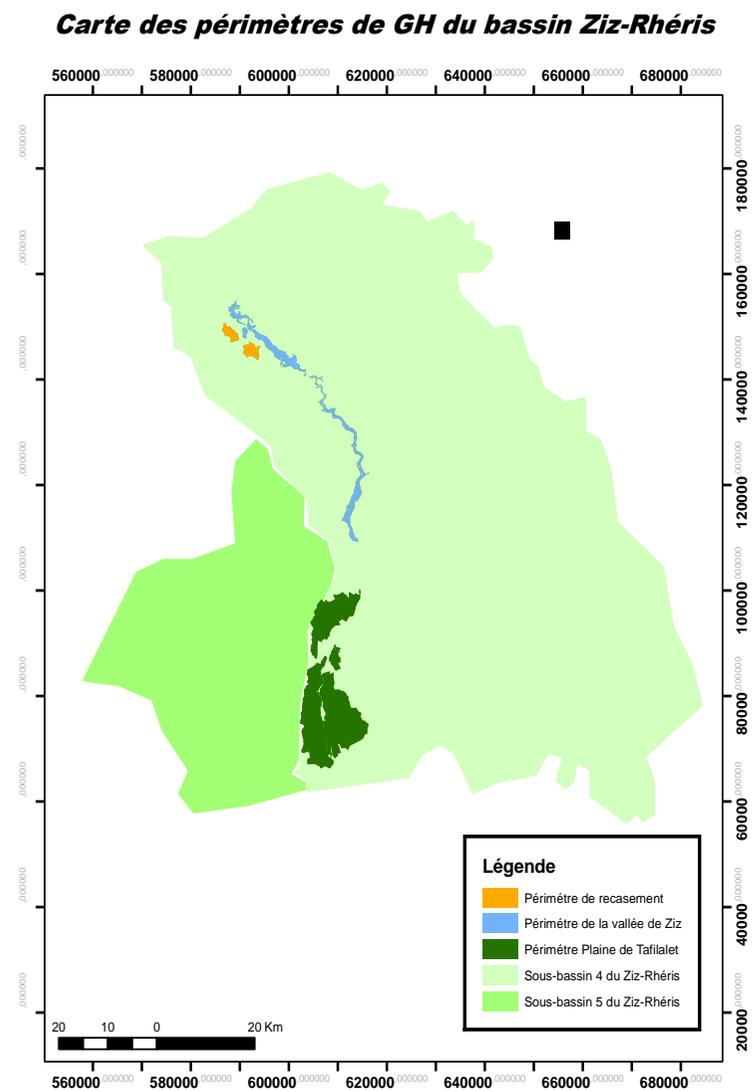
Carte des nappes profondes du bassin Ziz-Rhérès



Annexe 5 :

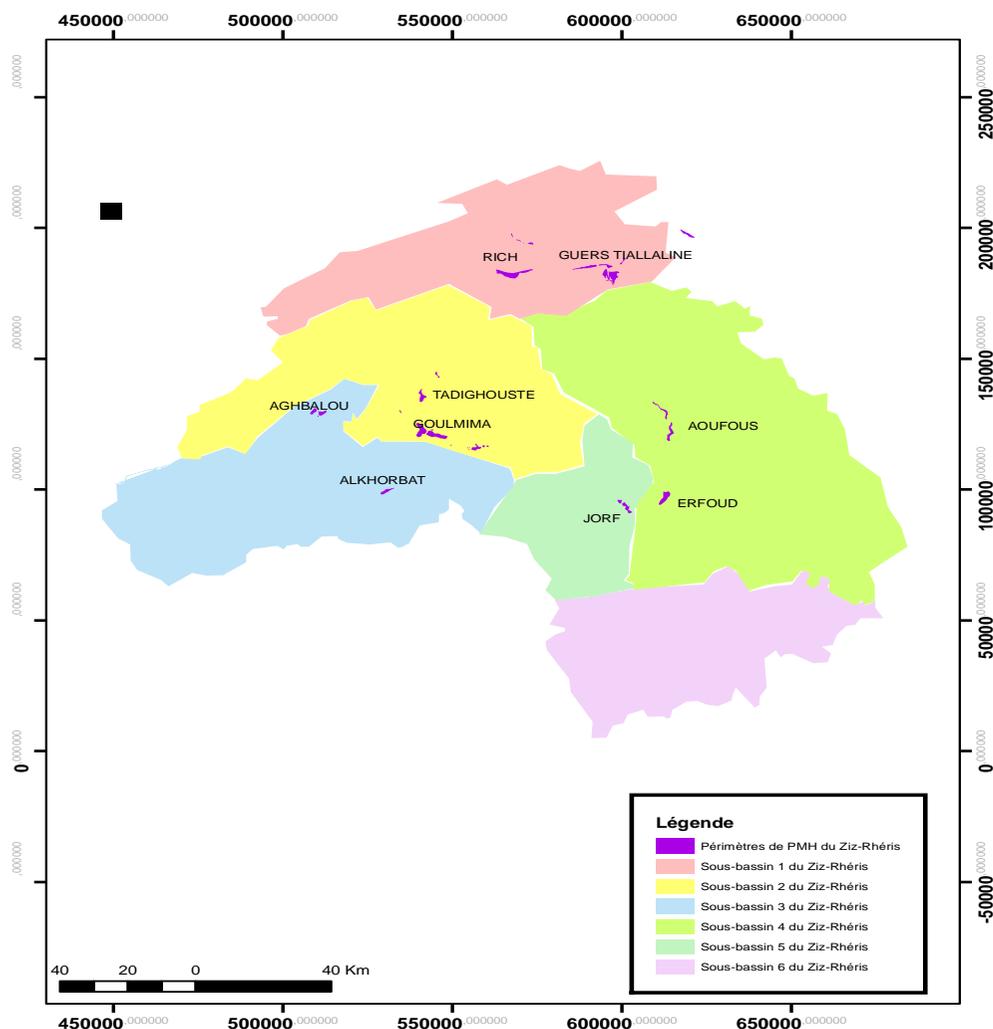


Annexe 6 :



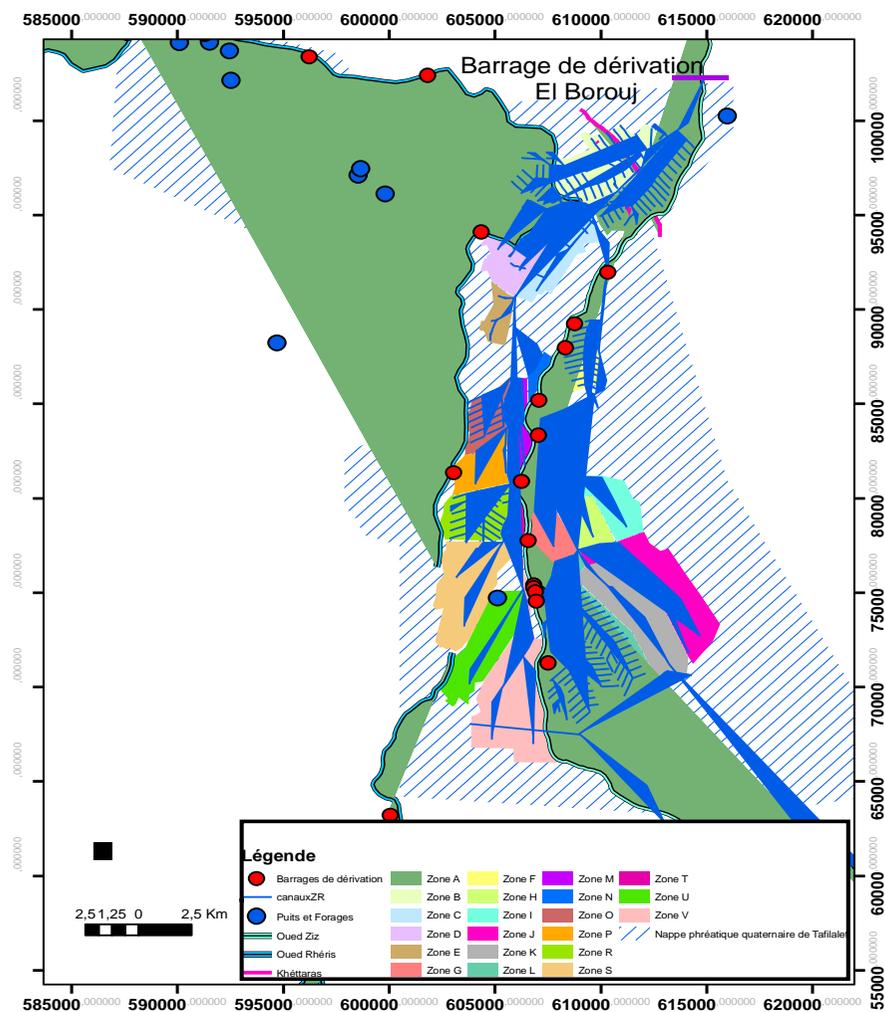
Annexe 7 :

Carte des périmètres de PMH du bassin Ziz-Rhérís



Annexe 8 :

Carte des ressources d'irrigation du périmètre "Plaine de Tafilalet" de GH



Annexe 9 Goulmima

Superficie périmètre(ha)	772
Superficie assolée (ha)	
Efficience	0,37

Eto (mm)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Température T (°C)	26,0	20,0	14,2	10,6	9,6	11,8	15,4	19,2	22,5	28,0	30,7	29,2	
Durée d'insolation (%)	8,34	7,93	7,11	7,06	7,21	6,97	8,37	8,75	9,62	9,59	9,77	9,28	
Coefficient Climatique (Kt)	1,05	0,86	0,68	0,57	0,54	0,61	0,72	0,84	0,94	1,11	1,19	1,14	
Eto (mm)	174,7	117,8	70,9	52,2	48,5	57,2	91,2	123,7	165,8	222,0	257,3	227,9	1609,1

Pluie moyenne (mm)	13,6	21,5	23,3	15,6	12,5	19,4	10,0	15,1	14,0	5,9	1,6	6,8	159,2	
Pluie efficace (mm)	70%	9,5	15,1	16,3	10,9	8,7	13,6	7,0	10,5	9,8	4,1	1,1	4,8	111,5

kc

Cultures	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Blé tendre			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Orge			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Maïs									0,60	0,80	0,90	0,80	
Fève		0,50	0,80	0,90	1,00	0,90	0,70	0,60					
Petit pois		0,50	0,80	0,90	1,00	0,90	0,70	0,60					
Luzerne	1,15	0,91	0,74	0,57	0,40	0,56	0,72	0,88	1,04	1,20	1,18	1,16	
Maraîchage d'hiver	0,70	0,90	1,05	0,95									
Maraîchage d'été							0,60	0,85	1,15	0,80			
Olivier	0,70	0,65	0,65	0,65	0,65	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	
Palmier dattier	0,94	0,93	0,92	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
Amandier	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,56	0,67	0,78	0,90	0,84	0,78	0,72	
Autres Arbo.	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,56	0,67	0,78	0,90	0,84	0,78	0,72	

Besoin en eau net (m3/ha)

Cultures	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur	0	0	20	151	270	428	556	532	471	0	0	0	2 428
Blé tendre	0	0	20	151	270	428	556	532	471	0	0	0	2 428
Orge	0	0	20	151	270	428	556	532	471	0	0	0	2 428
Maïs	0	0	0	0	0	0	0	0	756	1 483	1 976	1 517	5 732
Fève	0	355	324	294	329	306	478	532	0	0	0	0	2 617
Petit pois	0	355	324	294	329	306	478	532	0	0	0	0	2 617
Luzerne	1 629	769	288	146	79	139	494	829	1 382	2 245	2 594	2 221	12 815
Maraîchage d'hiver	954	759	476	317	0	0	0	0	0	0	0	0	2 506
Maraîchage d'été	0	0	0	0	0	0	400	797	1 539	1 483	0	0	4 218
Olivier	1 128	615	298	230	228	264	568	761	1 063	1 513	1 790	1 548	10 005
Palmier dattier	1 547	944	490	366	359	396	787	1 070	1 477	2 068	2 433	2 117	14 054
Amandier	813	414	149	100	87	120	419	667	1 096	1 451	1 594	1 265	8 175
Autres Arbo.	813	414	149	100	87	120	419	667	1 096	1 451	1 594	1 265	8 175

Besoin en eau en tête périmètre (m3)

efficience globale	0,37	250 ha												
Cultures (sans projet)	Sup (ha)	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur	120,07	0	0	6 409	48 943	87 728	138 948	180 470	172 541	152 881	0	0	0	787 920
Blé tendre	40,02	0	0	2 136	16 314	29 243	46 316	60 157	57 514	50 960	0	0	0	262 640
Orge	10,01	0	0	534	4 079	7 311	11 579	15 039	14 378	12 740	0	0	0	65 660
Mais	6,99	0	0	0	0	0	0	0	0	14 288	28 033	37 360	28 678	108 359
Fève	1,20	0	1 151	1 052	955	1 066	991	1 551	1 725	0	0	0	0	8 491
Petit pois	1,20	0	1 151	1 052	955	1 066	991	1 551	1 725	0	0	0	0	8 491
Luzerne	52,53	231	109	40	20	11	19	70	117	196 197	318 686	368 310	315 322	1 819 173
Maraîchage d'hiver	1,08	2 774	2 206	1 385	920	0	0	0	0	0	0	0	0	7 285
Maraîchage d'été	0,97	0	0	0	0	0	0	1 046	2 086	4 026	3 880	0	0	11 037
Olivier	74,61	227	123	60	46	45	53	114	153	214 303	305 031	360 958	312 080	2 017 479
Palmier dattier	102,6	401	947	138	437	909	264	615	397	409 831	573 578	674 984	587 395	3 898

	4	125	974	865	529	454	751	369	836					692
Amandier	0,86	1 898	967	348	233	203	280	978	1 556	2 558	3 385	3 721	2 952	19 081
Autres Arbo.	10,42	22 896	11 669	4 202	2 810	2 453	3 380	11 793	18 769	30 853	40 836	44 889	35 613	230 162
Total périmètre	422,6 0	915 334	512 214	253 954	243 950	285 652	385 191	675 631	838 215	1 088 637	1 273 429	1 490 223	1 282 040	9 244 470

1305
,0

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Besoins en eau d'Irrigation (m3)	915 334	512 214	253 954	243 950	285 652	385 191	675 631	838 215	1 088 637	1 273 429	1 490 223	1 282 040	9 244 470
Besoins en eau d'Irrigation (m3/ha)	3 661	2 049	1 016	976	1 143	1 541	2 703	3 353	4 355	5 094	5 961	5 128	36 978
Débit fictif continu (l/s/ha)	1,413	0,765	0,392	0,364	0,427	0,631	1,009	1,294	1,626	1,965	2,226	1,915	2,226

Mois	Ressources (m3)	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuel
Total ressources (m3) :		4 313 729	7 188 330	4 366 720	3 344 645	3 193 933	4 522 936	4 361 958	6 117 150	3 746 353	2 583 882	1 977 661	2 010 280	47 727 577
	année humide													
	année moyenne	2 888 322	7 024 626	7 848 996	4 132 199	2 317 274	3 162 613	2 784 578	2 896 542	3 824 087	2 438 685	1 248 771	1 782 337	42 349 029
	année sèche	293 859	317 208	282 084	0	0	0	0	23 048	263 201	20 093	4 885	0	1 204 378
Total besoins (m3) :		915 334	512 214	253 954	243 950	285 652	385 191	675 631	838 215	1 088 637	1 273 429	1 490 223	1 282 040	9 244 470
	B-R													
(Besoin - Ressources) (m3) :		-3 398 395	-6 676 116	-4 112 766	-3 100 696	-2 908 281	-4 137 745	-3 686 326	-5 278 935	-2 657 716	-1 310 453	-487 438	-728 240	-38 483 107
	année humide													
	Déficit (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
	année moyenne	-1 972 988	-6 512 411	-7 595 043	-3 888 250	-2 031 622	-2 777 422	-2 108 947	-2 058 328	-2 735 450	-1 165 256	241 452	-500 297	-33 104 560
	Déficit (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16%	0%	
	année sèche	621 475	195 007	-28 130	243 950	285 652	385 191	675 631	815 167	825 436	1 253 336	1 485 337	1 282 040	8 040 092
	Déficit (%)	68%	38%	0%	100%	100%	100%	100%	97%	76%	98%	100%	100%	

Annexe 10 Rich

Superficie (ha)	1739
Superficie assolée (ha)	1961,6 0
Efficienc	0,30

Eto (mm)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Température T (°C)	24,3	19,5	13,4	10,0	8,9	11,2	14,4	17,5	20,9	25,9	29,0	27,3	18,5
Durée d'insolation (%)	8,34	7,93	7,10	7,03	7,18	6,96	8,37	8,76	9,64	9,62	9,79	9,29	
Coefficient Climatique (Kt)	0,99	0,85	0,66	0,55	0,52	0,59	0,69	0,78	0,89	1,04	1,14	1,09	
Eto (mm)	159,7	114,2	66,4	49,3	45,1	54,0	84,6	110,6	151,8	200,0	238,2	208,1	1482,0

Pluie moyenne (mm)	23,7	28,1	11,3	11,5	13,2	13,5	15,8	20,1	26,1	11,1	4,9	9,9	189,2	
Pluie efficace (mm)	70%	16,6	19,7	7,9	8,0	9,2	9,4	11,1	14,1	18,2	7,8	3,4	7,0	132,4

kc

Cultures	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Blé tendre			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Orge			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Mais									0,60	0,80	0,90	0,80	
Fève		0,50	0,80	0,90	1,00	0,90	0,70	0,60					
Petit pois		0,50	0,80	0,90	1,00	0,90	0,70	0,60					
Luzerne	1,15	0,91	0,74	0,57	0,40	0,56	0,72	0,88	1,04	1,20	1,18	1,16	
Maraîchage d'hiver	0,70	0,90	1,05	0,95									
Maraîchage d'été							0,60	0,85	1,15	0,80			
Olivier	0,70	0,65	0,65	0,65	0,65	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	
Palmier dattier	0,94	0,93	0,92	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
Amandier	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,56	0,67	0,78	0,90	0,84	0,78	0,72	
Autres Arbo.	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,56	0,67	0,78	0,90	0,84	0,78	0,72	

Besoin en eau net (m3/ha)

Cultures	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur	0	0	118	202	292	520	559	515	418	0	0	0	2 624
Blé tendre	0	0	118	202	292	520	559	515	418	0	0	0	2 624
Orge	0	0	118	202	292	520	559	515	418	0	0	0	2 624
Maïs	0	0	0	0	0	0	0	0	719	1 505	2 086	1 578	5 887
Fève	0	368	446	358	354	386	475	515	0	0	0	0	2 904
Petit pois	0	368	446	358	354	386	475	515	0	0	0	0	2 904
Luzerne	1 651	831	407	198	86	205	492	822	1 379	2 296	2 746	2 319	13 431
Maraîchage d'hiver	940	820	611	383	0	0	0	0	0	0	0	0	2 753
Maraîchage d'été	0	0	0	0	0	0	391	789	1 545	1 505	0	0	4 229
Olivier	952	546	352	240	201	284	481	633	880	1 322	1 633	1 387	8 912
Palmier dattier	1 335	865	532	368	323	408	684	910	1 260	1 822	2 229	1 908	12 643
Amandier	872	488	286	166	111	208	456	722	1 184	1 602	1 824	1 429	9 348
Autres Arbo.	665	351	213	117	70	148	343	549	911	1 266	1 452	1 129	7 213

efficience globale 0,30 1739 ha

Besoin en eau en tête périmètre (m3)

Cultures	Sup (ha)	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur	795,20	0	0	312 344	536 678	772 999	1 377 407	1 480 889	1 366 385	1 108 761	0	0	0	6 955 462
Blé tendre	14,90	0	0	5 853	10 056	14 484	25 809	27 748	25 603	20 775	0	0	0	130 327
Orge	9,90	0	0	3 889	6 681	9 624	17 148	18 437	17 011	13 804	0	0	0	86 593
Maïs	149,10	0	0	0	0	0	0	0	0	357 158	747 754	1 036 932	784 060	2 925 904
Fève	74,50	0	91 412	110 827	89 023	87 934	95 907	117 958	128 013	0	0	0	0	721 073
Petit pois	24,80	0	30 430	36 893	29 634	29 272	31 926	39 267	42 614	0	0	0	0	240 035
Luzerne	263,40	1 449 546	729 842	357 230	173 487	75 821	179 743	431 745	721 504	1 211 080	2 015 689	2 411 101	2 035 917	11 792 706
Maraîchage d'hiver	30,80	96 511	84 182	62 678	39 307	0	0	0	0	0	0	0	0	282 679
Maraîchage d'été	6,50	0	0	0	0	0	0	8 478	17 094	33 465	32 598	0	0	91 636
Olivier	192,30	610 307	349 706	225 895	153 876	128 893	181 741	308 575	405 900	564 254	847 302	1 046 843	889 339	5 712 632
Palmier dattier	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amandier	90,80	264 005	147 842	86 564	50 281	33 554	62 949	138 021	218 432	358 322	484 812	551 973	432 527	2 829 281
Autres Arbo.	209,40	463 921	245 296	148 644	81 555	49 042	102 988	239 172	383 335	635 622	883 565	1 013	788 270	5 034 984

												574		
Total périmètre	1861,60	2 884 290	1 678 710	1 350 815	1 170 579	1 201 623	2 075 619	2 810 290	3 325 890	4 303 242	5 011 720	6 060 422	4 930 112	36 803 312

Mois	ressources (m3)	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuel
Total ressources (m3) :	année humide	11 578 982	16 702 502	14 670 720	10 262 557	11 426 054	15 565 133	18 920 218	24 057 907	16 780 712	13 296 442	12 571 338	7 728 255	173 560 821
	année moyenne	8 173 033	13 015 921	11 759 142	7 740 576	7 204 581	10 214 147	13 231 926	14 771 351	12 531 761	12 259 398	7 587 119	5 208 228	123 697 182
	année sèche	2 715 898	4 012 779	3 233 779	3 566 557	2 729 825	2 930 135	4 182 589	4 782 240	7 061 334	3 027 456	1 646 145	2 703 577	42 592 314
Total besoins (m3) :	besoins (m3)	2 884 290	1 678 710	1 350 815	1 170 579	1 201 623	2 075 619	2 810 290	3 325 890	4 303 242	5 011 720	6 060 422	4 930 112	36 803 312
	B-R													
(Besoin - Ressources) (m3) :	année humide	-8 694 693	-15 023 792	-13 319 905	-9 091 978	-10 224 432	-13 489 514	-16 109 928	-20 732 017	-12 477 470	-8 284 722	-6 510 916	-2 798 143	-136 757 509
	Déficit (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
	année moyenne	-5 288 744	-11 337 211	-10 408 327	-6 569 997	-6 002 958	-8 138 528	-10 421 636	-11 445 461	-8 228 519	-7 247 678	-1 526 697	-278 115	-86 893 871
	Déficit (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
	année sèche	168 392	-2 334 069	-1 882 964	-2 395 978	-1 528 203	-854 516	-1 372 300	-1 456 350	-2 758 092	1 984 264	4 414 278	2 226 535	-5 789 003
	Déficit (%)	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	40%	73%	45%	

Annexe 11 Guers Tillaline

Superficie (ha)	1288
Superficie assolée (ha)	2122,90

Eto (mm)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Température T (°C)	24,3	19,5	13,4	10,0	8,9	11,2	14,4	17,5	20,9	25,9	29,0	27,3	18,5
Durée d'insolation (%)	8,34	7,93	7,10	7,04	7,19	6,96	8,37	8,75	9,64	9,61	9,78	9,28	
Coefficient Climatique (Kt)	0,99	0,85	0,66	0,55	0,52	0,59	0,69	0,78	0,89	1,04	1,14	1,09	
Eto (mm)	159,7	114,2	66,4	49,3	45,1	54,0	84,6	110,6	151,7	199,9	238,1	208,1	1481,7

Pluie moyenne (mm)	23,7	28,1	11,3	11,5	13,2	13,5	15,8	20,1	26,1	11,1	4,9	9,9	189,2
Pluie efficace (mm)	70%	16,6	19,7	7,9	8,0	9,2	9,4	11,1	14,1	18,2	7,8	3,4	132,4

kc

Cultures	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Blé tendre			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Orge			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Maïs									0,60	0,80	0,90	0,80	
Fève		0,50	0,80	0,90	1,00	0,90	0,70	0,60					
Petit pois		0,50	0,80	0,90	1,00	0,90	0,70	0,60					
Luzerne	1,15	0,91	0,74	0,57	0,40	0,56	0,72	0,88	1,04	1,20	1,18	1,16	
Maraîchage d'hiver	0,70	0,90	1,05	0,95									
Maraîchage d'été							0,60	0,85	1,15	0,80			
Olivier	0,70	0,65	0,65	0,65	0,65	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	
Palmier dattier	0,94	0,93	0,92	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
Amandier	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,56	0,67	0,78	0,90	0,84	0,78	0,72	
Autres Arbo.	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,56	0,67	0,78	0,90	0,84	0,78	0,72	

Besoin en eau net (m3/ha)

Cultures	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur	0	0	89	161	235	429	460	418	329	0	0	0	2 121
Blé tendre	0	0	89	161	235	429	460	418	329	0	0	0	2 121
Orge	0	0	89	161	235	429	460	418	329	0	0	0	2 121

Maïs	0	0	0	0	0	0	0	0	585	1 270	1 772	1 334	4 960
Fève	0	285	369	294	288	315	388	418	0	0	0	0	2 357
Petit pois	0	285	369	294	288	315	388	418	0	0	0	0	2 357
Luzerne	1 382	679	335	157	60	161	403	679	1 148	1 943	2 333	1 965	11 245
Maraîchage d'hiver	776	670	509	315	0	0	0	0	0	0	0	0	2 269
Maraîchage d'été	0	0	0	0	0	0	317	651	1 288	1 270	0	0	3 526
Olivier	952	546	353	240	201	284	481	633	880	1 321	1 632	1 387	8 910
Palmier dattier	1 335	865	532	369	323	408	684	909	1 259	1 821	2 227	1 907	12 641
Amandier	665	351	213	117	70	148	343	549	910	1 265	1 451	1 129	7 212
Autres Arbo.	665	351	213	117	70	148	343	549	910	1 265	1 451	1 129	7 212

**Besoin en eau en tête périmètre
(m3)**

efficience globale		0,29	1288 ha											
Cultures	Sup (ha)	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur	158,20	0	0	48 423	87 733	128 227	234 040	250 721	228 151	179 576	0	0	0	1 156 871
Blé tendre	416,20	0	0	127 393	230 811	337 346	615 723	659 610	600 230	472 437	0	0	0	3 043 550
Orge	8,00	0	0	2 449	4 437	6 484	11 835	12 679	11 537	9 081	0	0	0	58 502
Mais	108,10	0	0	0	0	0	0	0	0	218 050	473 266	660 383	497 075	1 848 774
Fève	133,50	0	131 000	169 756	135 277	132 727	145 138	178 753	192 529	0	0	0	0	1 085 180
Petit pois	13,30	0	13 051	16 912	13 477	13 223	14 459	17 808	19 181	0	0	0	0	108 112
Luzerne	180,20	858 681	422 057	208 261	97 350	37 311	99 788	250 144	421 987	713 142	1 207 599	1 449 944	1 220 945	6 987 209
Maraîchage d'hiver	4,70	12 581	10 852	8 245	5 099	0	0	0	0	0	0	0	0	36 778
Maraîchage d'été	6,00	0	0	0	0	0	0	6 559	13 472	26 656	26 268	0	0	72 955
Olivier	978,70	3 212 777	1 841 500	1 190 143	811 072	679 305	957 404	1 624 628	2 136 444	2 969 278	4 458 538	5 508 695	4 681 260	30 071 044
Palmier dattier	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amandier	2,50	5 729	3 030	1 837	1 009	607	1 273	2 954	4 733	7 846	10 906	12 512	9 733	62 169
Autres Arbres	109,70	251 381	132 963	80 619	44 262	26 621	55 853	129 618	207 686	344 299	478 577	549 012	427 099	2 727 988
Total périmètre	2119,10	4 341 148	2 554 453	1 854 038	1 430 527	1 361 850	2 135 512	3 133 474	3 835 951	4 940 366	6 655 154	8 180 545	6 836 113	47 259 132

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Besoins en eau d'Irrigation	4 341 148	2 554	1 854	1 430	1 361	2 135	3 133 474	3 835	4 940	6 655	8 180	6 836	47 259 132

(m3)		453	038	527	850	512		951	366	154	545	113	
Besoins en eau d'Irrigation (m3/ha)	3 370	1 983	1 439	1 111	1 057	1 658	2 433	2 978	3 836	5 167	6 351	5 308	36 692
Débit fictif continu (l/s/ha)	1,300	0,740	0,555	0,415	0,395	0,679	0,908	1,149	1,432	1,993	2,371	1,982	2,371

**BILAN RESSOURCES-
BESOINS**

BILAN RESSOURCES-BESOINS

Mois	ressources (m3)	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Total ressources (m3) :	année humide	12 385	26 482	10 362	7 493	8 853	9 322	11 033	23 437	13 804	13 913	4 401	5 188	146 679
	année moyenne	889	425	139	883	867	169	567	636	767	842	318	431	935
	année sèche	7 531	20 471	12 433	6 260	5 337	5 548	7 122	14 224	14 455	9 552	4 484	3 380	110 802
		526	243	966	498	259	646	061	296	685	475	729	271	656
		1 382	1 326	1 006	498 350	540 733	588 525	773 607	681 494	1 373 025	604 871	232 874	538 405	9 547 621
		370	450	917										
Total besoins (m3) :	besoins (m3)	4 341	2 554	1 854	1 430	1 361	2 135	3 133	3 835	4 940	6 655	8 180	6 836	47 259
	B-R	148	453	038	527	850	512	474	951	366	154	545	113	132
(Besoin - Ressources) (m3) :	année humide	-8 044	-23 927	-8 508	-6 063	-7 492	-7 186	-7 900	-19 601	-8 864	-7 258	3 779	1 647	-99 420
	Déficit (%)	741	972	101	357	017	657	094	685	401	688	228	682	803
	année moyenne	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	46%	24%	
	Déficit (%)	-3 190	-17 916	-10 579	-4 829	-3 975	-3 413	-3 988	-10 388	-9 515	-2 897	3 695	3 455	-63 543
	année sèche	378	790	928	971	409	134	588	345	319	321	817	842	524
	Déficit (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	45%	51%	
	année sèche	2 958	1 228	847 122	932 177	821 117	1 546	2 359	3 154	3 567	6 050	7 947	6 297	37 711
	Déficit (%)	778	003				987	867	456	341	283	671	708	510
	Déficit (%)	68%	48%	46%	65%	60%	72%	75%	82%	72%	91%	97%	92%	

Annexe 12 Tadighouste

Superficie totale (ha)	390
Superficie assolée (ha)	380,53

Eto (mm)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Température T (°C)	26,0	20,0	14,2	10,6	9,6	11,8	15,4	19,2	22,5	28,0	30,7	29,2	
Durée d'insolation (%)	8,34	7,93	7,11	7,06	7,21	6,97	8,37	8,75	9,62	9,59	9,77	9,28	
Coefficient Climatique (Kt)	1,05	0,86	0,68	0,57	0,54	0,61	0,72	0,84	0,94	1,11	1,19	1,14	
Eto (mm)	174,7	117,8	70,9	52,2	48,5	57,2	91,2	123,7	165,8	222,0	257,3	227,9	1609,1

Pluie moyenne (mm)	13,6	21,5	23,3	15,6	12,5	19,4	10,0	15,1	14,0	5,9	1,6	6,8	159,2	
Pluie efficace (mm)	70%	9,5	15,1	16,3	10,9	8,7	13,6	7,0	10,5	9,8	4,1	1,1	4,8	111,5

kc

Cultures	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Blé tendre			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Orge			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Maïs									0,60	0,80	0,90	0,80	
Fève		0,50	0,80	0,90	1,00	0,90	0,70	0,60					
Petit pois		0,50	0,80	0,90	1,00	0,90	0,70	0,60					
Luzerne	1,15	0,91	0,74	0,57	0,40	0,56	0,72	0,88	1,04	1,20	1,18	1,16	
Maraîchage d'hiver	0,70	0,90	1,05	0,95									
Maraîchage d'été							0,60	0,85	1,15	0,80			
Olivier	0,70	0,65	0,65	0,65	0,65	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	
Palmier dattier	0,94	0,93	0,92	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
Amandier	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,56	0,67	0,78	0,90	0,84	0,78	0,72	
Autres Arbo.	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,56	0,67	0,78	0,90	0,84	0,78	0,72	

Besoin en eau net (m3/ha)

Cultures	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur	0	0	16	145	263	416	543	518	459	0	0	0	2 360
Blé tendre	0	0	16	145	263	416	543	518	459	0	0	0	2360
Orge	0	0	16	145	263	416	543	518	459	0	0	0	2360
Maïs	0	0	0	0	0	0	0	0	738	1 451	1 934	1 484	5606

Fève	0	344	314	286	320	296	466	518	0	0	0	0	2544
Petit pois	0	344	314	286	320	296	466	518	0	0	0	0	2544
Luzerne	1 592	749	278	141	75	133	482	809	1 351	2 196	2 539	2 173	12519
Maraîchage d'hiver	932	739	463	308	0	0	0	0	0	0	0	0	2442
Maraîchage d'été	0	0	0	0	0	0	390	778	1 504	1 451	0	0	4122
Olivier	1 128	615	298	230	228	264	568	761	1 063	1 513	1 790	1 548	10005
Palmier dattier	1 547	944	490	366	359	396	787	1 070	1 477	2 068	2 433	2 117	14054
Amandier	813	414	149	100	87	120	419	667	1 096	1 451	1 594	1 265	8175
Autres Arbo.	813	414	149	100	87	120	419	667	1 096	1 451	1 594	1 265	8175

efficience globale		0,29	253 ha		Besoin en eau en tête périmètre (m3)									
Cultures	Sup (ha)	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur	24,61	0	0	1 347	12 329	22 294	35 315	46 060	43 966	38 948	0	0	0	200 260
Blé tendre	25,48	0	0	1 395	12 770	23 090	36 576	47 705	45 537	40 339	0	0	0	207 412
Orge	35,15	0	0	1 924	17 613	31 848	50 449	65 800	62 809	55 640	0	0	0	286 085
Maïs	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fève	24,41	0	28 941	26 416	24 041	26 914	24 928	39 248	43 617	0	0	0	0	214 104
Petit pois	5,42	0	6 431	5 870	5 342	5 981	5 540	8 722	9 693	0	0	0	0	47 579
Luzerne	19,46	106 859	50 289	18 661	9 457	5 066	8 917	32 319	54 305	90 640	147 397	170 401	145 831	840 142
Maraîchage d'hiver	6,77	21 756	17 261	10 803	7 179	0	0	0	0	0	0	0	0	56 998
Maraîchage d'été	6,21	0	0	0	0	0	0	8 338	16 647	32 179	31 036	0	0	88 201
Olivier	104,61	406 767	221 713	107 572	83 066	82 121	95 276	205 020	274 391	383 338	545 631	645 670	558 238	3 608 804
Palmier dattier	105,86	564 689	344 734	178 786	133 603	130 873	144 422	287 353	390 608	539 300	754 776	888 217	772 957	5 130 319
Amandier	9,92	27 809	14 172	5 103	3 412	2 979	4 105	14 323	22 795	37 473	49 598	54 521	43 254	279 545
Autres Arbo.	12,64	35 439	18 061	6 504	4 349	3 797	5 232	18 253	29 050	47 755	63 207	69 481	55 123	356 249
Total périmètre(assolée)	380,53	1 163 319	701 602	364 382	313 161	334 963	410 760	773 141	993 419	1 265 612	1 591 645	1 828 289	1 575 403	11 315 697

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Besoins en eau d'Irrigation (m3)	1 163 319	701 602	364 382	313 161	334 963	410 760	773 141	993 419	1 265 612	1 591 645	1 828 289	1 575 403	11 315 697
Besoins en eau d'Irrigation (m3/ha)	4 598	2 773	1 440	1 238	1 324	1 624	3 056	3 927	5 002	6 291	7 226	6 227	44 726

Débit fictif continu (l/s/ha)	1,774	1,035	0,556	0,462	0,494	0,665	1,141	1,515	1,868	2,427	2,698	2,325	2,698
-------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

BILAN RESSOURCES- BESOINS

BILAN RESSOURCES-BESOINS

Mois	ressources	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Total ressources (m3) :	année humide	3 783 973	6 305 553	3 830 457	2 933 899	2 801 696	3 967 488	3 826 279	5 365 921	3 286 275	2 266 563	1 734 790	1 763 404	41 866 295
	année moyenne	2 533 615	6 161 952	6 885 085	3 624 736	2 032 696	2 774 222	2 442 612	2 540 827	3 354 462	2 139 197	1 095 413	1 563 453	37 148 271
	année sèche	257 771	278 252	247 442	0	0	0	0	20 218	230 878	17 626	4 285	0	1 056 472
Total besoins (m3) :	besoins	1 163 319	701 602	364 382	313 161	334 963	410 760	773 141	993 419	1 265 612	1 591 645	1 828 289	1 575 403	11 315 697
	(B-R)													
(Besoin - Ressources) (m3) :	année humide	-2 620 653	-5 603 950	-3 466 074	-2 620 738	-2 466 732	-3 556 728	-3 053 138	-4 372 502	-2 020 662	-674 919	93 499	-188 001	-30 550 599
	Déficit (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0%	
	année moyenne	-1 370 296	-5 460 350	-6 520 702	-3 311 575	-1 697 733	-2 363 462	-1 669 471	-1 547 408	-2 088 850	-547 553	732 875	11 950	-25 832 575
	Déficit (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	40%	1%	
	année sèche	905 548	423 350	116 940	313 161	334 963	410 760	773 141	973 201	1 034 734	1 574 019	1 824 003	1 575 403	10 259 225
	Déficit (%)	78%	60%	32%	100%	100%	100%	100%	98%	82%	99%	100%	100%	

Annexe 13 Aoufous

Superficie (ha)	2377
Superficie assolée (ha)	3798,84

Eto (mm)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Température T (°C)	27,9	22,3	15,6	10,7	10,2	13,0	17,0	20,6	24,3	29,6	32,8	31,9	
Durée d'insolation	8,34	7,94	7,12	7,07	7,22	6,98	8,37	8,74	9,60	9,58	9,75	9,27	

(%)													
Coefficient Climatique (Kt)	1,11	0,93	0,72	0,57	0,55	0,64	0,77	0,88	0,99	1,16	1,26	1,23	
Eto (mm)	192,8	135,7	78,9	52,7	51,1	63,3	102,2	134,9	183,1	240,4	283,0	258,3	1776,2

Pluie moyenne (mm)	6,0	7,7	8,4	7,1	8,7	7,0	5,3	9,0	4,7	2,9	0,9	1,5	69,1
Pluie efficace (mm) 70%	4,2	5,4	5,9	5,0	6,1	4,9	3,7	6,3	3,3	2,0	0,7	1,1	48,4

kc

Cultures	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Blé tendre			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Orge			0,30	0,58	0,86	1,15	0,80	0,60	0,40				
Maïs									0,60	0,80	0,90	0,80	
Fève		0,50	0,80	0,90	1,00	0,90	0,70	0,60					
Petit pois		0,50	0,80	0,90	1,00	0,90	0,70	0,60					
Luzerne	1,15	0,91	0,74	0,57	0,40	0,56	0,72	0,88	1,04	1,20	1,18	1,16	
Maraîchage d'hiver	0,70	0,90	1,05	0,95									
Maraîchage d'été							0,60	0,85	1,15	0,80			
Olivier	0,70	0,65	0,65	0,65	0,65	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	
Palmier dattier	0,94	0,93	0,92	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
Amandier	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,56	0,67	0,78	0,90	0,84	0,78	0,72	
Autres Arbo.	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,56	0,67	0,78	0,90	0,84	0,78	0,72	

Besoin en eau net (m3/ha)

Cultures	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur	0	0	141	208	310	564	652	619	584	0	0	0	3 078
Blé tendre	0	0	141	208	310	564	652	619	584	0	0	0	3 078
Orge	0	0	141	208	310	564	652	619	584	0	0	0	3 078
Maïs	0	0	0	0	0	0	0	0	893	1 601	2 140	1 731	6 365
Fève	0	518	473	350	370	431	566	619	0	0	0	0	3 327
Petit pois	0	518	473	350	370	431	566	619	0	0	0	0	3 327
Luzerne	1 827	987	434	203	112	250	583	937	1 572	2 411	2 808	2 515	14 637
Maraîchage d'hiver	1 096	975	640	372	0	0	0	0	0	0	0	0	3 082
Maraîchage d'été	0	0	0	0	0	0	480	903	1 742	1 601	0	0	4 726
Olivier	1 308	828	454	292	272	394	678	881	1 249	1 663	1 974	1 797	11 791
Palmier dattier	1 770	1 208	667	429	410	539	924	1 218	1 707	2 264	2 682	2 443	16 261

Amandier	961	597	289	161	123	234	511	779	1 285	1 595	1 759	1 477	9 772
Autres Arbo.	961	597	289	161	123	234	511	779	1 285	1 595	1 759	1 477	9 772

**Besoin en eau en tête périmètre
(m3)**

efficience globale		0,31	2377 ha											
Cultures	Sup (ha)	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Blé dur	422,31	0	0	153 591	226 212	337 806	614 823	710 645	674 827	636 782	0	0	0	3 354 685
Blé tendre	248,42	0	0	90 347	133 066	198 710	361 660	418 026	396 957	374 578	0	0	0	1 973 344
Orge	12,42	0	0	4 517	6 653	9 935	18 083	20 901	19 848	18 729	0	0	0	98 667
Mais	279,50	0	0	0	0	0	0	0	0	644 063	1 154 694	1 543 409	1 248 516	4 590 682
Fève	131,52	0	175 743	160 698	118 667	125 679	146 225	192 081	210 154	0	0	0	0	1 129 247
Petit pois	131,52	0	175 743	160 698	118 667	125 679	146 225	192 081	210 154	0	0	0	0	1 129 247
Luzerne	725,53	3 420 113	1 847 247	811 800	380 317	209 122	467 240	1 091 893	1 755 188	2 943 211	4 514 895	5 256 638	4 708 190	27 405 855
Maraîchage d'hiver	97,91	276 807	246 387	161 643	93 950	0	0	0	0	0	0	0	0	778 786
Maraîchage d'été	105,94	0	0	0	0	0	0	131 188	246 974	476 185	437 683	0	0	1 292 030
Olivier	430,03	907 013	574 261	315 140	202 859	188 453	273 151	470 528	611 234	866 130	1 153 323	1 369 309	1 246 736	8 178 137
Palmier dattier	1195,90	6 829 452	4 659 389	2 574 753	1 656 666	1 580 836	2 080 582	3 563 038	4 700 185	6 583 243	8 733 321	10 344 893	9 425 194	62 731 552
Amandier	17,84	55 297	34 380	16 613	9 254	7 102	13 491	29 402	44 824	73 984	91 834	101 254	85 026	562 460
Autres Arbo.	128,51	398 244	247 605	119 646	66 645	51 150	97 161	211 750	322 821	532 827	661 383	729 228	612 353	4 050 814
Total périmètre	3927,34	11 886 925	7 960 756	4 569 446	3 012 955	2 834 474	4 218 642	7 031 533	9 193 165	13 149 731	16 747 133	19 344 731	17 326 014	117 275 505

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Besoins en eau d'Irrigation (m3)	11 886 925	7 960 756	4 569 446	3 012 955	2 834 474	4 218 642	7 031 533	9 193 165	13 149 731	16 747 133	19 344 731	17 326 014	117 275 505
Besoins en eau d'Irrigation (m3/ha)	5 001	3 349	1 922	1 268	1 192	1 775	2 958	3 868	5 532	7 045	8 138	7 289	49 338

Débit fictif continu (l/s/ha)	1,929	1,250	0,742	0,473	0,445	0,727	1,104	1,492	2,065	2,718	3,038	2,721	3,038

**BILAN RESSOURCES-
BESOINS**

BILAN RESSOURCES-BESOINS

Mois	ressources (m3)	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Annuel
Total ressources (m3) :	année humide	6 781 579	8 377 111	32 116 824	16 726 219	15 156 677	20 721 701	23 823 979	19 519 704	8 050 882	8 056 843	10 544 472	6 966 130	176 842 120
	année moyenne	7 379 887	10 185 949	19 063 512	12 360 172	13 498 875	16 937 611	15 164 712	13 789 162	9 876 403	7 596 627	9 014 723	6 664 491	141 532 124
	année sèche	5 876 453	5 902 269	5 932 440	6 007 798	5 945 124	6 677 277	6 075 294	6 532 229	6 116 541	5 832 389	5 833 702	5 861 557	72 593 073
Total besoins (m3) :	besoins (m3)	11 886 925	7 960 756	4 569 446	3 012 955	2 834 474	4 218 642	7 031 533	9 193 165	13 149 731	16 747 133	19 344 731	17 326 014	117 275 505
	B-R													
(Besoin - Ressources) (m3) :	année humide	5 105 346	-416 355	-27 547 378	-13 713 265	-12 322 203	-16 503 059	-16 792 447	-10 326 539	5 098 849	8 690 290	8 800 259	10 359 884	-59 566 615
	Déficit (%)	43%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	39%	52%	45%	60%	
	année moyenne	4 507 038	-2 225 193	-14 494 066	-9 347 218	-10 664 401	-12 718 969	-8 133 179	-4 595 997	3 273 328	9 150 506	10 330 008	10 661 523	-24 256 619
	Déficit (%)	38%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	55%	53%	62%	
	année sèche	6 010 472	2 058 487	-1 362 994	-2 994 843	-3 110 650	-2 458 635	956 239	2 660 936	7 033 190	10 914 745	13 511 029	11 464 457	44 682 432
	Déficit (%)	51%	26%	0%	0%	0%	0%	14%	29%	53%	65%	70%	66%	