

ROYAUME DU MAROC



INSTITUT AGRONOMIQUE ET VETERINAIRE HASSAN II

MEMOIRE DE TROISIEME CYCLE

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Génie Rural

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DES POMPAGES DES
EAUX SOUTERRAINES POUR L'IRRIGATION DANS
LE PERIMETRE IRRIGUE DES DOUKKALA**

Présenté & soutenu publiquement par :

M^{lle}. Hanane LAMRAHI

Devant le Jury

| | | |
|--------------------------|-----------------|---------------|
| Pr. A. DEBBARH | I.A.V HassanII | Président |
| Pr. A. HAMMANI | I.A.V Hassan II | Rapporteur |
| Mr. M. KUPER | CIRAD | Co-rapporteur |
| Pr. R. ABDELLAOUI | I.A.V.Hassan II | Examineur |
| Mr. A. AKERTIT | ORMVAD | Examineur |
| Pr. A. BOUAZIZ | I.A.V.Hassan II | Examineur |
| Mr. A. GUIMIMI | ORMVAD | Examineur |

- Juillet 2004 -

Institut agronomique et vétérinaire Hassan II
B.P. 6202 Rabat instituts 10101 RABAT MAROC

Tél. : 037 77 17 58/59/45 Télécopie : 037 77 81 35 ou 037 77 58 38 Site Web : www.iav.ac.ma



Dédicaces

A mes chères parents

Source inépuisable d'amour et d'affection, aucune dédicace ne saurait exprimer ma reconnaissance pour votre grande patience, vos sacrifices et votre soutien.

A mes frères et mes sœurs qu'ils trouvent ici l'expression de ma vive gratitude en témoignage de notre fraternité sans égale.

A la grande famille,

A mes chères amies : Hasnae, Lamyia, Malika, Ouafae, Salwa, Zakia, en témoignage des agréables moments qu'on a passé ensemble

A tous les amis (es)

A tous ceux qui me sont chers.

Je dédie ce modeste travail



Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens d'abord à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements de reconnaissance au Pr. Hammani pour son encadrement exceptionnel et son soutien en mobilisant tous les moyens possibles pour la réalisation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent aussi aux professeurs Abdellaoui, Badraoui, et Belabbes pour leurs aides et leurs conseils enrichissant, ainsi que tous le corps professoral et le personnel du département de génie rural.

Je tiens également à remercier la coopération française et plus spécialement Mr.Kuper pour ses efforts remarquables.

J'apprécie très vivement l'aide et le soutien des cadres de l'ORMVAD, et plus précisément Mme Gana, Mr. Majjouj, Mr. Akertit, Mr. Bounamous et Mr. Khaldi et tout l'équipe technique qui ont bien voulu mettre à ma disposition les données et les moyens nécessaires pour l'élaboration de ce travail.

A Mr le président et à tous les membres de jury qui nous a fait l'honneur de bien vouloir juger ce travail, mes remerciements les plus vifs.

Enfin, à ma famille, à mes amis et à tous ceux qui ont participés de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail, vous trouvez ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

RESUME

Le périmètre irrigué des Doukkala compte parmi les plus importants et les plus anciens périmètres aménagés en grande hydraulique. Les sécheresses répétitives et la limitation des ressources en eau n'ont pas permis la valorisation des énormes efforts consentis en matière des aménagements hydro agricoles d'où le développement de l'exploitation de la nappe.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre du projet Inco-Wademed (Contrat n° :ICA3-CT-2002-10014) visant la mise en place d'une base de connaissances sur la gestion de la demande en eau dans les pays du Maghreb. Cette étude s'intéresse à l'identification et l'évaluation de l'exploitation de la nappe pour des fins agricoles au moyen d'indicateurs qualitatifs et quantitatifs. Elle cherche également à comprendre les modalités de gestion de l'eau souterraine dans le périmètre irrigué des Doukkala.

Le recours au pompage privé trouve sa justification dans les servitudes de l'eau de surface et les aléas climatiques. La disponibilité de l'eau souterraine permet à l'agriculteur d'être autonome quant à la programmation des irrigations. Cependant, les pompes n'ont pas été accompagnés par une diversification des cultures et une amélioration des rendements par rapport à la situation avant sécheresse puisque l'eau souterraine ne sert qu'à combler le déficit hydrique engendré par le manque d'eau de surface pour les cultures existants.

La limitation de l'utilisation de l'eau souterraine à l'échelle de l'exploitation agricole revient essentiellement à la qualité dégradée des eaux souterraines (eaux fortement à très fortement salées et teneurs en nitrates très élevées) et le coût élevé du pompage (0,43 à 6,21 DH/m³) d'où l'utilisation conjointe (alternée ou mixte) de l'eau souterraine et de l'eau de surface.

Le coût élevé de pompage est une conséquence naturelle de l'état actuel. Plusieurs indicateurs qualitatifs (autorisation, observation de l'état du matériel, équipement, études préliminaires...) et quantitatifs (rendement global, les impacts d'utilisation de l'eau..) ont prouvés le mauvais fonctionnement des installations de pompage.

L'étude de la valorisation économique de l'eau pompée a montré l'importance des charges de l'irrigation liées au pompage dans la facture de production, et l'amélioration des revenus qu'a offert la mise en pompage.

Mots clés : Doukkala, nappe phréatique, exploitation de nappe, irrigation, pompage privé, rendement global, salinité.

SUMMARY

The perimeter irrigated of the Doukkala is counted among the most important and oldest perimeters distributed in big hydraulics. The repetitive droughts and the limitation of water resources didn't permit the enormous effort valorization agreed concerning the agricultural hydro amenities from where the development of the exploitation of the water table.

The present work is registered in the setting of the Inco-Wademed project aiming the modernization and the setting up of a knowledge basis on the management of the water demand in countries of the Maghreb. This survey interests itself to identification and the assessment of the exploitation of the water table for the agricultural ends by the qualitative and quantitative indicators, it looks again to understand modes of management of the underground water.

The recourse to the deprived pumping finds is justified by the servitude of the surface water and the climatic risks, so, the availability of the underground water allows the agriculturist to be autonomous as for the programming of irrigations. However, the stake in pumping has not been accompanied with a diversification of cultures and an improvement of outputs in comparison with the situation before drought, the underground water serves only to fill deficit hydrique.

The limited use of the underground water to the ladder of the agricultural exploitation essentially comes back to the quality degraded of the underground waters (waters greatly to very greatly salty and nitrates contents elevated) and the elevated cost of pumping (0,43 to 6,21 DH/m³) from where the conjoined utilization (alternate or mixed) of the underground water and the water of surface.

The elevated cost of pumping is a natural consequence of several factors summarized in the anarchy of which is managed this sector, several qualitative indicators (authorization, observation of the state of the material, equipment, exploratory studies...) and quantitative (global output, impacts of water's utilization..) proved the bad working of this sector.

The survey of the economic valorization of the pumped water showed the importance that represents loads of the irrigation bound to the pumping in the invoice of production, and the improvement of incomes that offered the stake in pumping.

Key words: Doukkala, watertable, exploitation of watertable, private pumping, global output, saltiness.

SOMMAIRE

| | |
|-----------------------------|--------|
| RESUME | - 3 - |
| SUMMARY | - 4 - |
| SOMMAIRE | - 5 - |
| Liste des figures..... | - 10 - |
| Liste des tableaux..... | - 11 - |
| Liste des annexes..... | - 13 - |
| Liste des abréviations..... | - 14 - |

INTRODUCTION

| | |
|-------------------------------------|---|
| 1. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS | 1 |
| 2. METHODOLOGIE D'APPROCHE | 3 |

PREMIERE PARTIE **REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

CHAPITRE I **GENERALITES**

| | |
|---|----|
| I. ETUDES PRELIMINAIRES..... | 6 |
| 1. LA PROSPECTION | 6 |
| 2. LA RECONNAISSANCE | 7 |
| II. L'OUVRAGE DE L'EXPLOITATION | 7 |
| 1. TECHNIQUES DE FORAGE ET DE FONÇAGE DE PUIITS | 7 |
| 1.1. Puits et puits forés | 7 |
| 1.1.1. Puits traditionnels..... | 7 |
| 1.1.2. Puits modernes | 8 |
| 1.1.3. Puits forés..... | 8 |
| 1.2. Forage d'eau..... | 8 |
| 1.2.1. Par percussion ou battage..... | 9 |
| 1.2.2. Rotary | 9 |
| 1.2.3. Autres méthodes | 9 |
| 2. ESSAIS DE POMPAGES | 10 |
| 3. POMPAGE | 11 |
| 3.1. Pompes | 11 |
| 3.1.1. Pompes centrifuges | 11 |
| 3.1.2. Groupes de pompes centrifuges | 12 |

| | |
|--|----|
| 3.1.3. Courbes Caractéristiques des pompes centrifuges | 13 |
| 3.1.4. Le point de fonctionnement..... | 14 |
| 3.1.5. La combinaison des pompes | 15 |
| 3.1.6. Erreurs de dimensionnement de réseau..... | 15 |
| 3.2. Equipements hydrauliques | 16 |
| 3.2.1 Equipement en amont : aspiration..... | 16 |
| 3.2.2. Equipements en aval : refoulement | 16 |
| 3.3. Entraînement des pompes..... | 16 |
| 3.3.1. Les moteurs thermiques | 16 |
| 3.3.2 Les moteurs électriques..... | 17 |
| 3.4. L'alimentation en énergie..... | 18 |
| 3.4.1. Les produits pétroliers..... | 18 |
| 3.4.2. Les carburants de remplacement | 18 |
| 3.4.3. L'électricité | 18 |
| 3.5. Diagnostic d'une petite station de pompage | 19 |
| 4. AMELIORATION DE LA PRODUCTIVITE DES OUVRAGES..... | 20 |
| III. UTILISATION DE L'EAU SOUTERRAINE..... | 21 |
| 1. EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'EAU | 21 |
| 2. IMPACT SUR LES RENDEMENTS..... | 21 |
| IV. COUT DE POMPAGE | 22 |

DEUXIEME PARTIE

LES POTENTIALITES DE LA ZONE

CHAPITRE II

PRESENTATION DU PERIMETRE IRRIGUE DES DOUKKALA

| | |
|---|----|
| GENERALITES..... | 25 |
| I. LE MILIEU PHYSIQUE | 26 |
| 1. LE CLIMAT..... | 26 |
| 1.1. La pluviométrie | 26 |
| 1.2. La température..... | 27 |
| 1.3. L'évaporation et l'évapotranspiration | 29 |
| 1.4. L'hygrométrie et les vents..... | 30 |
| 2. GEOLOGIE | 30 |
| 3. LES RESSOURCES EN SOL | 31 |
| 3.1. Les types de sol rencontrés dans le périmètre | 31 |
| 3.2. Qualité Des Sols Périmètre Bas Service Des Doukkala..... | 32 |
| 3.3. Qualité Des Sols du périmètre Haut Service..... | 33 |
| II. LES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE | 33 |
| 1. LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE..... | 33 |
| 2. LA DISPONIBILITE DE L'EAU DE SURFACE..... | 37 |
| 3. QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION | 38 |
| III. AMENAGEMENT HYDRO – AGRICOLE | 39 |
| 1. EQUIPEMENT | 39 |

| | | |
|-----|--|----|
| 2. | LES CASIERS D'IRRIGATION BAS SERVICE | 40 |
| 3. | LE PERIMETRE HAUT SERVICE..... | 41 |
| 4. | LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT EXTERNE | 41 |
| IV. | LA MISE EN VALEUR AGRICOLE | 42 |
| V. | CONCLUSION | 43 |

CHAPITRE III

LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

| | | |
|--------|--|----|
| I. | L'HYDROGEOLOGIE..... | 44 |
| 1. | LES FORMATIONS HYDROGEOLOGIQUES | 44 |
| 2. | STRUCTURE DES FORMATIONS AQUIFERES..... | 45 |
| 2.1. | Nappes profondes | 45 |
| 2.1.1. | nappe du crétacé inférieur | 46 |
| 2.1.2. | nappe du jurassique | 46 |
| 2.2. | nappe supérieure ou plio-quadernaire | 46 |
| 2.3. | nappes perchées..... | 46 |
| 3. | PARAMETRES HYDRAULIQUES | 48 |
| 4. | PIEZOMETRIE..... | 48 |
| 4.1. | Résultats de suivi de la période 1998 à 2000 | 49 |
| 4.2. | Sens de l'écoulement..... | 51 |
| 4.3. | Gradients Hydrauliques..... | 51 |
| 4.4. | Evolution de la piézométrie..... | 51 |
| 4.4.1. | Évolution intra annuelle | 51 |
| 4.4.2. | Evolution inter annuelle | 52 |
| 5. | LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES | 52 |
| 5.1. | Périmètre bas service..... | 52 |
| 5.1.1. | La salinité | 52 |
| 5.1.2. | Les nitrates | 54 |
| 5.2. | Périmètre haut service | 56 |
| II. | LE BILAN HYDROGEOLOGIQUE | 57 |
| 1. | SCHEMA DU BILAN | 57 |
| 2. | LES APPORTS | 58 |
| 2.1. | Evaluation des apports des pluies..... | 58 |
| 2.2. | Apports d'irrigation..... | 59 |
| 2.3. | La drainance | 59 |
| 2.4. | Les apports latéraux | 60 |
| 3. | LES SORTIES | 61 |
| 3.1. | Les sorties latérales | 61 |
| 3.2. | Les pompages..... | 61 |
| 3.3. | Les prélèvements pour l'AEPI | 62 |
| 3.4. | L'évapotranspiration et l'évaporation | 62 |
| III. | CONCLUSION | 63 |

TROISIEME PARTIE
ETUDE DES POMPAGES DANS LES ARRONDISSEMENTS
DE SIDI BENNOUR ET FAREGH

CHAPITRE IV
MATERIELS ET METHODES

| | | |
|------|--|----|
| 1. | LA POPULATION CIBLE..... | 66 |
| 2. | LE PROCEDE DE L'ECHANTILLONNAGE..... | 66 |
| 3. | LE QUESTIONNAIRE..... | 67 |
| 4. | ENTRETIEN AVEC LES RESPONSABLES DES ENTREPRISES DE VENTE DE MATERIEL DE POMPAGE..... | 68 |
| 5. | INTERVIEW AUPRES DES RESPONSABLES DE L'ORMVAD..... | 68 |
| 6. | LES MESURES..... | 68 |
| 6.1. | LA PIEZOMETRIE..... | 68 |
| 6.2. | LE DEBIT..... | 68 |
| 6.3. | LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE..... | 70 |
| 6.4. | Les essais de pompage..... | 70 |
| 7. | LES METHODES D'ANALYSE DES DONNEES..... | 71 |

CHAPITRE V
ETUDE DES POMPAGES DANS LES ARRONDISSEMENTS
DE SIDI BENNOUR & FAREGH

| | | |
|--------|---|----|
| I. | ETUDE INTRODUCTIVE..... | 73 |
| 1. | LE RECOURS AU POMPAGE..... | 73 |
| 2. | STATUT FONCIER DES EXPLOITATIONS ENQUETEES..... | 73 |
| 3. | IDENTIFICATION DES EXPLOITANTS..... | 74 |
| 4. | AGRICULTURE..... | 75 |
| 4.1. | Les assolements..... | 75 |
| 4.2. | Le taux d'intensification cultural..... | 76 |
| 4.3. | Typologie des exploitations..... | 77 |
| 4.4. | Evolution des rendements..... | 78 |
| 5. | SCHEMAS D'IRRIGATION..... | 78 |
| 6. | L'ELEVAGE..... | 79 |
| 7. | DENSITE DES STATIONS DE POMPAGE PRIVEES..... | 79 |
| 8. | TYPES DES DISPOSITIFS DE CAPTAGE D'EAU..... | 81 |
| 9. | LES DEMANDES D'AUTORISATION (ANNEXE 4)..... | 82 |
| II. | CARACTERISTIQUES DES STATIONS DE POMPAGE PRIVE..... | 84 |
| 1. | EQUIPEMENT ET PROFONDEUR CREUSEE..... | 84 |
| 2. | CARACTERISTIQUES DES MOTOPOMPES..... | 84 |
| 2.1. | Les moteurs..... | 84 |
| 2.1.1. | Les moteurs thermiques..... | 84 |
| 2.1.2. | Les moteurs électriques..... | 84 |
| 2.2. | Les pompes..... | 85 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 3. | MODE D'ACHAT DE GROUPE MOTOPOMPE | 86 |
| 4. | DIAGNOSTIC DU FONCTIONNEMENT DES STATIONS DE POMPAGE..... | 86 |
| III. | CARACTERISATION DE LA NAPPE | 87 |
| 1. | RESULTATS | 90 |
| 2. | INTERPRETATION DES RESULTATS..... | 88 |
| 2.1. | La bathymétrie et la salinité | 88 |
| 2.2. | Le débit spécifique | 89 |
| 2.3. | Quelques conclusions | 89 |
| 2.4. | La transmissivité et la perméabilité..... | 90 |
| III. | UTILISATION DE L'EAU SOUTERRAINE..... | 92 |
| 1. | DE POINT DE VUE QUANTITATIF | 92 |
| 1.1. | La distribution des volumes pour l'irrigation..... | 92 |
| 1.2. | Les bilans hydriques | 93 |
| 1.2.1. | Les termes de bilan hydrique | 94 |
| 1.2.2. | Le bilan hydrique et le degré de satisfaction des besoins | 95 |
| 1.2.3. | L'efficacité d'utilisation de l'eau | 97 |
| 2. | DE POINT DE VUE QUALITATIF | 99 |
| 2.1. | Impact sur les rendements | 99 |
| 2.2. | Impact sur le sol | 103 |
| IV. | CONCLUSION | 104 |

CHAPITRE VI

LA VALORISATION ECONOMIQUE DE L'EAU POMPEE

| | | |
|--------|--|-----|
| 1. | LES CHARGES | 105 |
| 1.1. | L'EAU..... | 105 |
| 1.1.1. | L'eau de surface | 105 |
| 1.1.2. | L'eau souterraine..... | 106 |
| 1.1.3. | Le Coût de l'utilisation conjuguée | 108 |
| 1.2. | LES CHARGES DE PRODUCTION | 109 |
| 1.3. | LES CHARGES ENERGETIQUES..... | 112 |
| 1.3.1. | Par rapport aux charges de pompage pour irrigation | 112 |
| 1.3.2. | Par rapport aux charges totales d'eau..... | 113 |
| 1.3.3. | Par rapport aux charges globales de production..... | 113 |
| 2. | LE RAPPORT COUTS/BENEFICES | 113 |
| 3. | CONCLUSION | 115 |
| | CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS | 117 |
| | REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 121 |
| | LISTE DES ANNEXES..... | 126 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|-----|
| Figure 1 : Evolution de la pluviométrie pour une série de 39 ans..... | 26 |
| Figure 2 : Evolution intra annuelle de la pluviométrie moyenne de 39 ans et la pluviométrie de 2002/2003..... | 27 |
| Figure 3 : Evolution interannuelle de la température | 28 |
| Figure 4 : Evolution intra annuelle de la température moyenne | 28 |
| Figure 5 : Evolution intra annuelle moyenne mesurée à SEHA. | 29 |
| Figure 6 : Evolution inter annuelle de l'évapotranspiration..... | 29 |
| Figure 7 : Distribution des types de sols dans le périmètre..... | 32 |
| Figure 8: Réseau hydrographique dans le périmètre irrigué | 36 |
| Figure 9 : Evolution des apports de l'Oum Er Rbia au barrage El Massira par..... | 37 |
| Figure 10 : Evolution de la dotation réelle par rapport à la dotation normale | 38 |
| Figure 11 : Evolution des apports en sels provenant de l'eau de surface..... | 39 |
| Figure 12 : Occupation des sols | 42 |
| Figure 13: Extension des principales formations aquifères, | 47 |
| Figure 14: Site d'étude des eaux souterraines | 48 |
| Figure 15 : Carte piézométrique 1998..... | 50 |
| Figure 16 : Les conductivités électriques de la nappe phréatique dans le périmètre bas service 1998..... | 53 |
| Figure 17 : Les teneurs en nitrates des eaux de la nappe phréatique dans le périmètre bas service.1998..... | 55 |
| Figure 18: Les apports par les eaux de pluie moyens de 39ans. | 58 |
| Figure 19 : Localisation des échantillons..... | 72 |
| Figure 20 : Evolution des autorisations | 82 |
| Figure 21: Distribution des volumes d'eau de surface et de la nappe | 93 |
| Figure 22: Les charges relatives à l'eau d'irrigation | 109 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|-----|
| Tableau 1 : Les groupes des pompes centrifuges..... | 12 |
| Tableau 2 : Classification des pompes suivant Ns | 14 |
| Tableau 3 : Erreurs de dimensionnement de réseau | 15 |
| Tableau 4 : Présentation du tarif vert | 19 |
| Tableau 5 : Structure foncière dans le périmètre des Doukkala..... | 25 |
| Tableau 6: complexe hydraulique du bassin | 34 |
| Tableau 7: les principaux oueds saisonniers dans le périmètre..... | 34 |
| Tableau 8 : Equipement hydro agricole | 39 |
| Tableau 9 : Casiers irrigués par aspersion et leurs superficies..... | 41 |
| Tableau 10 : les niveaux des rendements (Moyenne 1993-2002)..... | 43 |
| Tableau 11: Eléments suivis et indicateurs de suivi..... | 49 |
| Tableau 12 : le taux de diminution de la piézométrie par casier..... | 51 |
| Tableau 13 : les variations de la piézométrie entre Mars 96 et Mars 99..... | 52 |
| Tableau 14 : les conductivités électriques de la campagne 2001 /2002..... | 53 |
| Tableau 15 : qualification des puits suivis | 54 |
| Tableau 16: répartition spatiale des classes de salinité dans le périmètre Haut Service..... | 56 |
| Tableau 17 : répartition des lames d'eau consommées et infiltrées par casier : | 59 |
| Tableau 18 : la répartition des ressources en eau | 63 |
| Tableau 19: Distribution de fréquence des strates retenues pour les 896 exploitations..... | 67 |
| Tableau 21: SAU et UTH pour chaque exploitation | 74 |
| Tableau 22: Les assolements de la campagne 2002/2003 en pourcentage. | 76 |
| Tableau 23 : Répartition de taux d'intensification cultural par catégorie de superficies..... | 76 |
| Tableau 24: Typologie des exploitations | 77 |
| Tableau 25: Les modes d'irrigation par agriculteur et par source d'eau..... | 79 |
| Tableau 26 : La date de mise en eau des casiers et la densité des ouvrages | 80 |
| Tableau 27: Les types de dispositifs et leurs dates de creusement..... | 81 |
| Tableau 28 : Calcul des rendements globaux des installations de pompage..... | 86 |
| Tableau 29 : Résultats des mesures..... | 88 |
| Tableau 30 : Les valeurs des débits spécifiques..... | 89 |
| Tableau 31 : La lame d'eau dans les ouvrages..... | 89 |
| Tableau 32 : L'écart entre la profondeur de la crépine et le niveau rabattu..... | 90 |
| Tableau 33 : Le rabattement unitaire..... | 90 |
| Tableau 34 : Les valeurs de transmissivité et de perméabilité..... | 91 |
| Tableau 35 : La qualité des ouvrages..... | 91 |
| Tableau 36 : Les pluies efficaces moyennes | 94 |
| Tableaux 37 : Les bilans hydriques et les degrés de satisfaction des besoins..... | 95 |
| Tableau 38 : Efficience d'utilisation de l'eau des betteraves..... | 97 |
| Tableau 39 : Efficience d'utilisation de l'eau de la luzerne | 98 |
| Tableau 40 : Efficience d'utilisation de l'eau du bersim | 98 |
| Tableau 41 : Efficience d'utilisation de l'eau du blé dur | 98 |
| Tableau 42 : Efficience d'utilisation de l'eau du blé tendre | 98 |
| Tableau 43 : Efficience d'utilisation de l'eau des cultures d'été | 99 |
| Tableaux 44 : Calcul de ratio de Willardson..... | 100 |
| Tableau 45 : La part des eaux souterraines | 101 |
| Tableau 46 : Les apports en sels..... | 103 |
| Tableau 47 : La tarification appliquée dans les casiers d'études | 105 |
| Tableau 48 : Le calcul de coût de pompage (coûts fixes)..... | 106 |
| Tableau 49 : Le calcul de coût de pompage (coûts variables et coûts de pompage)..... | 107 |

| | |
|--|-----|
| Tableau 50 : Autres usages de l'eau pompée | 108 |
| Tableau 51 : Résultats de calcul des charges | 110 |
| Tableau 52 : Les charges énergétiques par rapport aux charges de pompage..... | 112 |
| Tableau 53 : Les charges énergétiques par rapport aux charges totales d'irrigation | 113 |
| Tableau 54 : Les charges énergétiques par rapport aux charges globales..... | 113 |
| Tableau 55 : Les charges globales de production | 114 |
| Tableau 56 : Les recettes globales de production | 114 |
| Tableau 57 : Le rapport bénéfice/coût..... | 114 |

LISTE DES ANNEXES

| | |
|---|-----|
| Annexe 1 : Fiche d'enquête..... | 127 |
| Annexe 2 : Evolution des volumes d'eau superficielle consommés au niveau des deux casiers. | 135 |
| Annexe 3 : Distribution de nombre de puits dans les CGR | 136 |
| Annexe 4 : Détail des autorisations de 1995 à 2003 | 136 |
| Annexe 5 : Caractéristiques des moteurs | 137 |
| Annexe 6 : Caractéristiques des pompes..... | 137 |
| Annexe 7 : Courbes caractéristiques des essais de pompage traitées par AQUITEST..... | 138 |
| Annexe 8 : Classification des eaux d'irrigation suivant leur salinité..... | 143 |
| Annexe 9 : Les valeurs approximatives de la perméabilité de divers terrains | 143 |
| Annexe 10 : Besoins en eau des cultures habituellement pratiquées dans les Doukkala..... | 144 |
| Annexe 11 : Tolérance des cultures à la salinité | 145 |
| Annexe 12 : Coût de l'utilisation conjuguée..... | 145 |
| Annexe 13 : Détail des charges des cultures | 153 |
| Annexe 14 : Tableau récapitulatif des charges globales par culture | 157 |

LISTE DES ABREVIATIONS

| | |
|--------|--|
| AEPI | : alimentation en eau potable et industrie |
| AG | : agriculteur |
| AUEA | : association des usagers d'eau agricole |
| CE | : conductivité électrique |
| DGH | : direction générale d'hydraulique (actuellement administration d'hydraulique) |
| DGRID | : département de gestion de réseau d'irrigation et de drainage |
| DPA | : département provincial d'agriculture |
| DRH | : direction régionale d'hydraulique |
| DRPE | : direction de recherche et de planification des eaux |
| ECR | : ratio de la conductivité électrique |
| EUE | : efficacité d'utilisation de l'eau |
| F | : casier Faregh |
| IAV | : institut agronomique et vétérinaire Hassan II |
| OMS | : organisation mondiale de santé |
| ORMVAD | : office régional de mise en valeur agricole des Doukkala |
| PES | : Proportion des eaux souterraines dans un mélange |
| RDT | : rendement |
| Rg | : rendement global d'une installation de pompage |
| SAU | : superficie agricole utile |
| SB | : casier Sidi Bennour |
| SRU | : service des relations avec les usagers |
| TIC | : taux d'intensification cultural |
| UTH | : unité de travail humain |

Introduction

INTRODUCTION

1. Problématique et Objectifs

Le climat du Maroc et plus précisément dans la région des Doukkala est caractérisé par une pluviométrie très variable (un coefficient de variation mensuel dépassant en général 90%) et une sécheresse répétitive. Par conséquent, les apports de l'oued Oum Er Rbia sont également fluctuants et prennent des valeurs en dessous de la moyenne depuis les années 1980 à l'exception de deux campagnes 1995/1996 et 1996/1997. Ainsi les dotations réelles en eau de surface n'ont jamais répondu aux besoins de l'irrigation et elles sont actuellement inférieures aux dotations normales adoptées dans le plan d'aménagement. Cette situation a amené les agriculteurs à aller chercher des ressources en eaux supplémentaires dans les nappes souterraines d'où le développement intense des pompages privés dans certaines zones du périmètre irrigué des Doukkala. Le recours au pompage a permis aux agriculteurs de rétablir leurs pratiques culturales de la période avant sécheresse en garantissant ainsi la stabilité de l'approvisionnement en eau. Cependant, cette stabilité n'est pas garantie car la disponibilité et la durabilité des ressources en eau souterraine ne sont pas maîtrisées.

En effet, selon la campagne de recensement des puits effectuée en 2001, le nombre évalué a été d'environ 1000 puits et forages à l'intérieur de la plaine. 233 autorisations de creusement et de prélèvement ont été accordées pendant les années 2002 et 2003.

Ce développement est peu contrôlé et ce recensement n'est pas exploité puisque ces informations restent au niveau des arrondissements de gestion de réseau. Ainsi peu d'informations concernant la constitution et le fonctionnement des stations de pompage privées et la contribution de ce secteur dans l'amélioration des revenus agricoles existent.

En outre, les prélèvements à partir de la nappe pour des fins agricoles restent inconnus, par conséquent, l'établissement d'un bilan hydrogéologique reste difficile ce

qui explique le point d'interrogation mis par la DGH sur le fichier de la nappe des Doukkala.

L'ORMVAD en collaboration avec l'IAV Hassan II a établi un système de suivi et de surveillance afin de contrôler l'évolution et la dynamique de la qualité et la piézométrie. Cependant, ce réseau ne contrôle pas la totalité de la nappe et le planning des mesures n'est pas forcément respecté pour des raisons logistiques.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre du projet Inco–Wademed (Contrat n° :ICA3-CT-2002-10014) visant la mise en place d'une base de connaissances sur la gestion de la demande en eau dans les pays du Maghreb. Il a pour objectif global de caractériser l'exploitation agricole des eaux souterraines et se propose :

- d'identifier les ressources en eau dans la région des Doukkala quantitativement et qualitativement afin d'évaluer le potentiel d'eau prêt à être exploité et plus spécifiquement des eaux souterraines ;
- de caractériser la situation actuelle des stations de pompage au niveau des exploitations agricoles;
- d'étudier les stratégies des agriculteurs quant à l'utilisation de l'eau souterraine ;
- de faire une analyse sur la valorisation agronomique (EUE)et économique des eaux pompées. La finalité est de voir la contribution des pompages dans l'amélioration des revenus des agriculteurs.

Deux arrondissements ont été choisis pour la présente étude : Sidi Bennour et Faregh. Ce choix est justifié par le nombre élevé des puits présents dans ces deux casier (environ 80 % du nombre total des puits selon l'ORMVAD).

2. Méthodologie d'approche

Pour atteindre ces objectifs et répondre à la problématique imposée, l'approche suivante a été adoptée :

- dépouillement des données existantes relatives à l'état des ressources en eau dans les Doukkala et à la qualité des eaux et des sols à partir des études et des informations existantes à l'ORMVAD et à l'Agence de Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia et celui de la DRH Tensift ;
- Echantillonnage des exploitations agricoles à enquêter ;
- Enquêtes auprès des agriculteurs échantillonnés en dehors du réseau de suivi. Elles portent sur les caractéristiques des stations des pompages des points de vue équipement, débits prélevés, stratégies de l'utilisation de l'eau, nature et coûts de l'exploitation et de production ;
- Visites de quelques fournisseurs de matériel pour mieux comprendre le fonctionnement et les stratégies des agriculteurs ;
- Mesures de quelques paramètres (piézométrie, salinité, débit), et essai de débit afin de caractériser l'exploitation de la nappe ;

Le présent document est organisé en deux parties. Après une étude bibliographique des principales notions dont on a besoin dans une première partie, on a présenté dans le deuxième chapitre la zone d'études de point de vue géologique, climatologique, pédologique et hydrologique, en plus de quelques indications d'ordre général. Le troisième chapitre est consacré à l'évaluation des ressources en eau souterraine qualitativement et quantitativement à partir des données disponibles et un traitement personnel pour compléter l'information manquante.

La troisième partie commence par l'exposé des méthodes et du matériel utilisés pendant les enquêtes sur le terrain, puis deux chapitres se présentent pour interpréter les données obtenues pendant les enquêtes.

La caractérisation des pratiques des pompages et leurs impacts s'est faite grâce aux indicateurs qualitatifs et quantitatifs.

D'autres enquêtes ont été effectuées dans le cadre du projet Wademed permettant la compréhension des modalités de gestion de l'eau de surface. Les causes et les conséquences de conflits empêchant l'utilisation efficiente de l'eau, les facteurs incitateurs au pompage et les stratégies des agriculteurs bénéficiant uniquement de l'eau de surface face aux servitudes du réseau. Des réunions assistées avec des experts dans le même cadre ont permis de mieux se situer dans la problématique.

Première partie

Revue bibliographique

Chapitre 1

GENERALITES

I. ETUDES PRELIMINAIRES

Avant d'implanter un ouvrage, les études préalables du milieu sont d'un grand intérêt pour la connaissance des caractéristiques du site de point de vue nature des couches à traverser, le type et la profondeur de la nappe ainsi les caractéristiques de l'installation à envisager.

1. La prospection

La recherche d'un site favorable nécessite :

- i. Des visites afin d'examiner la position et les caractéristiques des sources, les ouvrages voisins, la végétation naturelle...
- ii. La consultation des études hydrogéologiques afin de déterminer les caractéristiques majeures du terrain à partir des cartes hydrogéologiques (étendue, formations géologiques, ...). à cette étape, une première sélection du site a été faite.
- iii. Des études expérimentales géophysiques permettant de mieux situer le site le plus propice grâce à :
 - la méthode sismique qui consiste à appliquer une charge donnée sur le sol et enregistrer en un autre point distant du premier d'une longueur fixe le temps d'arrivée de l'onde de choc. L'opération se recommence avec des distances doubles. La vitesse de l'onde varie en fonction de la structure géologique.
 - La méthode de résistivité sert à déceler la structure des couches aquifères au moyen des mesures électriques faites en surface. Chaque valeur de résistivité ainsi mesurée indique un type donné de terrain.
 - La méthode de gravimétrie qui se base sur la différence entre la valeur nominale de l'accélération de la pesanteur et l'accélération mesurée au

moyen d'un pendule. Elle offre des indications sur la profondeur des nappes et leur hydraulicité.

- iv. Des avis de certaines personnes possédant l'intuition de l'eau méritent souvent d'être entendus et examinés.

2. La reconnaissance

Les informations recueillies auparavant nécessitent d'être vérifiées et précisées. Cette étape vise l'exploration du terrain en profondeur au moyen d'un sondage foré en petit diamètre. Pour cela trois méthodes de fonçage existent :

- i.** Le fonçage par percussion.
- ii.** Le fonçage par injection.
- iii.** La reconnaissance au rotary.

L'analyse et l'interprétation des échantillons prélevés permettent de mieux connaître le site prévu (perméabilité, transmissivité...)

Les essais des couches aquifères sont aussi très utiles pour s'approcher au débit et à la productivité.

II. L'OUVRAGE DE L'EXPLOITATION

1. Techniques de forage et de fonçage de puits

1.1. Puits et puits forés

1.1.1. Puits traditionnels

Ils sont manœuvrés par des puisatiers au moyen des outils rudimentaires (pioche, houe, barre à mine). Les déblais sont dégagés par corde et sceau. Le soutènement est effectué uniquement dans les passées de terrain fragile et à l'aide de bois ou des pierres. Cette technique n'est pas valable dans le cas où les terrains sont très durs ou éboulant, ces ouvrages ne pénètrent plus que 0,50m dans la nappe et ne peuvent pas aller plus que 20 à 30 m.

Leurs durées de vie sont variables suivant la nature du terrain (20 à 30 ans).

1.1.2. Puits modernes

Le creusement s'effectue sous plusieurs méthodes selon la dureté du terrain : allant de la pioche à l'explosif. L'évacuation des déblais est réalisée manuellement à l'aide de seaux et de treuil à main, ou mécaniquement grâce aux grues à moteur.

Le cuvelage consiste à recouvrir la zone stérile :

- avec du béton armé appliqué par tranches ou en une seule passe suivant la nature du terrain,
- avec du béton armé descendu par havage pour les terrains instables où le soutènement de parois doit être faite immédiatement,
- en cuvelage métallique au moyen des tôles en aciers galvanisés.

Le fond du puit est équipé d'une dalle superposée aux graviers pour éviter la remontée des particules fines.

1.1.3. Puits forés

Ce sont des puits réalisés mécaniquement ou encore des forages de grand diamètre (> 1m). La réalisation de ce type d'ouvrage nécessite le recours aux techniques spécifiques telles que :

- le rotary en circulation inverse
- le battage en grand diamètre
- le forage à la tarière

1.2. Forage d'eau

Le forage d'exploitation est le résultat d'alésage du forage de reconnaissance ou bien il est implanté à quelques mètres du celui de reconnaissance qui sera équipé d'un piézomètre dans le but de faciliter les essais de pompage.

Les appareils de forage se disposent d'éléments communs : mât, trépied, chevalement, de poulies, câbles et haubans.

Ces superstructures sont montées afin de réduire le temps mort d'installation et de démontage.

Plusieurs techniques se présentent.

1.2.1. Par percussion ou battage

La plus ancienne est la plus avantageuse dans le contexte des Doukkala pour plusieurs considérations :

- utilisée dans les cas où les travaux manuels sont difficilement exécutables : un sol engorgé d'eau et instable.
- indiquée pour des formations dures : calcaires...
- préférée dans le cas des formations très perméables (fissurées, karstiques...)

Elle consiste à soulever un outil lourd (trépan) et à le laisser retomber sur la roche à perforer. La hauteur de la chute et la fréquence des coups varient en fonction de la dureté de la roche. Il existe deux procédés, le battage au câble, où l'outil et la masse tige sont suspendus à un câble métallique, et le battage à tiges, ce dernier est le plus répandu et il se caractérise par la présence d'un trépan surmonté d'une masse tige et suspendu à un train de tiges vissées les unes aux autres au fur et à mesure de l'avancement de forage.

1.2.2. Rotary

La pénétration de l'outil s'effectue par abrasion et broyage du terrain par rotation sans chocs. Un atelier de forage rotary se constitue en plus d'un outil des masses- tiges, d'un train de tiges, d'une tige carrée et d'une tête d'injection. Sous la double action (rotation et pression) de ces organes, l'outil détache du terrain, au fond du trou, les sédiments sont remontés sous l'action de la boue de forage injectée à l'intérieur des tiges par la pompe par l'espace annulaire.

1.2.3. Autres méthodes

- le havage est employé pour des trous peu profonds et de grands diamètres
- le turboforage où l'atelier est équipé d'une turbine hydraulique permettant des avancements moyens doubles de ceux obtenus par le rotary traditionnel.
- le forage électrique où la turbine est remplacé par un moteur électrique.

Les chercheurs recommandent de pousser le forage jusqu'au mur de la couche aquifère pour deux raisons :

- mettre toute la couche en production ;
- rabattre le niveau d'eau au maximum.

En plus, leur expérience montre que l'exploitation du tiers inférieur (ou, au plus la moitié) de l'épaisseur de l'aquifère offre plusieurs avantages :

- réduire la vitesse de l'entrée de l'eau dans la crépine ;
- augmenter le rabattement, donc, le débit ;
- donner une eau moins chère au mètre cube pompé. (Mabillot, A, 1988)

2. Essais de pompages

Ces essais sont indispensables pour pouvoir exploiter les eaux souterraines, ils sont très utiles pour éviter l'interférence des deux ouvrages voisins.

Dans les essais de pompage, on mesure le temps, les profondeurs et les débits ou les volumes. Un essai peut durer de quelques heures à quelques semaines.

L'interprétation des résultats de mesure s'appuient sur les théories de DARCY, THEIS, DUPUIT ou JACOB suivant les conditions expérimentales.

Dans ce qui suit, on adopte la méthode de Jacob puisqu'on possède un seul piézomètre, elle consiste à reporter sur un graphique semi-logarithmique le rabattement S en fonction du temps après changement de variable. La valeur de transmissivité est donc estimée par la formule :

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{\Delta s}$$

Avec

- T : la transmissivité en m³/s et par mètre de largeur ;
- Q : le débit de pompage en m³/s ;
- Δs : un abaissement de niveau pour un cycle logarithmique de temps (m) ;
- 0,183 : un coefficient de correspondance.

Un aquifère est estimé très intéressant à exploiter si sa transmissivité est supérieure ou égale à 150m^3 par jour et par mètre de largeur de l'aquifère. L'exploitation reste valable pour des valeurs de transmissivité comprises entre 15 et $150\text{ m}^2/\text{j}$. au-delà de $15\text{ m}^2/\text{j}$, le puits/forage ne peut guère servir qu'à répondre aux besoins minimes. (Mabilot, A. 1988).

Les valeurs de la perméabilité sont encore estimées par la formule :

$$T = K \cdot E$$

Avec

- T : la transmissivité en m^2/j (ou encore en m^2/s).
- K : la perméabilité de l'aquifère en $\text{m}^3/\text{j}.\text{m}^2$ (ou encore en m/s).
- E : l'épaisseur moyenne de l'aquifère, elle correspond à la hauteur mouillée du terrain productif à l'état statique.

La DGH rapproche ce terme à 15m.

3. Pompage

3.1. Pompes

Ou aussi machines élévatoires sont de trois types suivant la composante d'énergie affectée par la variation de la charge : énergie potentielle z , énergie de pression P/γ et l'énergie cinétique $V^2/2g$. Le troisième type se caractérise par l'augmentation de la charge sous l'effet de l'augmentation de l'énergie cinétique, parmi ces machines on cite le bélier hydraulique, l'éjecteur et les pompes centrifuges. Ce dernier exemple est le plus reconnu surtout dans le domaine du pompage agricole.

3.1.1. Pompes centrifuges

Une pompe de ce type comporte essentiellement :

- une roue ou turbine ou encore impulseur (rotor, mobile...) qui met en vitesse l'eau parvenant par son ouïe centrale situé dans le prolongement de l'axe de rotation.
- un diffuseur ou une volute ou le corps de la pompe qui transforme l'énergie de vitesse acquise en hauteur manométrique. Il est muni à sa base d'un orifice de vidange et à sa

partie supérieure d'un orifice de remplissage qui sert lors de l'amorçage de la pompe. Le vide partiel ainsi créé à l'aspiration garantit l'approvisionnement continu de l'eau.

Une pompe peut être monocellulaire s'elle a une seule roue valable dans des domaines de basses et moyennes pressions, ou multicellulaire s'elle a plusieurs roues fonctionnant dans des domaines de moyennes et autres pressions.

3.1.2. Groupes de pompes centrifuges

Tableau 1 : Les groupes des pompes centrifuges

| groupes | type | applications |
|--------------------------|--|---|
| <u>De surface</u> | -Monocellulaire horizontal monobloc | - Hauteur max 90 m - Débit max 400m ³ /h |
| | -Monocellulaire horizontal à accouplement | - Hauteur d'aspiration limitée à 6-7m (suivant le NPSHr) - Pressions peu élevées (g.à.g, aspersion, pivot gravitaire) |
| | -Multicellulaire horizontal monobloc | - hauteur max 250m -débit max 200m ³ /h |
| | -Multicellulaire vertical monobloc | -pressions plus élevées (enrouleur, pivot réseau d'irrigation) - hauteur d'aspiration limitée à 6-7m (suivant NPSHr) |
| | Multicellulaire horizontal à accouplement | - Hauteur max 250 m -débit max 400m ³ /h - pressions plus importantes - hauteur d'aspiration limitée à 6-7m (suivant NPSHr) |
| <u>Immergés</u> | Moteur de surface et ligne d'arbre ou moteur immergé | Dès que la hauteur d'aspiration dépasse 6-7m |
| | Groupes submersibles | - Exhaure de rivière, lac collinaire ou puit. - liquides très chargés. |

Source : les stations de pompage individuelles pour l'irrigation, Cemagref, 1996

Groupe monobloc : si l'arbre de la pompe et celui du moteur sont communs ou reliés par un accouplement rigide.

Pompe à accouplement : si l'accouplement entre l'arbre de la pompe et celui du moteur est semi élastique.

Pompe à multiplicateur de vitesse : pompes reliées à la prise de force du tracteur (installations mobiles ou de secours).

3.1.3. Courbes Caractéristiques des pompes centrifuges

Ces courbes caractéristiques représentent les variations d'un paramètre en fonction du débit :

- hauteur d'élévation: $H=f(Q)$

- rendement : $\eta=f(Q)$

Rendement manométrique $\eta_p=Hn/H_e$

Rendement volumétrique $\eta_v=Q_r/Q$

Rendement mécanique $\eta_m= P_e/P_d$

Rendement global $\eta= P_n/P_d$

- puissance: $P=f(Q)$

$$\underline{P_e=\rho.g.Q.H_e}$$

$$P_n=\rho.g.Q.H_n$$

- consommation: $C=f(Q) =P/Q$

Elle influence le choix de l'investissement et de la rentabilité de l'installation.

- NPSHr (net positive suction head= charge nette à l'aspiration): $NPSHr=f(Q)$

« La NPSH est la cote de la ligne piézométrique à l'entrée de conduite d'aspiration de la pompe rapportée à l'axe de celle-ci et diminuée de la hauteur représentative de la tension de vapeur saturante de l'eau » les turbomachines.

OULHAJ .A, 2003

La NPSH disponible (NPSHd) dépend de l'installation, elle est fonction de la longueur, du diamètre de la conduite d'aspiration et de la hauteur géométrique d'aspiration.

La NPSH requise (NPSHr) est une caractéristique de la pompe, elle est donnée par le constructeur.

Ces deux paramètres sont très importants plus précisément lors de la conception et le dimensionnement d'une station de pompage. La maîtrise de ces notions permet d'éviter la cavitation :NPSHd doit être supérieure à NPSHr au moins d'une unité.

3.1.4. La vitesse spécifique

C'est la vitesse de rotation d'une pompe pour débiter $1\text{m}^3/\text{s}$ à une hauteur de 1m. La puissance recueillie serait donc 10kw

$$N_s = N \cdot \sqrt{Q} / H^{3/4} \text{ en TPM}$$

Elle peut être substituée par le coefficient de vitesse angulaire

$$C_v = 0,019 \cdot N_s \text{ sans dimensions}$$

Elle est la même pour les pompes semblables

Cette notion permet de classer les pompes en trois catégories:

Tableau 2 : Classification des pompes suivant N_s

| catégorie | Intervalle de N_s | caractéristiques |
|---------------------------|---------------------------------------|--|
| Pompe à écoulement radial | Entre 500 et 2000 | Débits faibles à pressions élevées |
| Pompe à écoulement mixte | Entre 2000 et 7000 | Débits assez importants à pressions modérées |
| Pompe à écoulement axial | >7000 | Grands débits à faibles hauteurs |

Source : « écoulements transitoires dans les conduites en charge »
A.OULHAJ. 2003

La vitesse spécifique sert à estimer le rendement manométrique à partir des abaques représentant les variations du rendement manométrique en fonction de la vitesse spécifique et du débit refoulé.

3.1.5. Le point de fonctionnement

C'est le point d'intersection de la caractéristique de la pompe qui représente l'ensemble des points de fonctionnement et celle du réseau traduisant la variation des pertes de charge le long des conduites.

Caractéristique de la pompe : $H = a + b \cdot Q + c \cdot Q^2$

Caractéristique du réseau : $H = H_g + \Delta H_a + \Delta H_r = H_g + R \cdot Q^2$

La solution positive de l'équation du second degré, constituée par la combinaison des deux caractéristiques, est le point de fonctionnement.

3.1.6. La combinaison des pompes

Le couplage en série

Pour un débit donné, la hauteur d'élévation résultante est la somme des hauteurs partielles.

La caractéristique correspondante devient : $H = \sum a_i + Q \cdot \sum b_i + Q^2 \cdot \sum c_i$

Le couplage en parallèle

Pour une hauteur donnée le débit de refoulement résultant est la somme des débits partiels.

La formulation mathématique de la caractéristique est plus complexe.

Pour n pompes identiques, la caractéristique se simplifie à

$$H = a + b \cdot (Q/n) + c \cdot (Q/n)^2$$

3.1.7. Erreurs de dimensionnement de réseau

Tableau 3 : Erreurs de dimensionnement de réseau

| Type d'erreur | causes | conséquences | remèdes |
|--------------------|---|---|--|
| Réseau sous-estimé | <ul style="list-style-type: none"> - Hg ou ΔH réelles supérieures aux prévus - rabattement de la nappe - tuyauterie encrassée | <ul style="list-style-type: none"> - Q plus faible, H plus élevée - Q éloigné du Q nominal - bruits, vibrations - fonctionnement en dehors de la zone recommandée - risque de désamorçage de la pompe | <ul style="list-style-type: none"> - réduire ΔH - déplacer le point de fonctionnement (changer la pompe ou modifier la vitesse de rotation) - adapter le diamètre de roue. |
| Réseau sur estimé | <ul style="list-style-type: none"> - Hg et/ou ΔH réelles inférieures aux prévus | <ul style="list-style-type: none"> - Q plus important : danger de surcharge du moteur - HT plus faible : fonctionnement en dehors de zone d'utilisation - NPSHr plus élevé et NPSHd plus faible : risque de cavitation, bruits, vibrations | <ul style="list-style-type: none"> - créer ΔH (vanne, diaphragme...) - déplacer le point de fonctionnement (adapter le diamètre de la roue et/ou modifier la vitesse de rotation) |

Source : les stations de pompage individuelles pour l'irrigation, Cemagref, 1996

3.2. Equipements hydrauliques

3.2.1. Equipement en amont : aspiration

La crépine et le clapet comptent parmi les éléments nécessaires à l'entrée, le premier constitué par un cylindre perforé empêchant ainsi l'entrée des particules plus fines, il doit être entièrement immergée afin d'éviter les rentrées d'air et éloignée d'environ 0.5 m du fond de puisard, le clapet anti retour assure le maintien de la colonne d'eau dans la conduite d'aspiration. Il peut être combiné avec la crépine pour former un clapet à crépine.

Autres éléments jouent des rôles complémentaires pour assurer un bon fonctionnement de l'ensemble. Ils sont représentés par des grilles, une tulipe, des coudes, des vannes, un convergent, et des conduites.

3.2.2. Equipements en aval : refoulement

Ils se constituent essentiellement de joints de raccordement, d'un divergent, d'un clapet de refoulement, d'une vanne et des conduites.

3.3. Entraînement des pompes

Parmi la grande gamme des moteurs industriels, seuls l'usage des moteurs thermiques et les moteurs électriques qui s'est développé ces dernières décennies dans le domaine agricole.

3.3.1. Les moteurs thermiques

Ils peuvent être classés selon des divers critères :

- Le type de combustion : allumage électrique ou par compression
- La continuité du fluide traversant le moteur : moteurs alternatifs ou à débit continu (turbine à gaz).
- Le cycle de fonctionnement : à 4 ou à 2 temps
- Le mode de refroidissement : direct (par air) ou indirect (par eau).
- La conception architecturale :
 - Rotatif ou alternatif
 - Disposition de cylindres : linéaire, en V, opposés
- la vitesse de rotation : lent ou rapide.

Parmi les moteurs thermiques, on se limite à la description des moteurs alternatifs à combustion interne **MACI** qui sont les plus répandus. Ce type se caractérise par la discontinuité de l'écoulement du fluide et la combustion qui s'effectue au sein des cylindres. Le rendement global théorique de transformation n'est que de 30% à 40%.

Un MACI se constitue principalement

- d'une culasse ayant pour rôle l'évacuation de la chaleur et l'étanchéité. Elle constitue la paroi supérieure du cylindre et le support de différents organes du moteur à savoir :
 - * les soupapes assurant l'admission de l'air ou l'échappement de la chaleur.
 - * l'arbre à cames.
- d'un bloc cylindre logeant les cylindres, les paliers, l'arbre à cames et autres accessoires. Il joue le rôle d'une enceinte étanche et résistante à la pression, à l'usure et à la corrosion. Il assure le guidage du piston et le graissage des organes mobiles, il contient aussi l'eau de refroidissement.
- d'un attelage mobile formé par le piston, la bielle et le vilebrequin :
 - * le piston assure la transmission des efforts et de la chaleur. Il assure aussi l'étanchéité. Il doit être résistant à chaud, léger et silencieux
 - * la bielle transmet l'effort au vilebrequin et lubrifie sa liaison avec l'axe du piston
 - * le vilebrequin et le volant constituent l'arbre moteur. C'est le premier organe à transmettre l'énergie, le volant régularise le couple.

Le travail utile (40%) dans le cas d'un allumage par compression est nettement amélioré par rapport au groupe à allumage électrique, ce bon rendement et le faible prix du gas-oil rendent ce groupe plus économique ainsi plus utilisable.

3.3.2. Les moteurs électriques

Parmi une gamme importante des moteurs électriques à courant alternatif ou continu, les moteurs synchrones et asynchrones triphasés sont les plus répandus.

Le choix de type de moteur se base sur :

- la puissance du réseau et problèmes de démarrage : le courant de démarrage d'un moteur asynchrone peut atteindre cinq à sept fois le courant nominal provoquant une chute de tension de l'alimentation qui peut être préjudiciable au matériel ;
- la tension d'alimentation : les tensions usuelles entre phases sont en général 220 – 380. le choix est fonction de la puissance, de l'investissement à partir du réseau et de la puissance de court – circuit de réseau ;
- le couple résistant pendant le démarrage développé par la pompe doit être inférieur au couple moteur ;
- environnement et conditions de fonctionnement et d'installation : le refroidissement, le bruit, les vibrations, l'étanchéité,...

3.4. L'alimentation en énergie

3.4.1. Les produits pétroliers

Leur production se fait à partir de raffinage du pétrole brut, le type de produit est fonction de la température de distillation, ainsi, l'essence est produite dans une gamme de 40° et 210° et le gasoil entre 230° et 350°.

3.4.2. Les carburants de remplacement

Ils sont utilisés dans des cas de pénurie des produits pétroliers, Il existe sous forme gazeuse (butane, éthane, propane, méthane...), liquides (huiles, éther, alcool...) ou encore solides (charbon de bois, bois...).

Le butane est un carburant de remplacement le plus important vu sa disponibilité et son prix, il a un pouvoir calorifique de 11 850 cal/kg. Les 13 kg contenus dans une bouteille de 25 kg correspondent à 15 litres d'essence. L'alimentation se fait à l'aide d'un tuyau liant la bouteille au carburateur.

La puissance d'un moteur alimenté par un carburant de remplacement est plus réduite par rapport à son fonctionnement normal.

3.4.3. L'électricité

Les agriculteurs se bénéficient de deux types de tarifs : général et optionnel

- tarif général à moyenne tension

Prime fixe par KVA et par an

291 DH

Redevance de consommation :

| | |
|------------------|-----------|
| Heures de pointe | 1,0614 DH |
| Heures pleines | 0,7216 DH |
| Heures creuses | 0,4844 DH |

- les principales catégories d'usage appartenant au tarif général en basse tension :
 - usage domestique : les prix sont variables de 0,842 DH/kWh (de 0 à 100 kWh/mois) à 1,3464 DH/kWh (> 500 kWh/mois).
 - Force motrice : les prix varient de 1,06 DH/kWh (de 0 à 100 kWh/mois) à 1,272 DH/kWh (> 500 kWh/mois).
- tarif optionnel : tarif vert (moyenne tension)

Tableau 4 : Présentation du tarif vert

| Options tarifaires | Prime fixe kW/an | Prix par kWh | | | |
|--|------------------|------------------|--------|-----------------|--------|
| | | Heures de pointe | | Heures normales | |
| | | hiver | été | hiver | été |
| TLU | 1732 | 0,5136 | 0,4825 | 0,4435 | 0,4261 |
| MU | 779 | 1,0124 | 0,5772 | 0,7590 | 0,4810 |
| CU | 346 | 1,5109 | 0,6716 | 1,0430 | 0,5321 |
| Coefficients de réduction de puissance | | 1 | 1 | 0,6 | 0,4 |

Hiver : du 1^{er} novembre au 31 mars

Été : du 1^{er} avril au 31 octobre

CU : utilisation annuelle de puissance inférieure à 2 500 heures

MU : utilisation annuelle de puissance comprise entre 2 500 et 5 500 heures

TLU : utilisation annuelle de puissance supérieure à 5500 heures

3.5. Diagnostic d'une petite station de pompage

La notion du rendement globale intègre les rendements élémentaires de chaque composante de l'installation : le moteur, la transmission, la pompe et la canalisation. Il est considéré comme un indicateur très fiable de fonctionnement d'une station de pompage.

Le rendement global R_g d'une installation donnée est le rapport de la puissance finale de l'eau refoulée P_f sur la puissance fournie au moteur par le combustible P_m .

$$R_g = \frac{P_f}{P_m}$$

Avec :

$$P_f = \rho \cdot g \cdot \text{HMT} \cdot Q$$

ρ : la masse volumique de l'eau = 10^3 Kg/m^3 ;

g : l'accélération de la pesanteur = 9.81 m/s^2 ;

HMT : la hauteur manométrique totale en m ;

Q : le débit refoulé en m^3/s .

$$\text{Soit } P_f = 9.81 \cdot \text{HMT} \cdot Q \quad (\text{kW})$$

$$P_m = C \cdot P_{ca} \quad (\text{Kw})$$

C : la consommation horaire en combustible ;

P_{ca} : le pouvoir calorifique ($P_{ca} \text{ gasoil} = 10.44 \text{ kWh/l}$, $P_{ca} \text{ butane} = 49 \text{ kWh/kg}$).

Le HMT doit être calculé dans les conditions les plus défavorisées et en tenant compte des pertes de charge provoquées par les différents organes de l'installation suivant la formule de Coolbroock.

Le rendement global d'une petite station de pompage est de l'ordre de 20%. (TAIBI,1983).

4. Amélioration de la productivité des ouvrages

La productivité de l'aquifère, donc de l'ouvrage, dépend essentiellement de la nature géologique du terrain. On propose, par exemple, l'acidification des forages par injection d'acide chlorhydrique qui permet souvent d'accroître fortement (deux fois sinon d'avantage) le débit spécifique initial, et le développement qui constitue une opération d'une importance considérable, il agit sur le coefficient d'uniformité en éliminant le plus possible les éléments fins de la formation qui occupent entre les grains grossiers. Parmi ces procédés, quelques uns consistent à introduire dans le tubage :

- un piston manœuvré alternativement qui sera remplacé par la suite par une cuillère à clapet pour retirer ce qu'il y a ;
- une colonne ouverte à son extrémité inférieure pour aspirer les sédiments dilués et dissociés par l'eau au moyen d'une petite pompe en surface ;
- Une colonne et remplir d'eau l'ouvrage, puis manœuvrer à la main d'un mouvement alternatif jusqu'à la production d'un jet de boue qui sera évacué ;
- Une colonne pour expulser les sédiments sous pression au moyen d'une pompe.

III. UTILISATION DE L'EAU SOUTERRAINE

L'eau souterraine est préférée parce qu'elle permet l'extension spatiale des exploitations agricoles et parce que les ouvrages de captage occupent des espaces réduits.

L'exploitation des eaux souterraines n'a lieu que pour combler le déficit en eau de surface et pour garantir la stabilité d'approvisionnement ; ainsi la notion de l'utilisation de l'eau peut être plus significative si on intègre les eaux de surface puisqu'elles sont intimement liées, et on parle de l'utilisation conjuguée qui est définie comme étant la coordination de l'utilisation des deux ressources, dans le temps et dans l'espace, pour supplémenter les précipitations qui sont aléatoires et irrégulières. (Peralta et al, 1990).

1. Efficience d'utilisation de l'eau

Il s'agit du rendement supplémentaire engendré par un m³ d'eau d'irrigation. Il se calcule par la formule suivante :

$$EUE = \frac{\text{rdt. Irrigué} - \text{rdt. Bour}}{\text{volume d'eau d'irrigation en m}^3}$$

2. Impact sur les rendements

Ayers (1977) a montré la dépendance des limites de mélange à la tolérance des cultures et à la salinité des eaux. Plus tard et en 1990, Willardson a présenté un ratio de conductivité électrique ECR déterminant la proportion d'eau souterraine saline qui peut être en mélange avec l'eau douce du canal.

$$ECR = \frac{(EC_c - EC_{sw})}{(EC_{gw} - EC_{sw})}$$

Avec

- EC_c : seuil de tolérance de la culture à la salinité de l'eau d'irrigation ; (**Voir annexe 11**)
- EC_{sw} : conductivité électrique de l'eau de surface ;
- EC_{gw} : conductivité électrique de l'eau souterraine.

IV. COUT DE POMPAGE

L'évaluation des coûts de pompage se base sur les paramètres de calcul suivants :

➤ coûts fixes

Ces coûts incluent les investissements relatifs au creusement et de cuvelage des puits/forages, à l'achat des motopompes et à la construction de l'abri.

Ils intègrent aussi les charges fixes liées aux travaux d'entretien et de réparation et aux frais de la main d'œuvre.

Les durées d'amortissements retenues sont celles qui correspondent aux durées de vie (ORMVAD, 2002).

| | | |
|--------------------|---|--------|
| - puits et forages | : | 30 ans |
| - motopompes | : | 15 ans |
| - abri | : | 30 ans |

Le calcul des coûts fixes se base sur la sommation des investissements amortis et les charges fixes.

➤ coûts variables

Ils correspondent aux charges d'exploitation liées aux conditions de fonctionnement.

Pour un moteur thermique, ces coûts sont calculés suivant la formule :

$$C_v = \frac{(P_m \cdot C \cdot p)}{Q}$$

Avec

- C_v est le coût variable en DH/m³ ;
- P_m est la puissance installée en CV (ou kW) ;

- C est consommation normale du moteur en l/CV. H (ou l/Kw.h) ;
- P est le prix unitaire du carburant en DH/l ;
- Q est le débit en m³/h ;

Ou encore

$$C_v = \frac{C' \cdot P}{Q}$$

Avec

- C' est la consommation du moteur en l/h ;
- P est le prix unitaire du carburant en DH/l ;
- Q est le débit en m³/h ;

Pour un moteur électrique, le coût d'énergie est le produit de la consommation horaire et le prix unitaire du kWh.

Le coût de pompage est calculé suivant la formule :

$$\text{Coût de pompage (DH/m}^3\text{)} = \frac{C_f}{\text{volumes pompés}} + C_v$$

Les volumes pompés sont calculés en prenant en considération les volumes réservés à chaque culture, la dotation journalière allouée à l'élevage pendant l'été et l'hiver et les quantités journalières pompées pour la consommation domestique de la famille et/ou de douar.

Deuxième Partie

Les potentialités *de la zone*

CHAPITRE 2

Présentation Du Périmètre

Irrigué Des Doukkala

GENERALITES

La plaine des Doukkala (3500 km²) est une vaste étendue limoneuse comprise entre les latitudes 32°15 et 33°15 Nord et les longitudes 7°55 et 9°15 Ouest, et inclinée régulièrement (2 à 3%) du Sud-est au Nord-Ouest, ainsi son altitude décroît de 300 m en bordure des Rehamna à 120-130 m au pied du Sahel. Elle est limitée au Nord-Est par la Chaouia, au Sud et au Sud-Ouest par Abda, à l'Ouest par l'Océan Atlantique, et au Sud-Est par les massifs des Rehamna.

L'office régional de mise en valeur agricole des doukkala agit sur une superficie de 523 000 ha. La superficie irriguée ne représente que 19 % du total (18% par grande hydraulique et 1 % par pompage) par rapport à 61 % en bour, le reste est occupé par des parcours, incultes et forêt.

Le périmètre irrigué se constitue de deux sous périmètres: le bas service (61 000 ha) équipé depuis 1953, et le haut service (64 000 ha) en cours d'aménagement.

La structure foncière est caractérisée par un schéma très morcelé, car 74% des exploitations sont d'une taille inférieure à 2 ha, tandis que 0,5 % des exploitations ayant une superficie supérieure à 20 ha.

Tableau 5 : Structure foncière dans le périmètre des Doukkala.

| Taille (Ha) | Superficie (%) | Propriétés (%) |
|--------------|----------------|----------------|
| [< 2] | 30 | 74 |
| [2 - 5] | 25 | 17 |
| [5 -10] | 23 | 07 |
| [10 - 20] | 12 | 1,5 |
| [> 20] | 10 | 0,5 |
| Total | 100 | 100 |

Source : Monographie, 2003.

I. LE MILIEU PHYSIQUE

1. Le climat

Le climat des Doukkala est de type méditerranéen semi-aride (suivant classification l'Emberger et sauvage).

1.1. la pluviométrie

La pluviométrie annuelle moyenne est de 320 mm variant de 400 mm sur le littoral à 300 mm à l'intérieur de la plaine : elle est inférieure à 350mm pour une fréquence de 3 années sur 4.

Un gradient pluviométrique est doublement présent, il décroît du Nord-Sud et de l'Ouest Est. La pluviométrie est très variable d'une année à l'autre (un Coefficient de variation mensuel dépassant en général 90%).

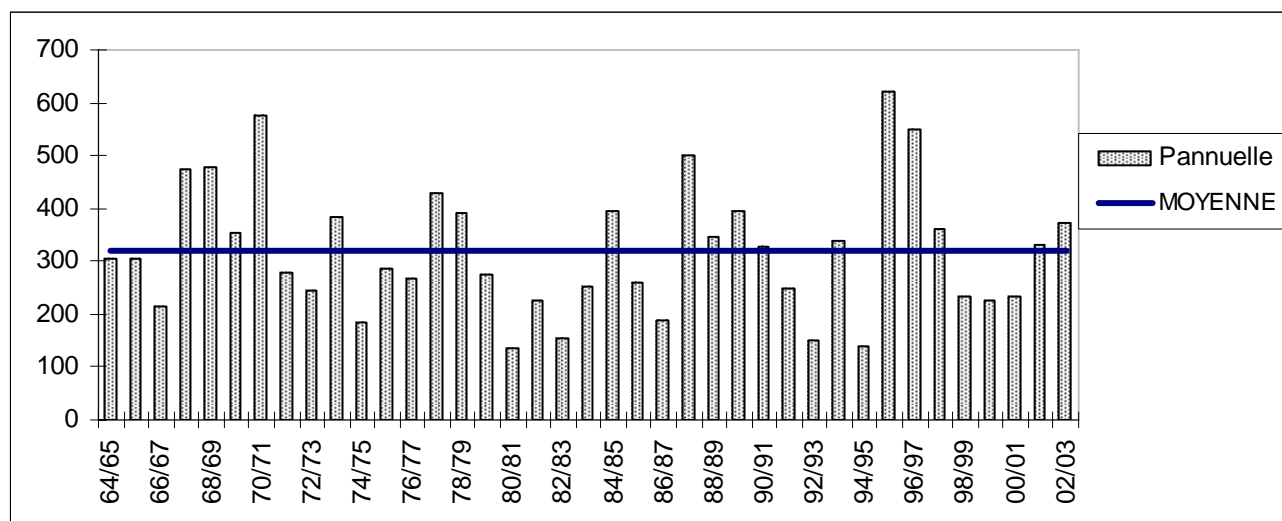


Figure 1 : Evolution de la pluviométrie pour une série de 39 ans.

La variabilité intra annuelle est illustrée dans la figure suivante :

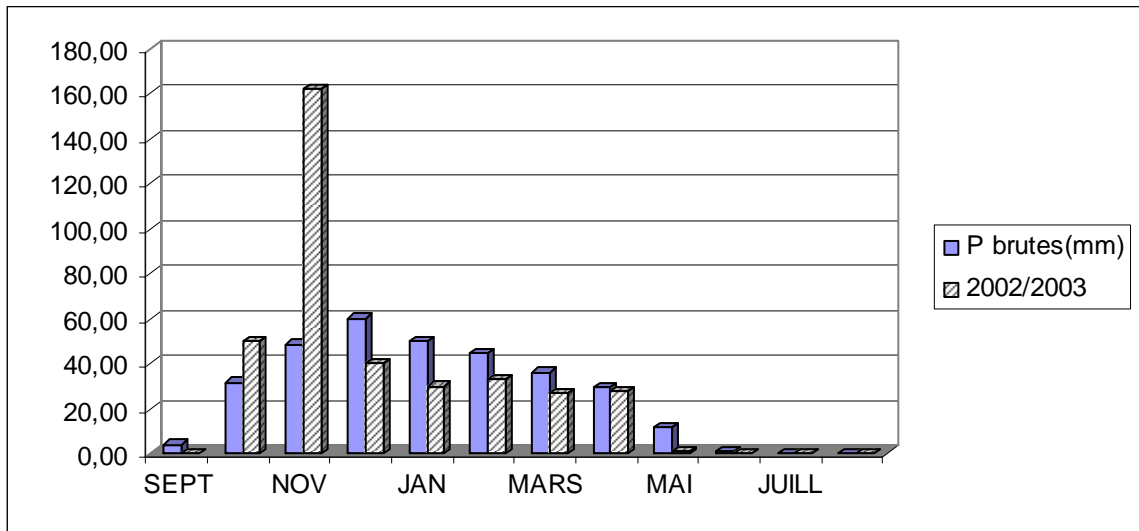


Figure 2 : Evolution intra annuelle de la pluviométrie moyenne de 39 ans et la pluviométrie de 2002/2003.

La pluviométrie enregistrée en 2002/2003 (371 mm) a dépassé légèrement la moyenne de 39 ans qui n'est que de l'ordre de 318,48mm. La région a connu sept mois pluvieux avec un pic à Novembre,

La fréquence des sécheresses est remarquée au début du cycle de 2 années sur 5.

1.2. la température

La température moyenne annuelle est de 18 °C variant de 4°C à 40°C. Elle est relativement stable d'une année à l'autre.

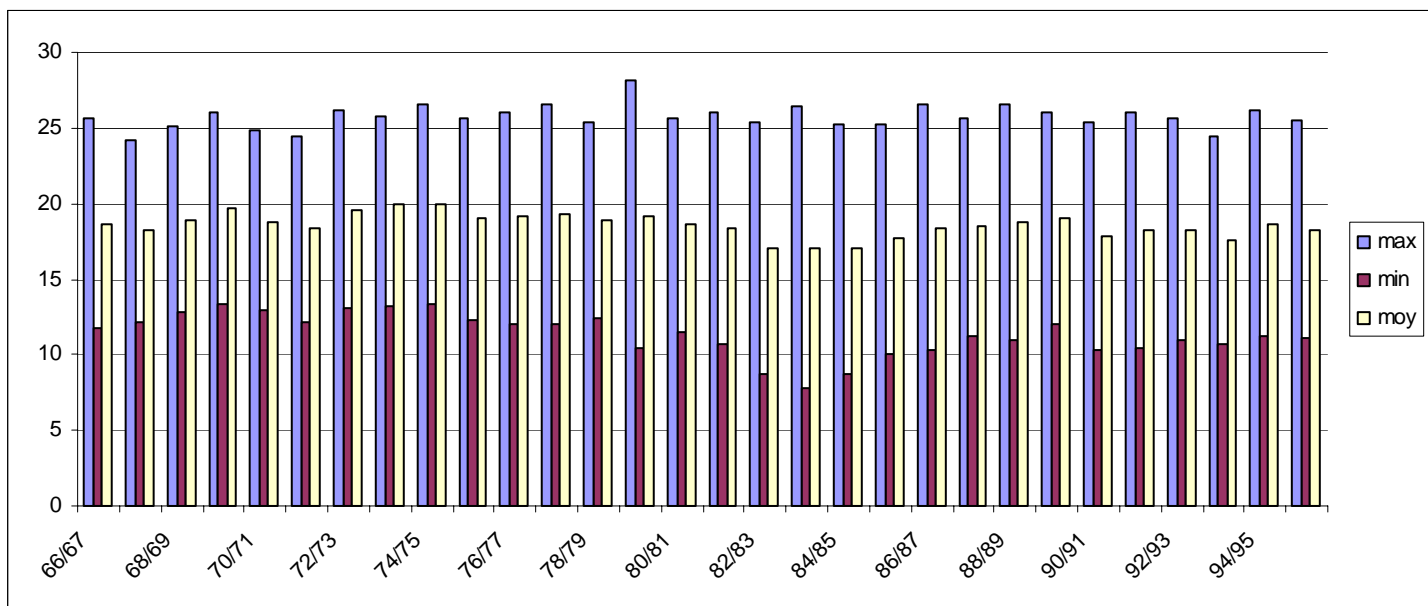


Figure 3 : Evolution interannuelle de la température (Khemis Mettough)

L'évolution intra annuelle moyenne d'une période de trente ans reflète les caractéristiques d'un climat méditerranéen semi aride.

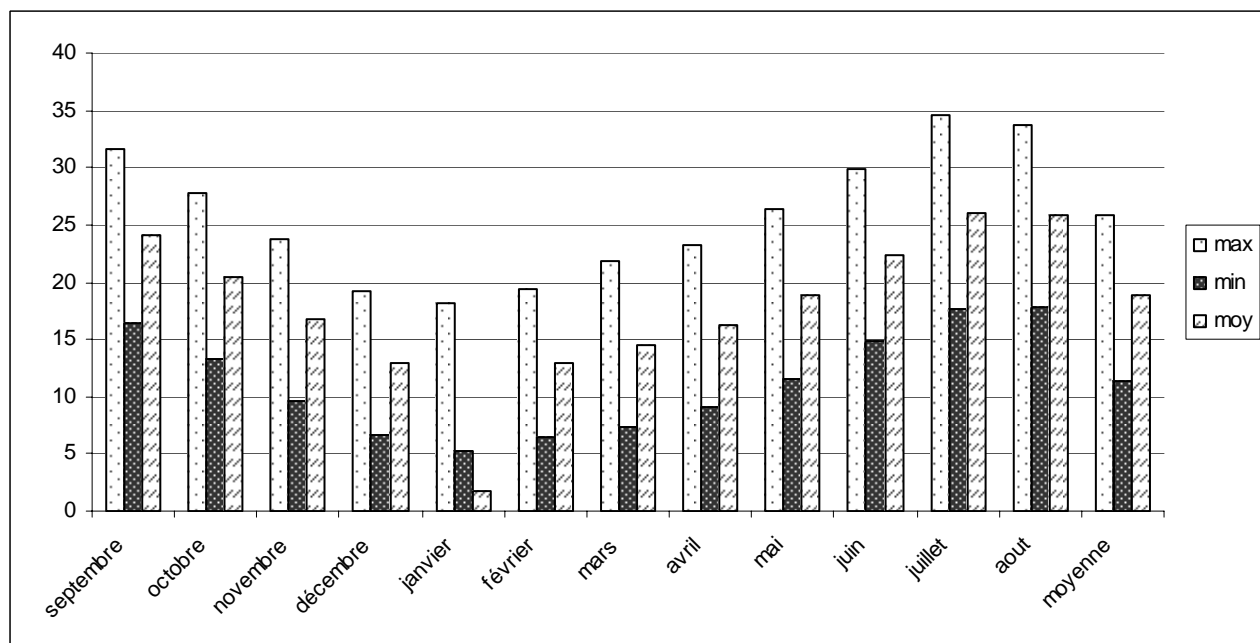


Figure 4 : Evolution intra annuelle de la température moyenne mesurée à Khemis Mettough

1.3. L'évaporation et l'évapotranspiration

L'évaporation annuelle atteint 1700 mm.

L'évaluation de l'évapotranspiration de référence (ET_0) au niveau de la station expérimentale de Khmis Mettough suivant le modèle de Penman Monteith a permis de suivre l'évolution intra et inter annuelle moyenne de 1992/1993 à 2001/2002.

Les variations intra annuelles sont très importantes allant de 46,19 mm dans le mois de janvier à 185,38 mm dans le mois de juillet.

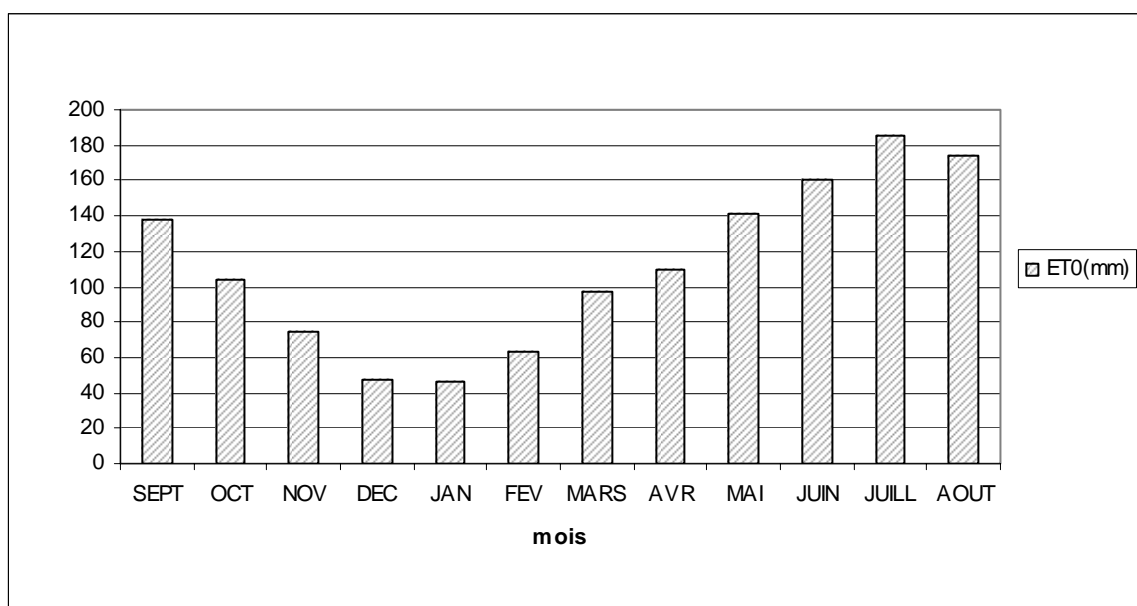


Figure 5 : Evolution intra annuelle moyenne mesurée à SEHA.

A l'échelle inter annuelle, l'évapotranspiration est relativement stable.

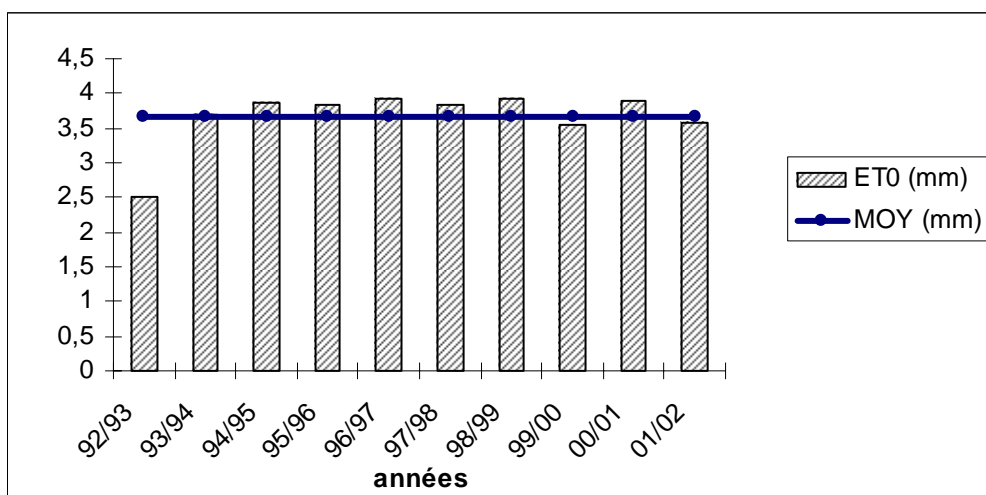


Figure 6 : Evolution inter annuelle de l'évapotranspiration

1.4. L'hygrométrie et les vents

L'hygrométrie moyenne annuelle est de 70 à 80 %. Et les vents ont généralement la direction nord-ouest (chergui).

2. Géologie

Les abda-doukkala appartiennent à l'unité géologique « meseta marocaine » définie par le régime tabulaire des dépôts secondaires et tertiaires reposant sur des terrains primaires fortement plissés par l'orogénèse hercynienne. (Ressources en eau du Maroc, tome II)

L'échelle stratigraphique se résume comme suit:

-primaire et permo-trias

Ils sont constitués principalement de schistes et de quartzites, et forment le substratum du bassin hydrogéologique. Sa profondeur sous la plaine des doukkala n'est pas connue.

- Jurassique

Seul le jurassique supérieur figure au sud des Doukkala, il est représenté par des calcaire et marno-calcaires à lits argileux et bancs de gypse. Sa puissance atteindrait plusieurs centaines de mètres.

-Crétacé inférieur

La série transgressive du Néocomien repose en concordance sur le Jurassique dans le sud des Doukkala et en discordance sur le substratum primaire dans le reste du bassin.

-Cénomanién

Il est constitué essentiellement de formations carbonatées. Un forage à Sidi Bennour a recoupé ses assises supérieures constituées d'alternances marno-calcaires à gypse. Son épaisseur doit atteindre 100 à 200 m.

Le Miocène (marnes sableuses et argiles rouges) n'est présent que localement au nord de Sidi Smail.

-Plioquaternaire

La transgression marine pliocène atteint le massif des Rehamna et dépose sur une surface d'érosion tronquant plus ou moins profondément les séries crétacées des formations sableuses et bio- détritiques.

Ces formations seront en partie reprises sous forme dunaire lors de la régression qui termine le pliocène.

La succession lithologique, très variable suivant les secteurs et avec des faciès imbriqués, comporte:

- * des sables grossiers non cimentés.
- *des calcaires gréseux bio- détritiques.
- *des calcaires recristallisés durs à grain fin.
- *des calcaires argileux plus ou moins sableux.
- *des marnes sableuses.

L'épaisseur du plio-quaternaire est relativement constante dans les Doukkala, entre 20 et 40 m.

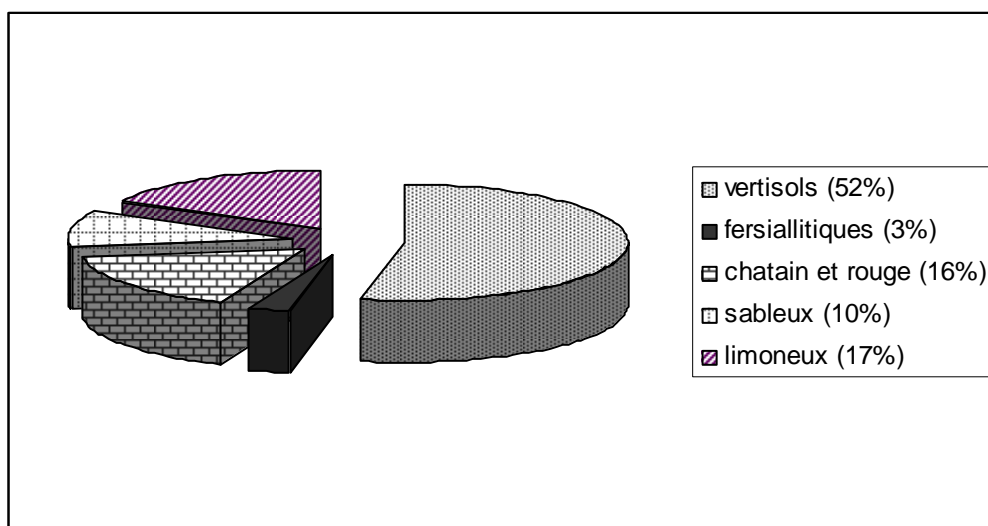
-Quaternaire continental

Des limons argileux anciens et des limons récents plus sableux et graveleux se sont accumulés dans la plaine des Doukkala sur des épaisseurs de 10 à plus de 80 m dans le secteur central de la plaine.

3. Les ressources en sol

3.1. les types de sol rencontrés dans le périmètre

Les sols des Doukkala se constituent essentiellement des vertisols, puis d'autres types rendant la région riche et variée.



**Figure 7 : Distribution des types de sols dans le périmètre
(La monographie des Doukkala, 2003)**

3.2. Qualité Des Sols Périmètre Bas Service Des Doukkala

Le problème de salinité est ponctuel et ne touche que quelques zones à savoir CDA 340 de Tnine Gharbia (110 ha) à cause de suintement de l'eau du canal principal vers les terrains adjacents, CDA 330 de Sidi Bennour (120 ha) et CDA 311 (40 ha) de Faregh à cause de l'existence d'une zone de dépression avec défaillance du réseau de drainage. L'évolution de la salinité est saisonnière et intra – annuelle suite à la lixiviation après les premières pluies. Les terres salines qui ont dû être abandonnées après salinisation représentent 3 % des sols (Moussaoui, H).

Seulement 3 % des sols analysés par Rahoui et al présentent des problèmes de sodicité associés généralement aux problèmes de salinité. La même étude a expliqué que les faibles teneurs en matières organiques sont dues à la forte minéralisation, la mauvaise gestion des résidus organiques, l'exportation des résidus des récoltes hors des parcelles cultivées et les tares de terres qui restent collées à la betterave lors des périodes d'usinage (22000 tonnes de sol/an). De même les sols des Doukkala sont stables à médiocrement stables vis-à-vis de l'action destructive de l'eau, cette stabilité est plus prononcée dans les sols irrigués que les sols bour à cause de la compaction et la richesse relative en matières organiques et qu'elle décroît en fonction de la profondeur. La conductivité hydraulique est faible à très faible (0,118 m/j pour les sols irrigués et 0,108 m/j pour les sols bour) ce qui explique les problèmes de drainage rencontré dans la

région des Doukkala. Les terres ont un caractère tendant d'une perméabilité moyenne à une perméabilité faible à très faible. Rahoui et al ont montrés aussi que la majorité des sols analysés sont compactés à très compactés aussi bien en irrigué (1.6 g/cm^3) qu'en bour (1.62 g/cm^3), le compactage est plus prononcé sur les horizons profonds en raison des mauvaises méthodes de travail et des pratiques culturales non conservatives.

L'étude réalisée par Id Ahmed (1998) montre qu'environ $224,5 \text{ kg/ha}$ d'azote sont potentiellement lixiviables en s'appuyant sur le bilan des entrées et des sorties pour plusieurs cultures. Cette pollution d'origine agricole est le résultat des apports excessifs et mal raisonnés d'engrais azotés.

3.3. Qualité Des Sols du périmètre Haut Service

Les mesures du réseau de suivi et de surveillance ont donnés les résultats suivants :

- 100 % des sols non salés ($CE < 0,5 \text{ ms/cm}$)
- 100 % des sols non alcalins
- pH neutres à moyennement basiques (6,4 à 8,5)
- Pauvres en MO ($< 1,5 \%$)
- Perméabilités moyennes à faibles (3 à 4 cm/h)

II. LES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE

1. le réseau hydrographique

Les ressources en eau de surface du périmètre irrigué des Doukkala proviennent essentiellement du bassin hydraulique de l'Oued Oum R'bia (le débit annuel moyen de $117 \text{ m}^3/\text{s}$), régularisées par deux barrages : le barrage de stockage d'El Massira (capacité de 2750 Millions de m^3) et le barrage d'Imfout (18 Mm^3), point de départ du système d'alimentation en eau d'irrigation du périmètre des Doukkala via les deux galeries Bas Service et Haut Service.

Tableau 6: complexe hydraulique du bassin

| Barrage | Date de mise en service | Cours d'eau | Capacité normale Mm ³ | Volume Régularisé Mm ³ /an |
|------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------------------|--|
| Al Massira | 1979 | Oum Er Bia | 2760 | 1554 |
| Ben EL Ouidane | 1954 | Bine El Ouidane | 1300 | 945 |
| EL Hansali | 2001 | Oum Er Bia | 740 | 473 |
| Hassan I^{er} | 1986 | Lakhdar | 263 | 346 |
| My Youssef | 1969 | Tassaout | 175 | 230 |
| Imfout | 1940 | Oum Er Bia | 18 | Barrage de compensation |

Source : DGRID, ORMVAD, 2003

Le réseau hydrographique comprend deux oueds principaux : l'oued Faregh et l'oued Bouchane, et des oueds moins importants: oued Aouja, oued Souani, oued Mtal, oued Guerrando. Tous ces oueds (Faregh, M'tal, Felfel, Aouja,...) ont un régime saisonnier.

Un seul oued possède un exutoire : l'oued Faregh, dont le cours S-N s'infléchit ensuite vers le NE par suite d'un phénomène de capture, pour aller se jeter dans l'Oum er'rbia. Les autres oueds confluent vers l'oued Felfel, en traversant les parties Est et centrale du périmètre. Ils inondent souvent le centre de Sidi Bennour et traversent par la suite la ville d'El jadida dans le lit de l'oued Felfel.

La plaine constitue ainsi un bassin fermé, endoréique.

Le tableau 7 présente les oueds saisonniers et leurs débits de crues pour une fréquence de 25ans.

Tableau 7: les principaux oueds saisonniers dans le périmètre

| Oued | ouvrage | Débit (m ³ /s) | Bassin versant (km ²) |
|----------|--------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Faregh | Barrage faregh | 155,00 | 465,10 |
| Aouja | Barrage Aouja | 82,00 | 166,00 |
| Souani | Barrage Souani | 76,00 | 33,20 |
| M'tal | Barrage M'tal | 82,20 | 41,10 |
| Farhi | Daya Fertouaou | 12,40 | 193,13 |
| Ziane | CPHS | 42,78 | 99,26 |
| bouchane | Ouvrage d'épandage | 390,00 | 1260,00 |

Source : Rapport de réseau d'assainissement externe du périmètre des

Doukkala, 2003

Le réseau hydrographique se constitue également des Dayas ou dépressions naturelles où s'accumulent les eaux de pluie : Ouarar, Fertouaou, Sbiha, Tnine Gharbia, Guendazia, Hasba-Harana, daya Fahs, daya Z2 (Ftatha) et daya Z3 (ouled Yaàgoub)

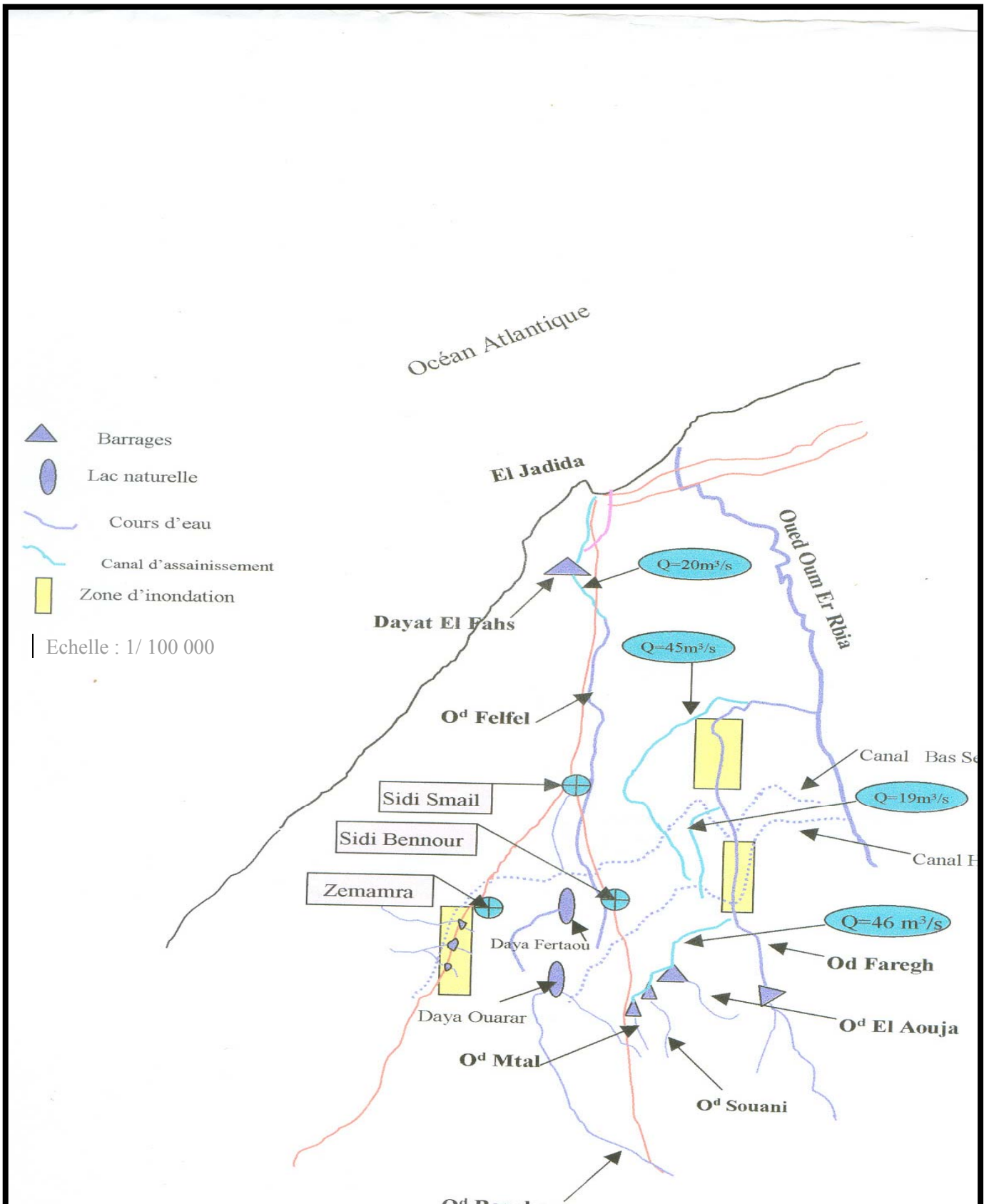


Figure 8: Réseau hydrographique dans le périmètre irrigué (DGRID/ORMVAD)

2. La disponibilité de l'eau de surface

Suite sécheresses de ces dernières années, la réserve en eau du barrage El Massira a fortement diminué, passant de 2300 Mm³ en 1996/1997 à 620 Mm³ en 2002 (soit 22 % de sa capacité).

Les apports d'eau au barrage sont très variables d'une année à l'autre, et se fluctuent autour de 2461 Mm³ (la moyenne de 64 ans).

A partir de la campagne 1980/1981, les apports atteignent des niveaux au dessous de la moyenne. Une exception est enregistrée durant les deux campagnes 1995/1996 et 1996/1997 où la réserve est approchée de la moyenne suite aux crues survenues et la pluviométrie totale enregistrée (619mm et 551mm)

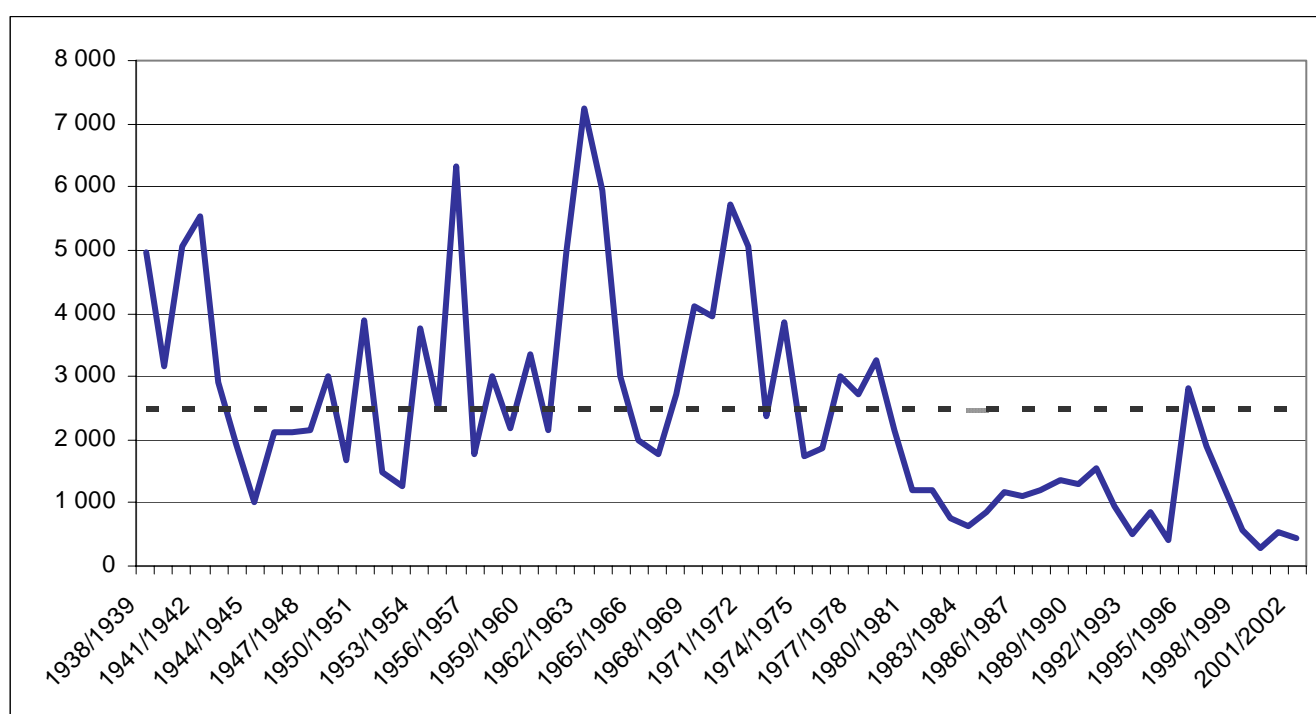


Figure 9 : Evolution des apports de l'Oum Er Rbia au barrage El Massira par Rapport à la moyenne de 64 ans

Dans le plan d'aménagement, La dotation en eau allouée est faite de façon égale entre le périmètre Bas et Haut service à hauteur de 550 Mm³. Les fluctuations des apports en eau au barrage El Massira ont imposés l'adoption d'un plan restrictif et instable.

La figure 10 illustre le déficit que connaît le secteur de l'irrigation dans la zone à partir de la campagne 1990/1991, la satisfaction des besoins n'est vérifiée que durant deux périodes : de 1990/1991 à 1993/1994 et de 1996/1997 à 1999/2000.

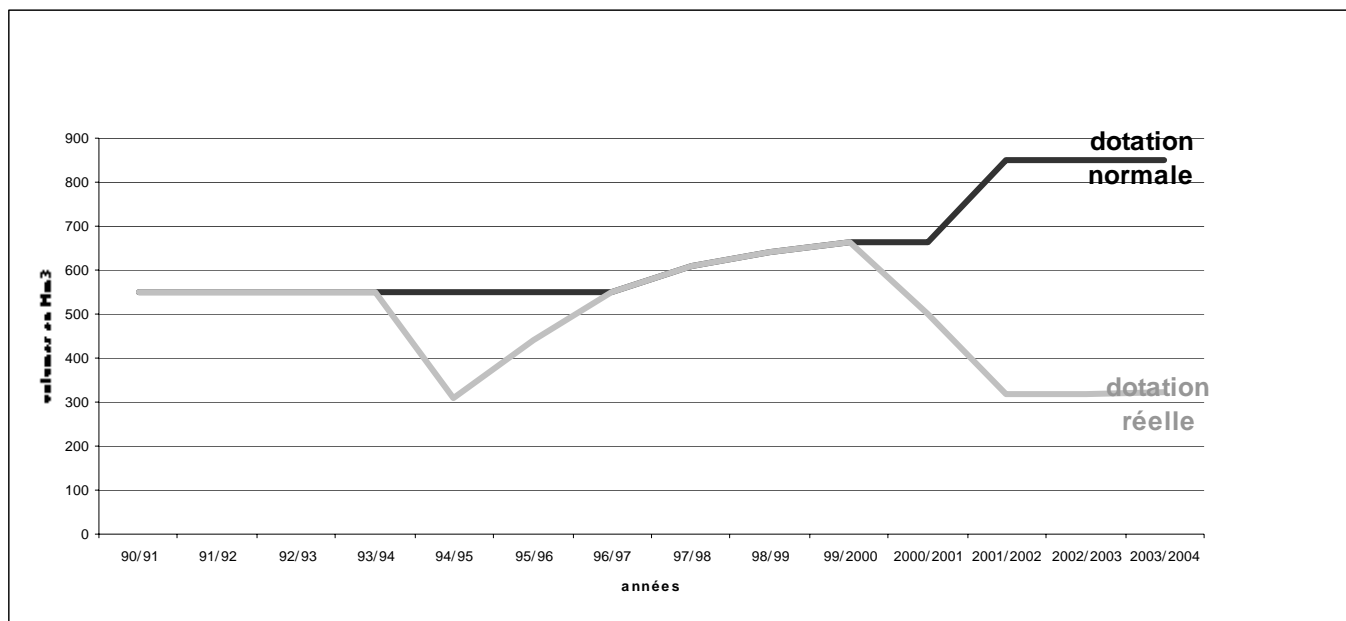


Figure 10 : Evolution de la dotation réelle par rapport à la dotation normale

Avant 1997, la dotation normale a connu une phase stable, c'est la part de secteur Bas service, puis elle a augmenté avec l'aménagement de la première tranche de Haut service. L'aménagement de la deuxième tranche n'a pas été fait du fait que les ressources en eaux ne sont pas suffisantes.

3. Qualité des eaux d'irrigation

Le suivi de la qualité de l'eau de surface a révélé une conductivité électrique moyenne de l'ordre de 1,43 ms/cm. Selon les normes de qualité utilisées au Maroc (Richard 1954), ces eaux sont de forte salinité, elles apportent une quantité importante de sels estimée à 4,3 tonnes/ha/an. Par contre, elles ne semblent pas présenter des risques de sodicité. D'après les normes proposées par Rhoades (1982), ces valeurs ne devraient pas causer de réduction du taux d'infiltration de l'eau dans les sols. (Rahoui et al, 1999)

La figure 11 illustre l'évolution des apports moyens par hectare depuis 1990 en sels sous l'hypothèse que la salinité était de la même grandeur.

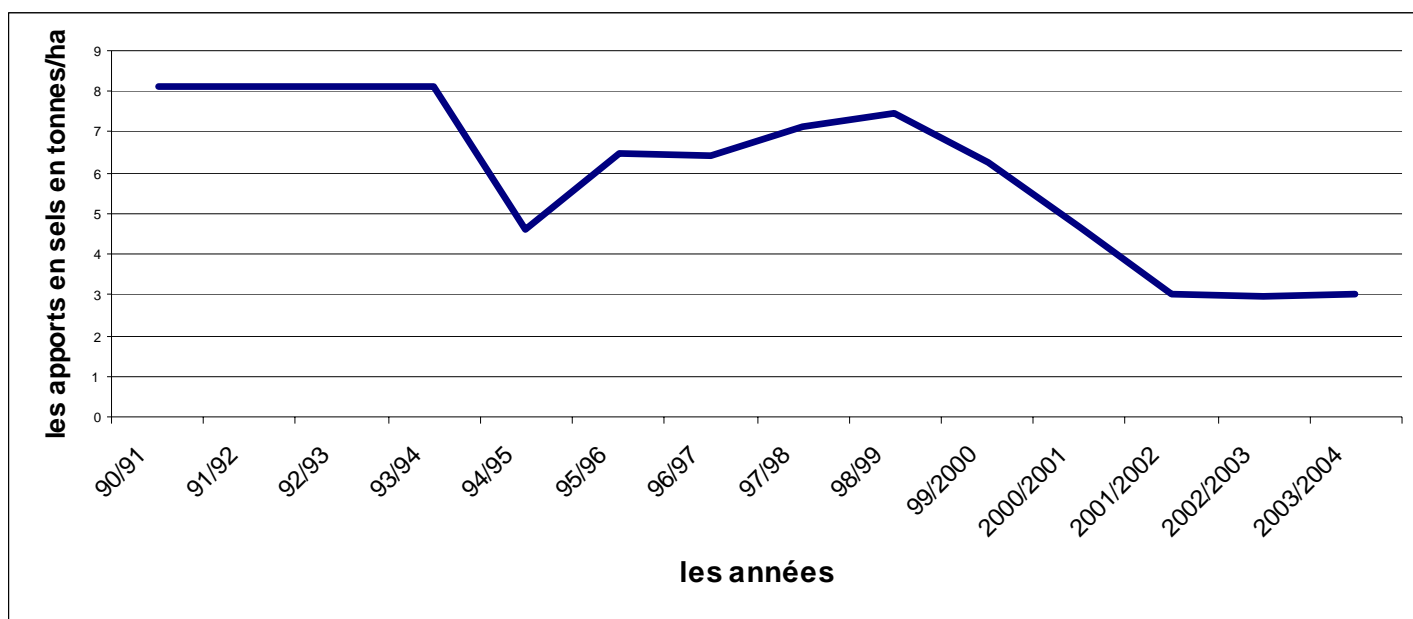


Figure 11 : Evolution des apports en sels provenant de l'eau de surface

III. AMENAGEMENT HYDRO – AGRICOLE

1. Equipement

Tableau 8 : Equipement hydro agricole

| | BAS SERVICE | HAUT SERVICE |
|--|-------------|--------------|
| Galerie IMFOUT | | |
| -longueur | 17 km | 13,4 km |
| -diamètre | 5,3m | 6.4 m |
| -débit | 36m3/s | 38 m3/s |
| Canal principal | 111 km | 75 km |
| Stations de pompage | 13 | 1 |
| Puissance totale | 40 MW | 24MW |
| Réseau d'irrigation | 2084 km | 1280 km |
| Réseau d'assainissement et de drainage | 2000 km | 1155 km |
| Réseau de pistes | 750 km | 150 km |

Source: DGRID/ORMVAD

2. Les casiers d'irrigation bas service

➤ Les casiers d'irrigation gravitaire

Leur aménagement a débuté dans les années 50 (Faregh) pour se terminer en 1991 (cuvette de Sidi Smail). Ils couvrent une superficie totale de 27 500 ha et se constituent de trois casiers principaux recevant un débit de 0,73 l/s/ha. La distribution de l'eau est assurée par 800 km de canaux semi-circulaires, bétonnés, régulés par l'amont et équipé par des modules à masque.

Il s'agit de Faregh (8900 ha), Sidi Smail (8000), Sidi Bennour (9300 ha) et la cuvette de Sidi Smail (1300 ha).

Le schéma d'aménagement adopté pour ces casiers :

- trame A pour les casiers de Faregh, Sidi Smail, et de la cuvette de Sidi Smail
- trame B pour le casier de Sidi Bennour.

La main d'eau est standard, elle est de 30 l/s pour une dotation de 6 h/ha (ou 20 l/s pour une dotation de 9h/ha). La dose d'irrigation est donc de 64,8 mm.

La fréquence des apports est fixée à 15 jours et correspond donc à un apport maximum brut en période de pointe de 1300 m³/ha/mois. En cas de pénurie, le bureau de programmation des irrigations réduit les dotations et les répartit équitablement en fonction des superficies irriguées

➤ les casiers irrigués par aspersion :

Ils occupent 55% de la superficie totale. Le casier de Boulaouane est le premier casier aménagé en aspersion au Maroc. Tous les casiers se ressemblent de point de vue aménagement.

Le schéma d'aménagement est celui de la trame B, tous les casiers sont semblables de point de vue technique et organisationnel. Le matériel est de type mobile déplaçable.

La maille d'irrigation est de 18x18m et chaque rampe comporte 8 asperseurs et effectue une rotation de 15 positions en 7 jours et demi.

La dose d'irrigation se répartit comme suit :

- 60 mm pour les casiers de Zemamra et Tnine Gharbia.
- 65 mm pour les casiers de Sidi Smail et Faregh extension.
- 80 mm pour le casier de Boulaouane.

La distribution se fait par tour d'eau à raison de 5 jours consécutifs par secteur en période normale. Chaque casier se constitue de deux secteurs correspondant chacun à une branche. La disponibilité de l'eau est de 15 jours par mois. En cas de pénurie, la durée est réduite à 4 jours chaque 12 jours.

Le tableau 9 cite l'ensemble de ces casiers et les superficies correspondantes.

Tableau 9 : Casiers irrigués par aspersion et leurs superficies

| Secteur | Superficie en ha |
|----------------------|------------------|
| Boulaouane | 1100 |
| Faregh extension | 1900 |
| Sidi Smail extension | 1400 |
| Zemamra | |
| Z0 | 6200 |
| Z1 | 4500 |
| Z2 | 2800 |
| Z3 | 2500 |
| Tnine Gharbia | |
| Nord | 3700 |
| Sud | 3500 |
| Ouest 1 | 2500 |
| Ouest 2 | 3400 |
| TOTAL | 33 500 ha |

Source : Etude d'amélioration de l'exploitation des réseaux d'irrigation et de drainage du périmètre bas des doukkala, 1996

3. Le périmètre haut service

Ce périmètre est en cours d'aménagement de 64 000 ha répartis pour moitié sur la province de Safi et pour moitié sur la province d'El Jadida, la réalisation est organisée en trois tranches. Les 35 000ha sont effectivement aménagés

4. Le réseau d'assainissement externe

Le réseau d'assainissement constitue un élément nécessaire pour équilibrer le système d'irrigation. Le complexe des ouvrages d'assainissement externe se constitue de :

- un barrage écrêteur sur l'oued Faregh (1970) pour protéger les réseaux d'irrigation et les terres agricoles du casier Faregh.
- la déviation des eaux en provenance de l'oued Felfel vers la dayas Fahs en 1965.
- le laminage des crues de l'oued Aouja par la réalisation du barrage Aouja (1968) sur son lit et la réalisation d'une colature principale vers l'oued Felfel pour la protection du casier de Sidi Bennour et Sidi Smail contre les inondations.
- l'évacuation des eaux pluviales et excédentaires d'irrigation dans les casiers de Zemamra et Tnine Gharbia par épandage dans les dayas situées dans les bordures des périmètres.

Le réseau interne, par contre, est presque absent.

IV. LA MISE EN VALEUR AGRICOLE

La région se caractérise essentiellement par les productions de betterave à sucre, céréales, maraîchage, lait et viandes rouges. Le taux moyen d'intensification culturale est de 129%.

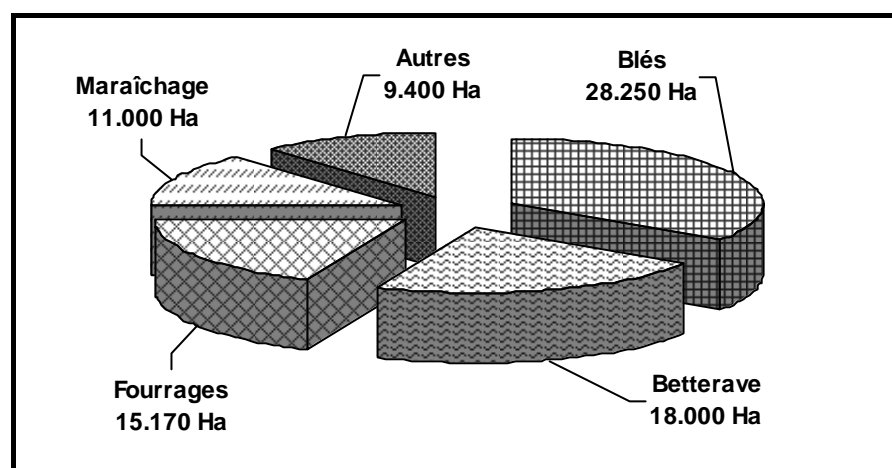


Figure 12 : Occupation des sols (Monographie, 2003)

Les rendements de la région sont très moyens. Le tableau 10 récapitule la moyenne de 1993 à 2002.

Tableau 10 : les niveaux des rendements (Moyenne 1993-2002)

| Cultures | Rendement (qx/ha) |
|-------------------|--------------------------|
| Betterave à sucre | 610 (*) |
| Blés | 41 |
| Maïs hybride | 39 |
| Luzerne | 670 |
| Bersim | 735 |
| Tomate de saison | 310 |
| Pomme de terre | 240 |

(*) Polarisation 17%.

Source : Monographie de l'ORMVAD,2003

V. CONCLUSION

Le périmètre irrigué des Doukkala compte parmi les plus anciens et les plus importants du pays. Ces potentialités le permettent de mieux intensifier ces pratiques culturales, cependant, l'état actuel de ces ressources en eau de surface limite toute tentative de planification ou de pilotage puisque l'agriculteur ne sait pas exactement les dates et les dotations correspondantes d'un tour d'eau.

Le chapitre suivant cherche à identifier les ressources en eau souterraine comme une solution alternative adoptée par les agriculteurs.

CHAPITRE 3

Les Ressources en Eau

Souterraine

Vu sa complexité, la plaine de Doukkala était presque exclue de priorités des hydrogéologues depuis longtemps, ainsi, aucune étude n'a été faite depuis 1975. Face à cette situation, l'agence de bassin hydraulique Oum Er Rbia, chargée récemment de la gestion des ressources en eau du bassin versant, est entrain d'inventorier et de caractériser ces ressources dans les limites des Doukkala ; cette étude prendra fin dans les mois qui suivent.

Par ailleurs, le réseau de suivi et de surveillance implanté par l'ORMVAD en collaboration avec l'IAV Hassan II nous a rendu un grand service. Ainsi, les informations présentées ci-dessous sont synthétisées à partir de l'étude de 1975, des études effectuées sur la nappe du Sahel et les rapports de l'ORMVAD, en plus des interventions personnelles surtout au niveau du bilan hydrogéologique.

I. L'HYDROGEOLOGIE

1. Les formations hydrogéologiques

La plaine des Doukkala appartient au bassin hydrogéologique Sahel-Doukkala constitué de quatre principaux aquifères. Ces derniers sont associés à des formations à dominance calcaire:

- les calcaires du jurassique supérieur ;
- les calcaires de Dridrate du Néocomien ;
- le Cénomaniens ;
- les grés calcaires plio-quadernaire marin et dunaire ;

Ces couches perméables sont séparées par des formations imperméables ou peu perméables à dominance argileuse ou marneuse. A l'exception du plio-quadernaire dans les Doukkala centre, aucune couche perméable dans le bassin n'est suffisamment

épaisse, ni homogène et continue, pour constituer un aquifère susceptible d'être individualisé de point de vue hydraulique:

- les calcaires du jurassique comportent des horizons argileux et marneux d'épaisseur très variable;
- les calcaires de Dridrate ne sont pas bien individualisés que dans le Sahel;
- les grès calcaires plio-quadernaires marin et dunaires forment la nappe supérieure des Doukkala centre.

L'absence de continuité hydraulique à l'échelle du bassin pour une même formation rend illusoire l'étude spécifique de chacune des formations perméables. Un système aquifère unique regroupant les formations perméables crétacée et plio-quadernaires a donc été adopté.

Suivant les secteurs hydrogéologiques, ce système aquifère est constitué de:

- le crétacée inférieur et plio-quadernaire dans le Sahel intérieur et les Doukkala;
- le crétacée inférieur et le cénonanien dans le Sahel nord;
- le cénonanien et le plio-quadernaire dans les Doukkala nord et Haouzia.

Le substratum du système aquifère est difficile à déterminer avec précision vue la complexité et les variations des formations perméables et imperméables du bassin.

2. Structure des formations aquifères

2.1. Nappes profondes

Les trois forages profonds implantés par la DRH de Tensift dans la région de Sidi Bennour en 1952 ont montrés la présence de nappes ascendantes, plus profondes que la nappe plio-quadernaire. Et leurs niveaux statiques se placent entre 40 et 50 m de profondeur.

Tous les sondages anciens ou récents implantés dans la plaine des doukkala, montrent qu'il n'y a aucun espoir de trouver des niveaux aquifères profonds exploitables. Les débits obtenus sont trop faibles et la présence du gypse rend la qualité chimique des eaux impropre à beaucoup d'usages.

2.1.1. nappe du crétacé inférieur

Le crétacé n'est pas exploitable en raison de sa profondeur importante (profondeur du forage de 161 m), la faible productivité et la salure des eaux qui contient (eau sulfatée calcique avec un résidu sec de 2,2 g/l).

2.1.2. nappe du jurassique

Le jurassique supérieur n'existe que dans le sud de la plaine. Le plio-quadernaire repose directement sur le jurassique et toute l'eau infiltrée en surface percole jusqu'aux marnes de la base du jurassique, ne laissant que de rares niveaux perchés dans le pliocène sud jacent.

L'exutoire est l'océan avec lequel le jurassique est en communication directe sur une longueur de côté supérieur à 50 km. La qualité chimique de l'eau est très mauvaise étant donné l'abondance du gypse.

2.2. nappe supérieure ou plio-quadernaire

Elle circule dans des calcaires plio-quadernaires. Son imperméable de base n'est pas bien défini, car le cénomaniens présente des faciès tantôt calcaire, tantôt marneux. La nappe apparaît au total comme une nappe libre profonde qui, dans certaines conditions structurales, peut être captive sous les limons, avec une charge qui reste modeste (exemple du sud de sidi bennour où l'épaisseur des limons peut dépasser 80 m mais la charge reste toujours inférieure à 20 m). Le plio-quadernaire constitue le milieu aquifère principale de la plaine des doukkala.

2.3. nappes perchées

Ce sont des petites lentilles très localisées rencontrées parfois dans la partie superficielle dans les limons. Ces niveaux perchés sont étroitement liés au réseau hydrographique actuel ou fossile (réseau du dernier pluvial quadernaire). L'eau est contenue dans les lentilles de galets et sables, l'imperméable étant constitué par les limons anciens sous-jacents. Ces nappes sont exploitées par des puits peu profonds (2 à 10 m).

Grâce à leur position dans les creux des vallées et à leur faible profondeur, l'alimentation annuelle est assurée par les eaux de pluies et l'eau d'irrigation, ce qui leur permet de subsister pendant toute la saison.

L'eau de ces puits est très appréciée qualitativement car sa minéralisation est souvent faible.

En conclusion et à l'échelle du bassin hydrogéologique, les principaux aquifères constituent une nappe unique multicouche. Elles sont caractérisées par des variations latérales de faciès et d'épaisseur modifiant leurs caractéristiques hydrauliques et celles des épontes, ce qui explique les interrelations hydrauliques qui existent.

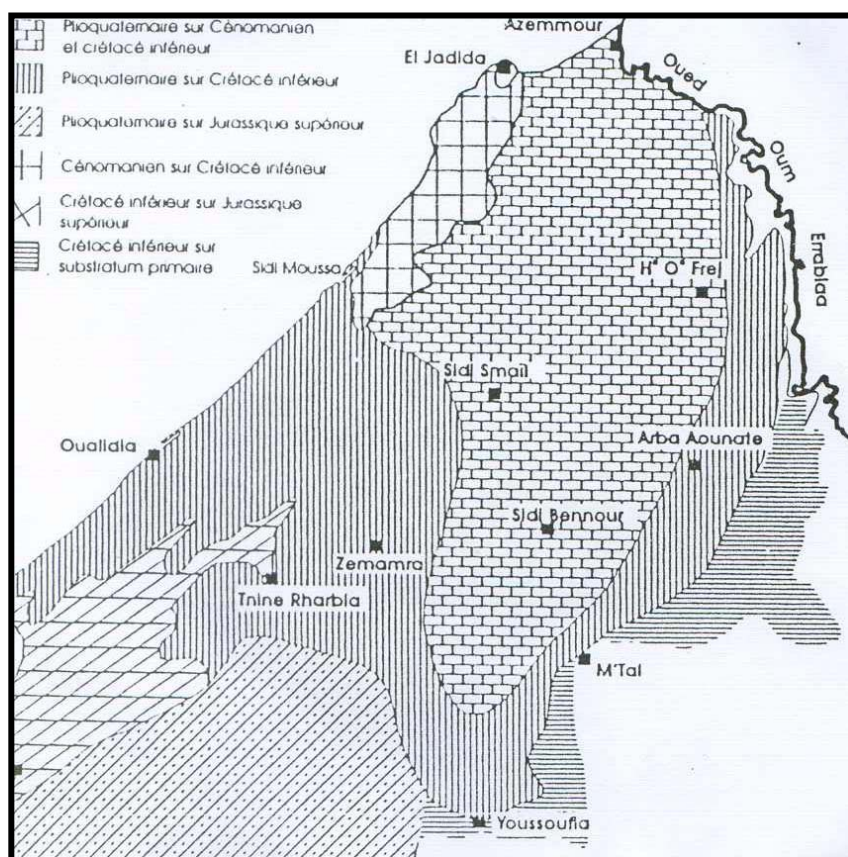


Figure 13: Extension des principales formations aquifères, (DRH Tensift, 1994)

3. Paramètres hydrauliques

Les transmissivités déterminées par la DGH sont comprises entre 10^{-4} et 10^{-2} m²/s. Ces disparités sont typiques des aquifères hétérogènes à dominance calcaire (perméabilités de type interstitiel, fissural, et karstique). (DRH, 1992).

Le coefficient d'emmagasinement retenu est de 1%.

4. Piézométrie

L'étude faite par la DRH de Tensift en 1992 a montré des niveaux bathymétriques généralement supérieurs à 20m, et dépassent fréquemment 50m.

L'existence de l'observatoire de suivi de l'ORMVAD nous a permis de mieux caractériser la nappe des Doukkala. Vu l'importance de ce réseau, nous avons jugé nécessaire de le mentionner, il est créé pour répondre au déficit en matière d'information sur l'évolution de la qualité des eaux et de sol qui se dégradent d'un jour à l'autre sous l'intensification agricole. Ce réseau offre aux planificateurs les éléments nécessaires pour l'établissement d'une stratégie conservatrice à long terme.

La figure 14 localise le site d'étude des eaux souterraines

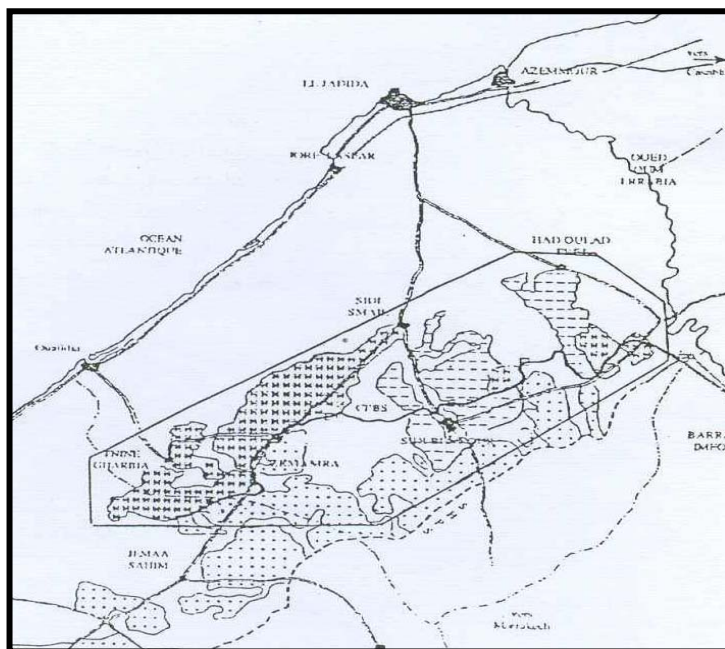


Figure 14: Site d'étude des eaux souterraines (SE / ORMVAD, 2003)

Les points sont choisis suite au maillage de la région avec une densification des points de prélèvement au niveau des zones à risque. Le tableau qui suit récapitule les indicateurs de suivi et le nombre de points de prélèvement.

Tableau 11: Eléments suivis et indicateurs de suivi

| Eléments suivis | indicateurs | Points de suivi |
|------------------------|---|--|
| Eau de surface | CE, RS, pH, BI, OD, T°C, Turbidité | Haut service : 6 points Bas service : 6 points |
| Eau souterraine | CE, RS, pH, Nitrates, Piézométrie | Haut service : 40 points Bas service : 60 points Bour : 5 points |
| Eau de drainage | CE, RS, pH, BI, OD, T°C Turbidité | Haut service : 10 points Bas service : 12 points |
| sol | CE, pH, BI, MO, DA, BE, Infiltration | Haut service : 30 points Bas service : 40 points |

Source : SE/ORMVAD, 2003

4.1. Résultats de suivi de la période 1998 à 2000

Les deux campagnes de mesure de la piézométrie faites par l'ORMVAD (moyenne des mois de mars et de septembre) révèlent une hétérogénéité dans la répartition des profondeurs, ces derniers varient entre

- 12,2 m et 45,1 m au niveau de Faregh
- entre 7,1 m et 3,1 m au niveau de Zemamra
- et entre 12,5 m et 64,9 m au niveau des autres casiers où la nappe semble continue.

La nappe perchée est beaucoup moins profonde par rapport à celle du plio quaternaire, elle peut atteindre 1,2m de profondeur.

L'étude menée par Rahoui et al en 1999 a montré deux caractères majeurs :

- une sur exploitation enregistrée à proximité des grandes agglomérations traduite par des niveaux bathymétriques les plus profondes ;
- les niveaux les moins profonds correspondent aux zones affectées par la salinisation.

La figure 15 cartographie les mesures effectuées pendant la campagne de Mars 1998.

4.2. Sens de l'écoulement

Le réseau de suivi et de surveillance a montré pour les trois premières années de suivi que l'écoulement de la nappe plio quaternaire est orienté du sud-est vers le nord-ouest, en d'autre terme vers la nappe de sahel central et du sahel côtier, ces deux nappes constituent les exutoires naturels de l'unité hydrogéologique des Doukkala.

4.3. Gradients Hydrauliques

La même étude a noté des gradients hydrauliques plus importants à Faregh (courbes plus serrées), les variations locales et brutales de la pente renseignent sur l'hétérogénéité de la nappe et des changements dans la perméabilité de terrains.

L'étude de 1975 a divisé la plaine des Doukkala en trois secteurs :

- Secteur amont où le gradient varie entre 12% et 15%.
- Secteur central à un gradient plus faible de 1%.
- Secteur aval à gradient inconnu vu la complexité du système.

4.4. Evolution de la piézométrie

4.4.1. Évolution intra annuelle

Entre la période des hautes eaux (Mars) et celle des basses eaux (Septembre), l'allure générale des courbes isopièzes et le sens de l'écoulement se conservent. Les variations saisonnières se traduisent généralement par la diminution de la piézométrie dans la période estivale par rapport à la période hivernale.

Le tableau 12 montre les taux de rabattement annuels des niveaux de la nappe par casier

Tableau 12 : le taux de diminution de la piézométrie par casier

| casier | Taux de diminution |
|--------------|--------------------|
| Faregh | 0.2m à 0.6m |
| Sidi Smail | 0.35m à 1.2m |
| Sidi Bennour | 0.45m à 1.3m |
| Zemamra | 0.45m à 0.78m |
| Gharbia | 0.5m à 1.03m |

Source : ORMVAD/ SE

Les faibles taux de diminution de niveaux bathymétriques dans les casiers de Faregh et Zemamra sont dues à la présence des sources d'alimentation : Oued Faregh et les dayas.

4.4.2. Evolution inter annuelle

Le rapport élaboré par l'observatoire de l'environnement en 2000 récapitulant les résultats de trois premières années de suivi montre l'irrégularité spatiale de l'évolution piézométrique inter -annuelle.

Tableau 13 : les variations de la piézométrie entre Mars 96 et Mars 99.

| casier | Variation |
|---|----------------|
| Faregh (Est) | -0.5m à -1.25m |
| Faregh (Nord et Sud) Sidi Bennour (Nord-ouest) Sidi Smail | +0.5m à +3m |
| Gharbia | -0.2m à -0.3m |

Source : ORMVAD/SE

En général, au niveau du secteur bas service, la nappe a remonté de 0.5m à 3.5m entre septembre 1995 et mars 1999. Les fortes remontées sont localisées surtout dans le casier Sidi Bennour (CDA 330) et casier Faregh (CDA 311) où des requêtes relatives à la salinité des sols ont été formulées par quelques agriculteurs de ces zones.

5. La qualité des eaux souterraines

5.1. Périmètre bas service

5.1.1. La salinité

Dans le périmètre irrigué des Doukkala, l'origine de la salinité des aquifères revient à :

- Les caractéristiques physico-chimiques qui dépendent principalement de la lithologie des formations des aquifères, de temps de résidence et des conditions et de l'origine des eaux de recharge ;
- L'infiltration des eaux d'irrigation et de drainage : la salinité des eaux est doublée, les eaux se sont principalement chargées en chlorures et surtout en sulfates ;
- et de moindre degré, les intrusions marines provoquées par le développement intensif des pompes pour l'irrigation, surtout dans la frange côtière du Sahel.

Les principaux résultats de la campagne de suivi 2001/2002 révèlent une conductivité électrique moyenne plus ou moins variable d'un casier à un autre :

Zemamra : 4,4 ms/cm

Faregh : 3,8 ms/cm

Gharbia : 2,7 ms/cm

La conductivité électrique moyenne annuelle sur l'ensemble du périmètre est de 3,7 ms/cm.

Ces valeurs varient entre la période basse eau (octobre - novembre) et haute eau (Mai). Le tableau 14 récapitule les conductivités électriques mesurées dans les deux périodes et les intervalles de mesures.

Tableau 14 : les conductivités électriques de la campagne 2001 /2002

| Casier | Période basse eau | | Période haute eau | |
|----------|-------------------|------------|-------------------|-----------|
| | Intervalle | Moyenne | Intervalle | Moyenne |
| Zemamra | 1,5 à 8,3 ms/cm | 4,75 ms/cm | 1,4 à 7 ms/cm | 4 ms/cm |
| Faregh | 1,6 à 9 ms/cm | 3,78 ms/cm | 1,6 à 8,9 ms/cm | 3,8 ms/cm |
| Gharbia | 1,2 à 8,4 ms/cm | 4,1 ms/cm | 0,7 à 3,1 ms/cm | 1,7 ms/cm |
| Doukkala | 1,5 à 9 ms/cm | 4,2 ms/cm | 0,7 à 8,9 ms/cm | 3,2 ms/cm |

Source : ORMVAD/SE

Ce rapport montre que 72 % des puits suivis ont une salinité forte à très forte (> 3 ms/cm), la salinité du reste est moyenne (0,75 à 3 ms/cm).

La figure 16 représente la répartition spatiale de la conductivité électrique au niveau du périmètre bas service mesurée pendant la campagne 1998.

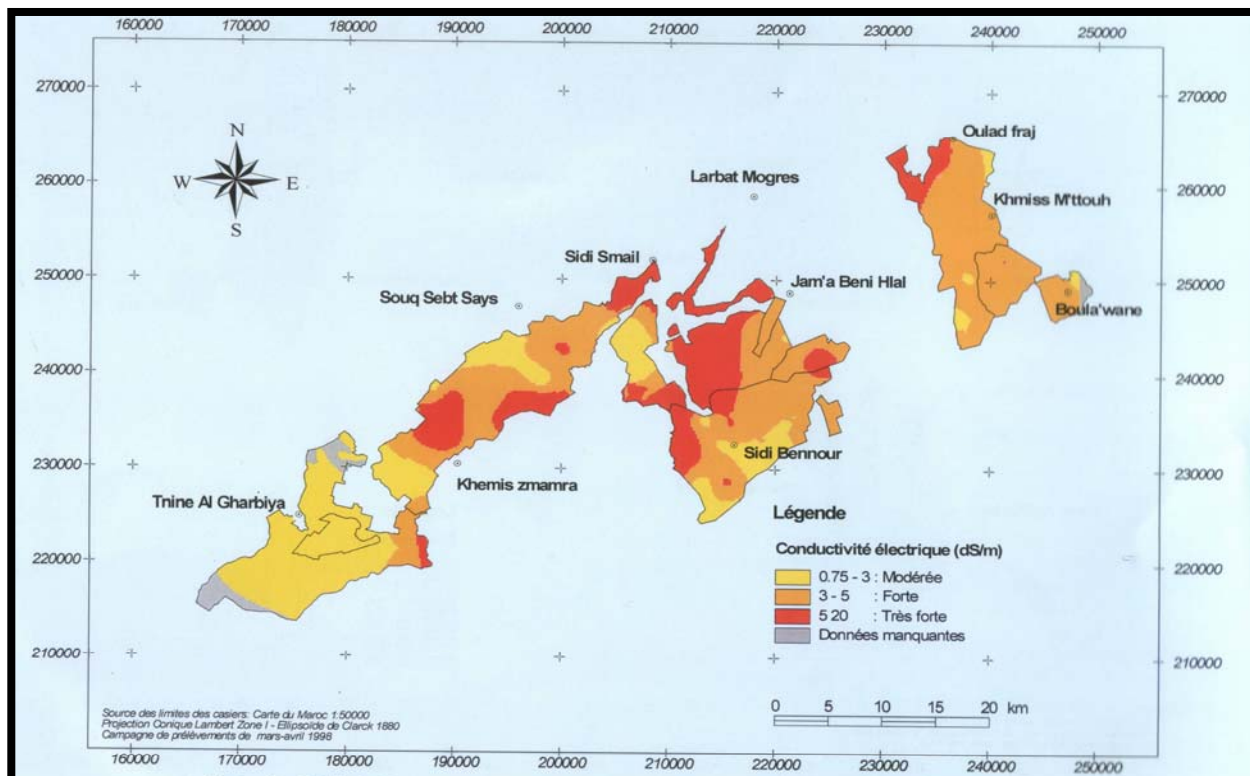


Figure 16 : les conductivités électriques de la nappe phréatique dans le périmètre bas service. ATLAS, 2000

5.1.2. Les nitrates

La teneur moyenne en nitrates est de 58 mg/l, elle dépasse le seuil de potabilité fixé par l'OMS (50 mg/l).

Tableau 15 : qualification des puits suivis

| Teneur en nitrates | Pourcentage des puits suivis | qualification |
|--------------------|------------------------------|--------------------|
| < 25 mg/l | 29 % | Bonne qualité |
| 25 à 50 mg/l | 38 % | Moyenne à bonne |
| 50 à 100 mg/l | 21 % | Moyenne à mauvaise |
| > 100 mg/l | 12 % | Très mauvaise |

Source : SE/ORMVAD

Les mesures effectuées pendant l'année 1998 ont permis de cartographier la teneur en nitrates.

La Figure 17 cartographie les teneurs en nitrates des eaux de la nappe phréatique dans le périmètre bas service. ATLAS, 2000

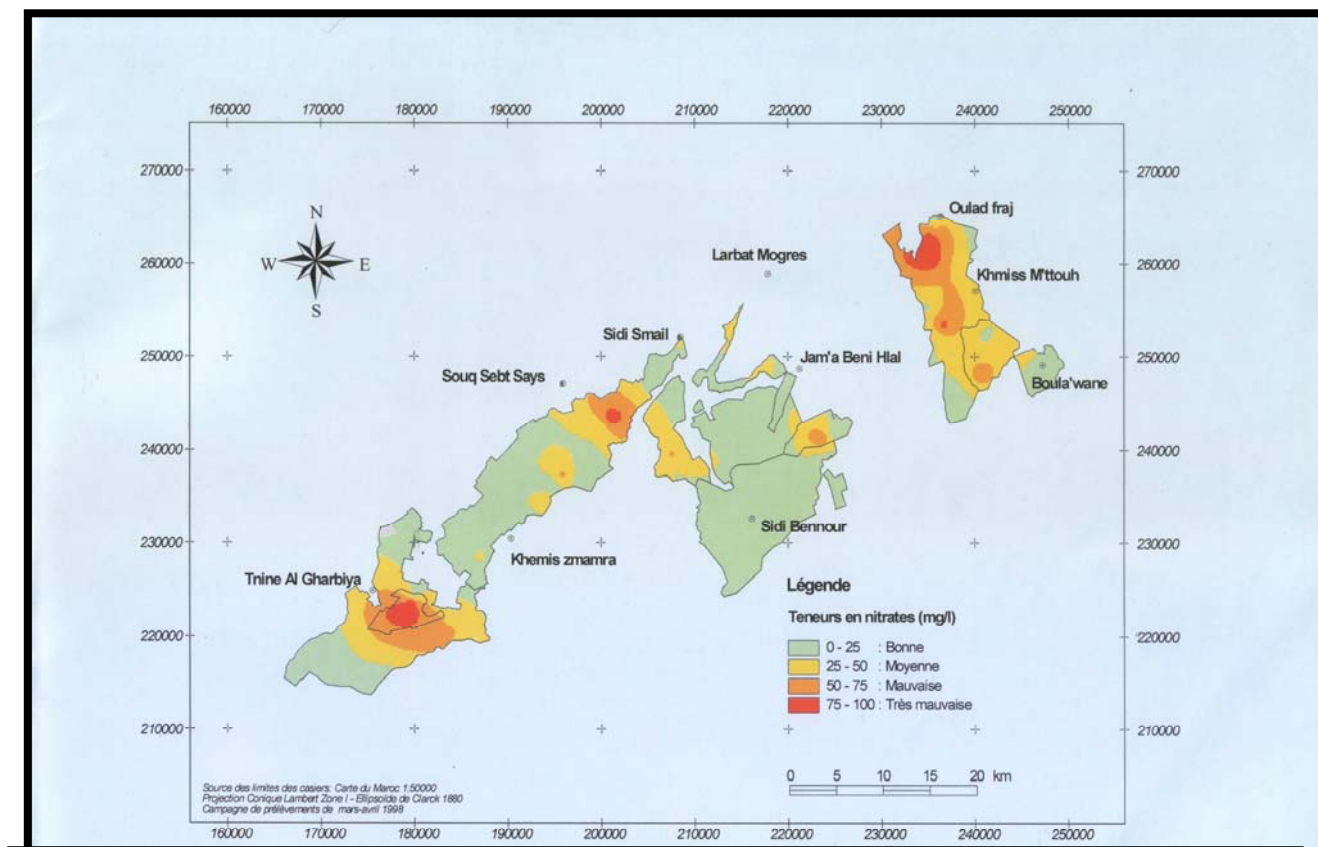


Figure 17 : Teneurs en nitrates de la nappe phréatique dans le périmètre bas service. ATLAS, 2000.

Les concentrations qui dépassent les normes de potabilité sont localisées dans des zones bien déterminées et citées par Rahoui et al. :

- au nord et au centre du casier Faregh (CDA 310 et 311)
- au nord du casier Zmamra (CDA 324)
- au centre de Sidi Smail extension (CDA 330)
- la zone médiane de Tnine Gharbia (entre les CDA 340, 341 et 343).

Ces valeurs trouvent leur origine dans la fertilisation azotée excessive, les rejets des activités industrielles et les rejets des eaux usées parfois utilisées sans traitement pour l'irrigation de sols bour et la non maîtrise de l'irrigation.

En procédant à la superposition de ces deux cartes, une classification basée sur le principe de la contrainte maximale a été réalisée par Rahoui et al (Pollution nitrique des

eaux souterraines des Doukkala) montre que 7.53% des cas présentent des eaux d'une qualité mauvaise à très mauvaise. Une conclusion qui renforce l'état de la qualité des eaux souterraines relevé par la DRPE en 1995/1996.

5.2. Périmètre haut service

- **Profondeur**

Les niveaux sont très profonds pour l'exploitation

Tranche I : 77 m

Tranche II: 48 m

- **Alcalinité** : les valeurs de SAR sont comprises entre 1,5 et 2,5, ces eaux ne représentent pas de risque de sodicité (< 4).
- **Salinité** : les eaux sont fortement à très fortement salées (CE > 0.75 ms/cm).

Tableau 16: répartition spatiale des classes de salinité dans le périmètre Haut Service

| Classe de salinité | Caractéristiques de la Conductivité moyenne | Répartition spatiale |
|---------------------|---|----------------------|
| Salinité très forte | = 2, 3 ms/cm | 21% |
| Salinité forte | = 4 ms /cm | 48% |
| Salinité moyenne | > 5 ms/ cm | 31% |

Source : rapport de stage des étudiants 5^{ème} année, 2003

- **Nitrates** :

Généralement inférieure à 50 mg/l. en effet, la plupart des puits enquêtés par le réseau de suivi (DGRID) (61%) ont une teneur inférieure à 25 mg/l, la mauvaise qualité de la nappe au terme des teneurs en nitrates est présente chez 8% des cas.

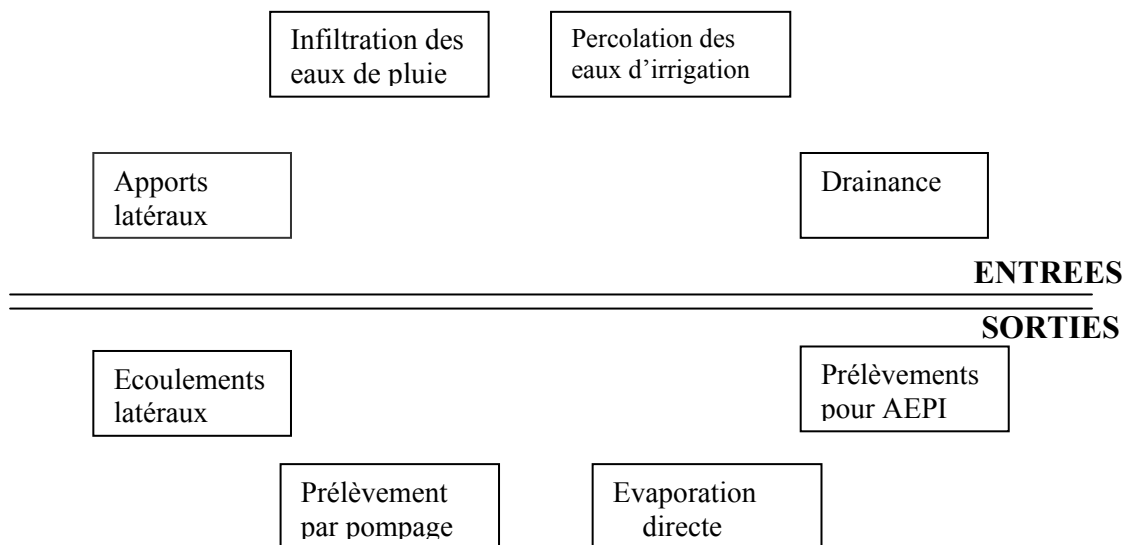
II. LE BILAN HYDROGEOLOGIQUE

L'élaboration d'un bilan hydrogéologique permet de connaître le fonctionnement de la nappe ainsi que la détermination de la contribution de chaque composante du bilan dans l'alimentation et de rabattement de la nappe.

De point de vue exploitation des eaux souterraines, le bilan permet de déceler les potentialités de la nappe et les limites d'exploitation pour une gestion plus conservatrice de la ressource.

Dans cette partie, on a déterminé d'abord les termes du bilan à l'aide de l'agence du bassin d'Oum Er Rbia, puis on a synthétisé les différents documents qui existent et enfin on a complété nos informations par des estimations.

1. Schéma du bilan



L'équation générale de la plaine des Doukkala s'écrit de la façon suivante :

$$P + I + L + D = E + P_p + P_{AEP} + EI \pm \Delta S$$

Avec:

- P: infiltration efficace des eaux de pluie
- I : infiltration des eaux d'irrigation
- L: les apports latéraux provenant des Rehamna
- D: apports par drainance
- E: évaporation directe à partir de la nappe

- Pp: prélèvements par pompage
- P_{AEP} : prélèvements pour des fins domestiques et industriels
- El: écoulements latéraux
- ΔS: variation de la réserve

2. Les apports

L'alimentation de la plaine se fait essentiellement par des eaux de pluie, la percolation des eaux d'irrigation et des apports latéraux provenant des Rehamna.

2.1. Evaluation des apports des pluies

Les coefficients d'infiltration sur la pluie brute déterminés par la DH varient entre 1 à 2 % suivant la nature du terrain.

La figure 17 représente les apports mensuels des eaux de pluies moyens de 39 ans :

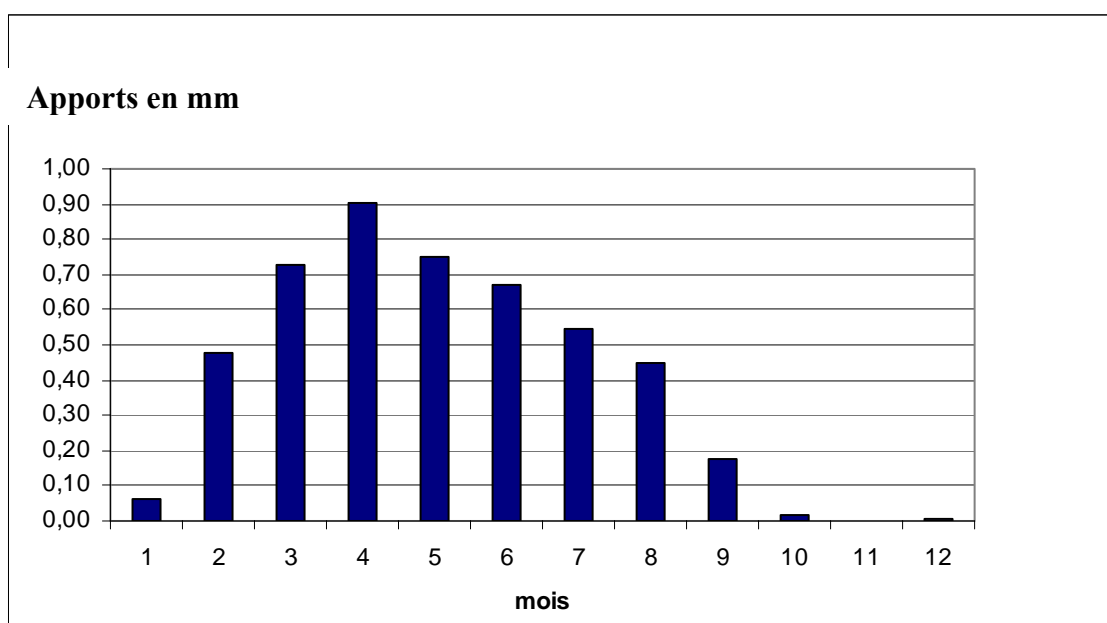


Figure 18: Les apports par les eaux de pluie moyens de 39ans.

L'apport annuel moyen en matière de pluies brutes est de **318,5 mm**. En s'appuyant sur un coefficient d'infiltration moyen de 1.5%, la lame d'eau efficace moyenne est de **4,8 mm**, en terme de volume il est d'environ **16,71 Mm³**.

Pour la campagne 2002/2003, cette lame était de **5,57 mm**, en terme de volume **19,48 Mm³** pour une superficie de 350 200 ha.

2.2. Apports d'irrigation

Le tableau 17 présente la répartition des lames d'eau consommées relatives à la campagne 2002/2003 par casier les lames d'eau d'irrigation infiltrées calculées sur la base du coefficient d'infiltration estimé à 3% par la DRH. Ce coefficient est trop faible en comparaison avec celui de Gharb qui dépasse 8%. Ainsi, dans cette étude, on considère les efficacités d'irrigation de 55% pour le gravitaire et 65% pour l'aspersion, ces efficacités expriment les pertes en eau par infiltration et ruissellement, généralement la perte par ruissellement est très faible par rapport à l'infiltration au delà de la zone racinaire. Par conséquent, on estime que deux tiers des pertes percolent vers la nappe, soit 30% dans le cas d'une irrigation gravitaire et 23% dans le cas d'une irrigation par aspersion.

Tableau 17 : répartition des lames d'eau consommées et infiltrées par casier : Situation 02/03

| | Superficie ha | Lame d'eau consommée en mm | Volume consommé total en Mm ³ | Lame d'eau infiltrée en mm | Volume infiltré en Mm ³ |
|-------------------|------------------|----------------------------------|---|----------------------------------|--|
| Gravitaire | 44 123,38 | 328,1 | 144,76 | 98,43 | 43,43 |
| Aspersion | 31 158,55 | 378,3 | 117,87 | 87,01 | 27,11 |
| Total | 75 281,93 | 348,9 | 262,63 | ---- | 70,54 |

Les coefficients estimés ont donnés des valeurs nettement supérieurs à celle de la première méthode. Ainsi, on retient la deuxième approche.

La figure 10 a déjà illustré l'évolution des dotations dans une période de quatorze dernières années. La valeur moyenne par hectare est d'environ 491 m³/ha.

2.3. La drainance

Les apports d'eau par drainance sont négligeables puisque la nappe repose sur un substratum imperméable. Ce terme est approché pour tout le bassin de Sahel Doukkala Abda à une valeur de 14 Mm³.

2.4. Les apports latéraux

L'alimentation est complétée par l'infiltration des eaux de crues et des transferts provenant de Rehamna.

Des études datées de 1975 ont faiblement estimés les apports latéraux en attribuant une valeur de 1,5 mm pour les apports superficiels et 1 mm pour les apports souterrains, ces deux apports n'ont représentés que 1% des entrées vers la nappe.

En raison de la non disponibilité des données, une tentative pour estimer les apports a été faite en se basant sur la loi de Darcy (supposant que le milieu est homogène et isotrope) (Hammani et Bounja, 1991).

La sous forme de l'équation de Darcy fait le lien entre le débit qui s'écoule à travers un massif de sable d'une part et les pertes de charge de l'eau et les dimensions du massif d'autre part.

$$Q = K. A. \frac{(\Delta\phi)}{L}$$

Avec

- K: coefficient de perméabilité ou conductivité hydraulique;
- A: section du massif sableux ;
- $\Delta\phi$: pertes de charge de l'eau entre le sommet et la base du massif ;
- L : épaisseur du massif.

La formule de calcul se présente alors comme suit :

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = T.L. \frac{\Delta H}{l}$$

Avec

- T : la transmissivité moyenne prise égale à $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$;
- L : la longueur de la section à travers laquelle se fait l'écoulement, mesurée sur la carte piézométrique (1998) : 92km ;
- $\Delta H/l$: le gradient hydraulique moyen.

Estimation du gradient hydraulique moyen :

Le tableau suivant représente les coordonnées des puits utilisés pour le calcul des apports latéraux et les niveaux piézométriques correspondant :

| Puits amont | | | | Puits avals | | | |
|--------------------|--------|--------|--------|--------------------|--------|--------|--------|
| N° | X | Y | Z | N° | X | Y | Z |
| 73 | 248,08 | 246,50 | 160,00 | 75 | 243,75 | 250,23 | 176,00 |
| 10 | 240,30 | 242,62 | 192,00 | 12 | 234,70 | 245,60 | 148,00 |
| 123 | 221,30 | 223,10 | 220,00 | 107 | 217,80 | 227,20 | 195,00 |

Les étapes de calcul se résument dans le tableau ci-dessous :

| NP amont | NP aval | ΔH | l | $\Delta H/l$ | $\Delta H/l$ moy |
|----------|---------|------------|------|-----------------------|-----------------------|
| 129,70 | 137,20 | 7,50 | 1,40 | $1,375 \cdot 10^{-3}$ | |
| 149,50 | 130,79 | 18,71 | 1,30 | $3,757 \cdot 10^{-3}$ | $3,379 \cdot 10^{-3}$ |
| 177,40 | 154,50 | 22,90 | 1,20 | $4,982 \cdot 10^{-3}$ | |

Les apports latéraux s'écoulent avec un débit de $0,31 \text{ m}^3/\text{s}$. soit un apport de **9,8 Mm³/an.**

3. Les sorties

3.1. Les sorties latérales

Les écoulements latéraux vers la nappe du Sahel sont indéfinis vu la complexité des aquifères.

L'essai du bilan réalisé en 1975 a donné une estimation de 1,4 mm, plus tard en 1992 et à l'échelle du grand bassin, ces pertes vers la mer sont estimées de 33 Mm³ sur une longueur de 50 Km.

3.2. Les pompages

En absence d'un inventaire des puits, ce terme n'est pas défini jusqu'à présent. L'Agence de bassin de Tensift (1989) l'a approché à une valeur de 38.5 Mm³ pour tout le bassin de Sahel-Doukkla-Abda, Des études ultérieures en 1992 ont donné une estimation globale pour le grand bassin de 50 Mm³. L'ORMVAD approche ce terme à 150 Mm³ ce qui correspond à la réserve totale de la nappe selon les estimations de l'ORMVAD.

Pour estimer les volumes pompés nous avons établis un bilan entre deux périodes où le niveau de la nappe a été mesuré. Pour ce la nous avons utilisé le logiciel

« SURFER® » pour estimer la différence des volumes entre deux périodes 1998 et 1999, en introduisant les coordonnées de Lambert X et Y et la valeur à cartographier à savoir la piézométrie puis en spécifiant les limites inférieure et supérieure. Ce logiciel a calculé une valeur de rabattement de la nappe égale à 8,794 Mm³ qui représente le volume total qui après multiplication avec le coefficient d'emménagement (1%) donne le volume d'eau net prélevé pendant la période 1998-1999.

Les prélèvements par pompage peuvent être plus ou moins déduite de la façon suivante:

- le volume moyen réservé à l'irrigation est variable d'une année à l'autre en fonction de la pluviométrie et la superficie équipée. Si on prend le cas des trois dernières années, on trouve un volume moyen consommé de 265 Mm³. le volume percolé dans les zones irriguées en gravitaire (44 123,38 ha) et en aspersion (31 158,55 ha) est d'environ 72 Mm³ ;
- Les infiltrations par les eaux de pluies moyennes sont estimées à 16,71 Mm³ ;
- les apports latéraux ont une valeur approximative de 9,8 Mm³ ;
- La variation de stock pendant 1998 – 1999 est très faible et négative, elle est d'environ 0,1 Mm³.

En négligeant la contribution de l'évaporation et les autres sorties, les prélèvements par pompage atteindraient presque 98,6 Mm³.

3.3. Les prélèvements pour l'AEPI

Les prélèvements pour l'AEPI sont très faibles vu que ces secteurs sont approvisionnés directement à partir de l'eau de barrage.

3.4. L'évapotranspiration et l'évaporation

Les études faites en 1975 ont données une valeur de 321mm soit 99,5% du passif du bilan ce qui est énorme. Si on revient à la théorie de White (1932) (cité par Hammani,

2003) qui propose la variation de l'évapotranspiration à partir de la nappe en fonction de la profondeur de la surface de l'eau.

Dans les régions arides, elle s'agit de la profondeur critique au-delà de laquelle il ne se forme plus de dépôts salins. En climat continental, cette profondeur est déterminée suivant la formule de Kovda (cité par Hammani, 2003) :

$$D = 170 + 8T \pm 15\text{cm} \quad \text{avec } T \text{ la température moyenne en } ^\circ\text{C}.$$

Les pertes par évaporation sont considérées négligeables à raison de profondeur de la nappe. Une considération ne pouvant pas expliquer l'évolution de la nappe.

III. CONCLUSION

La nappe la plus exploitée circule dans l'aquifère plioquaternaire à des profondeurs généralement faibles. Cependant, elle est menacée à la pollution en sels et en nitrates. Cette situation de déséquilibre qualitatif et quantitatif limite l'exploitation de la nappe, En effet, sur un échantillon de 80 puits répartis dans les principaux casiers du périmètre irrigué bas service des Doukkala, 54% des cas sont exploités mêmes s'ils sont moyennement salés alors que les eaux de très mauvaise qualité quant à leur concentration en nitrates sont utilisés dans 100% des cas. (Rahoui et al, 1999).

Ces conclusions nous amène à réfléchir quant aux modalités de l'exploitation de la nappe à l'échelle de l'exploitation agricole.

D'une manière générale, le tableau 18 récapitule les ressources en eau disponibles dans les Doukkala.

Tableau 18 : la répartition des ressources en eau

| Ressources en eau | Volume (*Mm ³) | (%) national |
|------------------------------------|----------------------------|--------------|
| Mobilisables | 2900 | 14 |
| Superficielles | 2750 | 17 |
| Souterraines | 150 | 3 |
| Mobilisées | 1500 | 11 |
| Superficielles | 1350 | 13 |
| Souterraines | 150 | 4.2 |
| Eau réservée à l'irrigation | 1250 | 10 |

Source : Monographie de l'ORMVAD

Troisième Partie

Etude des Pompages
dans les Casiers de
Sidi Bennour & Faregh

CHAPITRE 4

Matériels & Méthodes

Le Maroc a consenti des efforts considérables pour l'intensification de ces pratiques culturales via les aménagements hydro agricoles. Cependant, ce développement est freiné par la limitation des ressources en eau suite aux sécheresses répétitives. Dans ce contexte, la tendance à l'exploitation de la nappe a pris place comme une alternative à l'eau de surface.

Le présent travail constitue une introduction à la connaissance du secteur des pompes privées grâce à un échantillon de 11 agriculteurs. En absence des études spécifiques, il est plutôt qualitatif et vise la compréhension du fonctionnement de ce secteur. Il résume ces objectifs dans la triade : quoi, pourquoi et comment pomper.

En vue d'atteindre nos objectifs, la démarche suivie consiste en des enquêtes de plusieurs formes:

- Enquêtes documentaires : elle est menée auprès des différents services de l'ORMVAD, DPA, l'agence de bassin d'Oum Er Rbia, DRH, Administration d'hydraulique, la faculté des sciences d'El Jadida et l'IAV Hassan II.

Ces enquêtes ont pour objectifs de caractériser la zone d'études et bien cerner la problématique.

- Enquêtes sur le terrain auprès des agriculteurs, des fournisseurs de matériel de pompage et des entreprises de forage. Les enquêtes ont été effectuées dans les casiers de Sidi Bennour et Faregh les plus développés en matière d'exploitation des eaux souterraines.

Le travail dans le cadre du projet Wademed nous a permis de s'approcher du contexte socio économique et technique de la gestion des eaux de surface grâce aux stages organisés dans le périmètre.

1. La population cible

Dans le but d'avoir un échantillon fiable des agriculteurs qui exploitent la nappe, il est nécessaire de partir d'un inventaire qui localise au moins les points de prélèvement. Cependant, le seul inventaire qui existe a été cherché chez les arrondissements de gestion de réseau. Les informations recueillies nous ont posé deux contraintes:

- Le recensement au casier de Faregh a été effectuée en 2001 tandis qu'à Sidi Bennour, le recensement n'a commencé qu'en 2003, devant cette situation, on a été obligé de compléter l'effectif des points de prélèvements par les autorisations accordées ultérieurement.
- Les éléments traités ne sont pas identiques, ainsi, l'enquête de Sidi Bennour s'est intéressée aux coordonnées des agriculteurs et les superficies dominées, alors qu'au niveau du Faregh, des mesures de la qualité des eaux souterraines ont été effectuées sans aucune signalisation des superficies en plus des coordonnées qui ne correspondent pas forcément au vrai agriculteur. Heureusement que les responsables ont installés une base de données pour l'ensemble des agriculteurs abonnés au réseau de l'eau de surface ce qui a constitué un moyen de vérification de l'information à partir d'une démarche inverse par rapport à Sidi Bennour.

2. Le procédé de l'échantillonnage

L'échantillonnage adopté est de type stratifié à double degré et aléatoire. Les strates du premier degré correspondent aux casiers Sidi Bennour et Faregh puisqu'ils représentent 80% environ de puits et/ou forages (ORMVAD).

A l'intérieur de chaque strate, une deuxième stratification est opérée suivant le critère de superficie dominée de l'exploitation agricole. Cinq sous strates sont donc retenues pour des superficies dominées déterminées par la méthode de COCHRAN (1977). Puis une parcelle est choisie aléatoirement à l'intérieur de chaque sous strate.

Tableau 19: Distribution de fréquence des strates retenues pour les 896 exploitations

| strate | Sous strate | Catégorie SAU | effectif | SAU retenue |
|---------------------|-------------|---------------|----------|-------------|
| Sidi Bennour | 1 | 0-3 | 61 | 1 |
| | 2 | 3-6 | 100 | 5.8 |
| | 3 | 6-10 | 48 | 8.5 |
| | 4 | 10-21 | 37 | 11.4 |
| | 5 | >21 ha | 10 | 31.788 |
| Total | - | - | 256 | - |
| Faregh | 1 | 0-3 | 192 | 3 |
| | 2 | 3-6 | 160 | 4.15 |
| | 3 | 6-10 | 147 | 6.3 |
| | 4 | 10-21 | 77 | 18 |
| | 5 | >21 ha | 64 | 26.43 |
| Total | - | - | 640 | - |

Cet échantillon est complété par une exploitation en bour afin de mieux comprendre les stratégies adoptées.

L'effectif de l'échantillon a été doublé pour éviter tout imprévu : parcelles en litige, forage cimenté, agriculteur absent....

3. Le questionnaire

Le questionnaire est de type semi-ouvert sur place (voir fiche d'enquête en annexe) et a été préalablement testé chez trois agriculteurs. Les questions posées sont de plusieurs types ::

- d'ordre général : le niveau scolaire et l'esprit participatif et organisationnel de l'agriculteur, la destination de la production et les améliorations entreprises sur le système de production. Cela peut nous indiquer le degré de développement atteint ;
- d'ordre technique : la constitution de son installation et les modalités de gestion de l'eau des deux origines (surface et souterraine) ;
- d'ordre économique : la valorisation économique de l'eau pompée.

4. Entretien avec les responsables des entreprises de vente de matériel de pompage

Pour compléter les informations recueillies auprès des agriculteurs, il était nécessaire de consulter les entreprises fournisseurs des équipements et des services. Les principales questions posées visent à :

- caractériser le secteur du pompage privé et les modalités d'intervention dans la prise de décision et pour l'installation ;
- définir les caractéristiques du matériel de pompage.

5. Interview auprès des responsables de l'ORMVAD

Il a pour but de recueillir des informations sur les différentes contraintes qui s'opposent au bon fonctionnement des installations de pompage et à une gestion efficace. L'expérience des ingénieurs et la documentation qui existe étaient très intéressantes et elles nous ont permis d'avoir une idée globale sur le sujet avant de sortir sur le terrain.

6. Les mesures

Pendant nos enquêtes, on a mesuré les débits au refoulement et les conductivités électriques (puisque ce paramètre conditionne le degré d'exploitation des eaux souterraines tel qu'il est ressorti de la bibliographie), et on a effectué des essais de pompage.

6.1. La piézométrie

Le niveau bathymétrique est mesuré à l'aide d'une sonde piézométrique. Son principe de fonctionnement consiste à pénétrer la sonde dans le puit/forage, un signal sonore et un allumage d'une lampe se déclenchent dès qu'un contact s'établit avec le niveau d'eau.

La lecture se fait directement sur un ruban gradué de 200m de longueur

6.2. Le débit

L'estimation des volumes pompés est le point faible de chaque étude hydrogéologique. A partir de ces mesures et les heures de fonctionnement de la station de pompage dont les agriculteurs se souviennent, on peut estimer les volumes pompés avec une certaine précision puisque la valeur mesurée du débit n'est pas fixe dans le

temps et ne correspond pas forcément au vrai débit avec lequel la station a fonctionné la campagne précédente.

Suivant que l'eau pompée est refoulée dans le canal tertiaire, dans le canal arroseur ou directement dans le réseau aspersion, la méthode de mesure diffère :

- Si l'eau est pompée dans un canal tertiaire de diamètre interne de 49cm ; la mesure s'effectue à l'aide de FLO MATE 2000, un débitmètre/courantomètre portable au moyen d'un capteur électromagnétique.

Plusieurs méthodes de calcul de vitesse moyenne sont proposées parmi lesquels la méthode suivante est la plus précise vu les conditions qui existent.

Elle consiste à mesurer la vitesse au niveau de trois positions à partir du fond : 0.2x la hauteur, 0.4 x la hauteur et 0.8 x la hauteur.

$$V_{\text{moy}} = \frac{(V_{0.2} + V_{0.8} + 2.V_{0.4})}{4}$$

Le débit est donc calculé selon la formule:

$$Q = D^2 \cdot K \cdot V_{\text{moy}}$$

Avec :

- D : le diamètre interne de la conduite en m.
 - K : un coefficient multiplicateur déterminé dans une table suivant le rapport H/D et l'unité souhaitée.
 - H : la hauteur d'eau à l'instant de mesure en m.
- Si l'eau pompée est refoulée dans un réservoir, alors le débit est estimé à partir du volume interne du réservoir divisé par le temps de remplissage ;
 - Chez l'agriculteur F3, on s'est servi de sa station tête pour évaluer le volume qui passe en un intervalle de temps ;
 - La dernière possibilité consiste à mesurer le débit par empotement à partir du temps de remplissage d'un tonneau de 220 litres. Cette méthode a été utilisée uniquement chez l'agriculteur F4.

6.3. La conductivité électrique

Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre. La salinité (g/l) est déterminée en multipliant la valeur de la conductivité électrique (mS/cm) par le coefficient 0,64 (Ayers et Westcot, 1988).

$$\text{TDS (g/l)} = 0,64 \times \text{CE (mS/cm)}$$

Avec TDS= teneur en sels exprimée en équivalents de NaCl.

6.4. Les essais de pompage

Les essais de pompage constituent une étape préliminaire avant l'exploitation d'un ouvrage donné, ils sont nécessaires pour éviter les interférences entre des ouvrages voisins et pour planifier les débits et les horaires de fonctionnement de pompage pour toute une région à long terme afin d'empêcher l'assèchement ou l'appauvrissement des nappes.(Mabillet, 1988).

Ils consistent à pomper pendant un certain temps jusqu'à la stabilité du niveau d'eau au régime permanent dans l'objectif d'optimiser l'exploitation de l'ouvrage (débit, temps de pompage et la position optimale de la pompe) et d'estimer les caractéristiques hydrologiques de la nappe à exploiter (perméabilité, transmissivité, étendue,...).

Les essais s'exécutent sous les hypothèses de base suivantes :

- l'aquifère est homogène et isotrope ;
- on pompe à un débit constant ;

Cette étude a été fait avec un seul piézomètre (ouvrage d'exploitation) et l'interprétation des essais s'est appuyée sur les courbes de remontée en raison de la perturbation du niveau d'eau à la descente par les pertes de charge pendant la traversée des fentes de la crépine et des pores du terrain entourant l'ouvrage d'une part, et des oscillations du niveau résultantes des instabilités de régime de pompe.

L'interprétation des courbes de remontée par la méthode de Jacob offre une meilleure estimation de la transmissivité et nécessite une transformation de variable t (temps) à $(1+ t_p/t)$ avec t_p la durée de pompage et t le temps compté après l'arrêt du pompage.

7. Les méthodes d'analyse des données

Les résultats des enquêtes ont été traités individuellement puis de façon globale pour déceler les relations qui existent.

On a essayé dans cette étude d'intégrer des facteurs économiques et organisationnels affectant les décisions des agriculteurs pour mieux cerner la problématique.

L'étude économique a été réalisée en s'appuyant sur les itinéraires techniques de chaque culture telles qu'elles sont pratiquées par les agriculteurs et en consultant parfois quelques entreprises. Les élevages ne sont pas traités dans cette étude vu la non fiabilité des résultats des enquêtes.

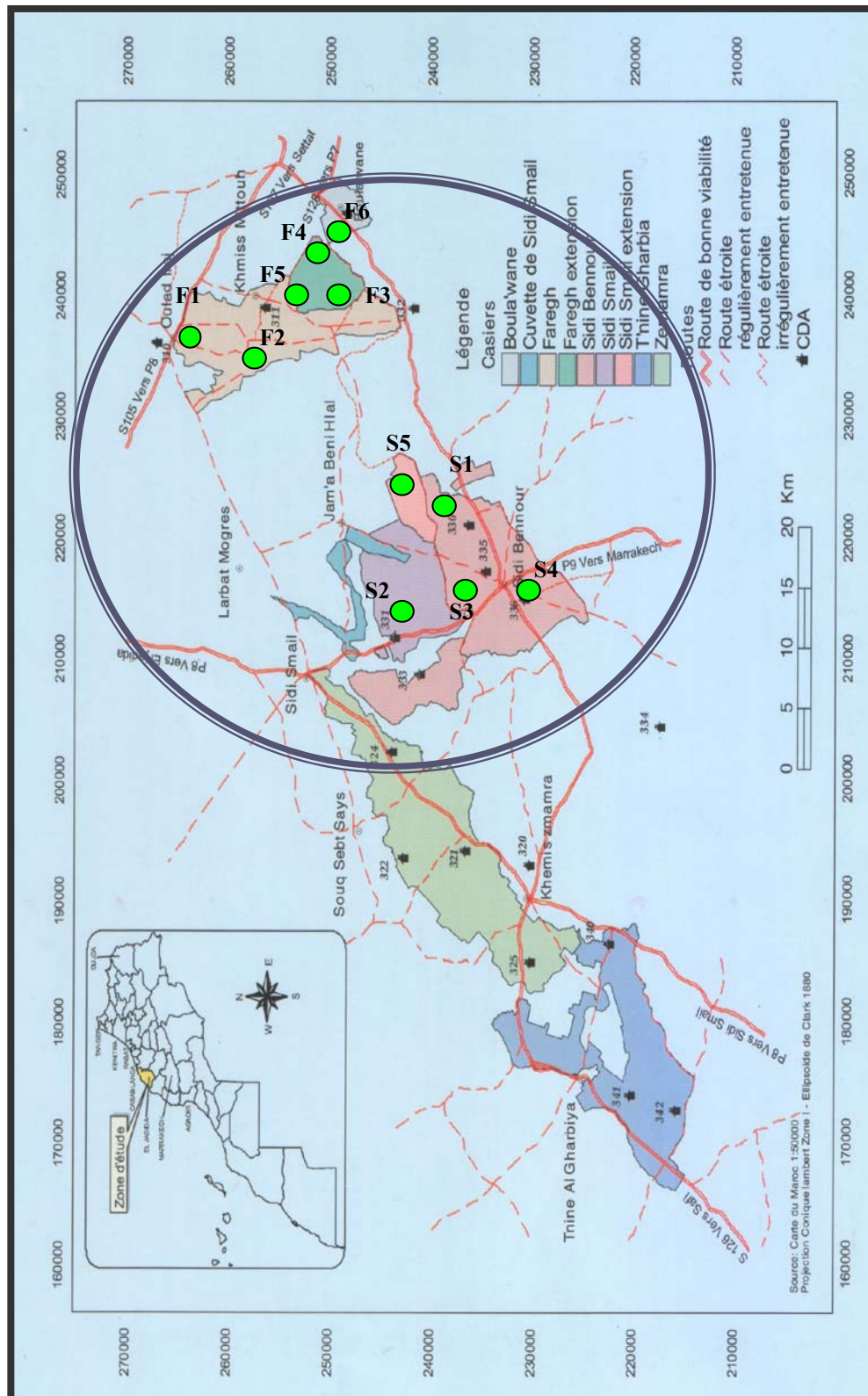


Figure 19: Localisation des échantillons

CHAPITRE 5

Etude des Pompages

Cas des Arrondissements de

Faregh et Sidi Bennour

L'étude bibliographique nous a permis de reconnaître les potentialités de la région de point de vue hydrologique, hydrogéologique, etc. Dans ce qui suit, nous allons nous rapprocher des spécificités de l'exploitation de la nappe à l'échelle d'une exploitation agricole. L'évaluation de ce secteur se fera à partir des indicateurs qualitatifs observés et des indicateurs quantitatifs mesurés ou calculés.

I. ETUDE INTRODUCTIVE

1. le recours au pompage

Le recours au pompage trouve sa justification dans les avantages offerts par les eaux souterraines (disponibilité, autonomie) et la qualité de service de l'eau de surface (irrégularité et insuffisance de l'offre, complexité des procédures...). En fait, la planification de l'irrigation nécessite d'avoir le contrôle sur les ressources en eau, ce qui n'est possible qu'avec un ouvrage individuel à accès direct au sein de l'exploitation agricole qui est le cas le plus fréquent à Doukkala en comparaison avec la variabilité des modalités de contrôle à Tadla (Zemzam, 2003) ; Cet accès direct permet à l'agriculteur d'intervenir à tout moment, d'améliorer le revenu annuel et de garantir sa stabilité par la diminution de son exposition au risques des aléas climatiques, puisque la nappe est y moins sujette, et les servitudes du réseau de surface. La même idée est illustrée dans les études de Maas et Anderson (1978) et Omara (1988) qui ont montré que le comportement pragmatique des agriculteurs à la recherche d'un contrôle sur les ressources explique l'accroissement et le développement des investissements dans le pompage privé (Blili, 1994).

2. Statut foncier des exploitations enquêtées

Toutes les exploitations visitées sont de type melk. A l'exception de deux cas en indivision, correspondant aux exploitations les plus grandes à savoir S5 de 31.79 ha et F5

de 26.43 ha. Cette observation confirme encore le problème du micro parcellaire d'une part, et met en question d'autre part l'évolution future de l'exploitation.

3. Identification des exploitants

- La structure d'âge des agriculteurs se caractérise par la présence de deux classes:
 - inférieur à 50 ans : S1, S2, S3.
 - supérieur à 60 ans : S4, F1, F2, F3, F4, F.bour.

La première classe inclut aussi les représentants des héritiers de S5 et F5.

- Niveau scolaire et culturel :
 - analphabète : S3, F4, Fbour.
 - enseignement traditionnel : F1, F3.
 - niveau primaire : S1, S2, F2.
 - collège : S4, S5.

- Main d'œuvre familiale :

Elle constitue une ressource très importante pour le fonctionnement de l'exploitation. Le tableau 21 donne la main d'œuvre disponible exprimée en unité de travail humain (UTH) en plus de l'exploitant, l'âge, et la SAU dominée :

Tableau 21: SAU et UTH pour chaque exploitation

| | Sidi Bennour | | | | | Faregh | | | | | |
|---------------|--------------|------|------|------|-------|--------|------|------|------|-------|------|
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | Fb |
| SAU | 1 | 5.8 | 8.5 | 11.4 | 31.79 | 3 | 4.15 | 6.3 | 18 | 26.43 | 13 |
| UTH | 2 | 3 | 2.6 | 3 | 4 | 2 | 1 | 6 | 4 | 3 | 7 |
| tot | | | | | | | | | | | |
| UTH/ha | 2 | 0.52 | 0.31 | 0.26 | 0.13 | 0.67 | 0.24 | 0.95 | 0.22 | 0.11 | 0.54 |

A l'exception de l'émigré F2, tous les agriculteurs bénéficient de l'aide de leurs fils n'ayant pas terminé leurs études.

La prise de décision par les jeunes n'est pas toujours possible, elle se limite au chef de l'exploitation. La main d'œuvre familiale qui existe est passive à très passive.

À signaler qu'aucun des enquêtés ou un membre de leur famille n'a suivi une formation en agriculture ou en mécanique.

- Revenus extérieurs :
 - Cinq agriculteurs s'appuient uniquement sur les revenus agricoles, à savoir S1, S3, F4, F5, Fb sans aucune autre source interne de financement.
 - Les six autres agriculteurs ont des revenus extérieurs qui les aident pour le financement de leurs projets futurs :
 - deux agriculteurs élus locaux: S2 et F1
 - deux agriculteurs commerçants :
 - S5 : café + 18 points de commerce.
 - F3 : achat, vente et transport des produits agricoles.
 - un agriculteur retraité S4 bénéficie de l'aide de ses fils (émigration, fonction).
 - un agriculteur émigré (boucher) : F2.

Les cinq premiers dépensent leurs revenus pour répondre uniquement aux besoins domestiques vues plusieurs contraintes : héritage, familles multiples... dans ce cas, ces revenus contribuent indirectement au financement des activités agricoles puisqu'ils diminuent les charges de consommation.

Seul l'agriculteur F2 qui a des projets clairs et bien étudiés (exploitation intégrée spécialisée en élevage bovin boucher), et considère les revenus de l'émigration comme une source de financement.

4. Agriculture

4.1. les assolements

Les superficies cultivées sont exprimées en % afin de mettre toutes les exploitations sur la même échelle d'une part, et pour comprendre les priorités des agriculteurs d'autre part. Les cultures d'hivers choisies sont les plus dominants et reflètent les orientations de la région.

Tableau 22: Les assolements de la campagne 2002/2003 en pourcentage.

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | Fb | |
|----------------------------------|----------------|------------|-------------|-------------|--------------|-----------|-------------|------------|-----------|--------------|-----------|----|
| 02/03 Hiver | Betterave. | 40 | 41 | 20 | 00 | 22 | 33 | 00 | 00 | 22 | 24 | 15 |
| | Blé dur | 00 | 14 | 40 | 42 | 00 | 27 | 76 | 00 | 22 | 27 | 00 |
| | Blé tendre | 00 | 00 | 10 | 00 | 37 | 00 | 00 | 100 | 56 | 00 | 77 |
| | Luzerne | 40 | 21 | 10 | 58 | 25 | 20 | 24 | 00 | 00 | 25 | 00 |
| | Bersim | 20 | 24 | 20 | 00 | 16 | 20 | 00 | 00 | 00 | 17 | 00 |
| | Pomme de terre | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 08 | 07 |
| Superficie cultivée en ha | 1 | 5,8 | 8,5 | 11,4 | 31,79 | 3 | 4,15 | 6,3 | 18 | 26,43 | 13 | |
| Été 2003 | Luzerne | 00 | 21 | 10 | 58 | 25 | 00 | 24 | 00 | 00 | 25 | 00 |
| | Pomme de terre | 00 | 0 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 100 | 33 | 40 | 38 |
| | Mais fourrage | 30 | 09 | 40 | 00 | 09 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| | Mais ensilage | 00 | 09 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| | courgette | 15 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| | Tomates | 20 | 07 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| Superficie cultivée en ha | 0,65 | 2,6 | 4,25 | 6,6 | 11 | 00 | 1 | 6,3 | 6 | 17,18 | 5 | |
| TIC en % | 165 | 144,84 | 150 | 158 | 13,6 | 100 | 124 | 200 | 133 | 165 | 138 | |
| TIC moyen par casier | | | 145,2 | | | | | 144,4 | | | 138 | |
| TIC échantillon | | | | | 144,8 | | | | | | | |

Source : Enquête

La semi libéralisation de l'assolement et l'accès à l'eau souterraine n'ont pas convaincus les agriculteurs à diversifier leurs cultures. En effet, les cultures d'hivers pratiquées (blés et fourrages) sont toutes prioritaires à l'exception de la betterave sucrière qui est cultivé à raison de son écoulement facilité. Les cultures d'été sont limitées par la qualité des eaux souterraines.

4.2. Le taux d'intensification cultural

Le tableau 23 récapitule la répartition de taux d'intensification cultural par catégorie de superficie.

Tableau 23 : Répartition de taux d'intensification cultural par catégorie de superficies

| Catégorie | 0-3 | 3-6 | 6-10 | 10-21 | >21 |
|-----------|-------|-----|------|-------|-----|
| TIC % | 132.5 | 124 | 185 | 145.5 | 128 |

La troisième catégorie intensifie mieux leurs pratiques culturales. En général, le pompage a permis une augmentation de TIC de l'ordre de 11% par rapport à la moyenne de la région (129% selon la monographie de l'ORMVAD 2003). En zone bour, cette amélioration s'arrête à 7%).

Le taux d'intensification cultural de la deuxième catégorie est sensiblement inférieur à la moyenne. Cela revient à la qualité médiocre des eaux souterraines contraignant leur exploitation pendant l'été.

4.3. Typologie des exploitations

Toutes les exploitations sont de type mixte (agriculture et élevage). Si on prend en considération les superficies totales de l'exploitation et les assolements de la campagne 2002/2003, on peut déduire trois catégories d'exploitations suivant leurs orientations.

Tableau 24: Typologie des exploitations

| Orientations | Cultures céréalières | Cultures industrielles et élevage | Elevage |
|-------------------------|--|---|------------------------------------|
| caractéristiques | dominance des blés par rapport aux fourrages et betteraves | La même importance est donnée aux cultures fourragères que les betteraves | Dominance des cultures fourragères |
| Agriculteurs | F2, F3, F4, S3 | S2, F1 | S5, S1, F5, S4 |

Les discussions avec les agriculteurs ont montrés que les betteraves, les fourrages et les blés sont les principales cultures pratiquées depuis longtemps avec l'introduction de temps en temps des cultures maraîchères sur des superficies plus ou moins limitées. D'une façon générale, on peut parler d'une stratégie unique consistant à la culture des mêmes spéculations malgré le recours au pompage, en d'autre terme, généralement le pompage n'est qu'un moyen pour rétablir leurs pratiques culturales avant la sécheresse,

S'ajoutent aux deux critères de priorité (blés et fourrages) et d'engagement sous contrat (betteraves), la maîtrise des pratiques d'une culture (maraîchages) qui incite les agriculteurs à se spécialiser (pomme de terre chez F3). Seuls les agriculteurs S1 et S2 essaient de temps en temps de diversifier et d'expérimenter des nouvelles cultures sans

revenir au centre de développement agricole, le reste n'avait l'intention de changer leur « régime » qu'en présence des cultures sous contrat.

La betterave est pratiquée parce qu'elle est sous contrat et parce que le droit d'accès à l'eau de surface est conditionné par sa présence en plus des fourrages. La culture de la betterave n'est pas très prisée puisqu'elle est associée à des problèmes organisationnels et économiques. En effet, nos agriculteurs préfèrent de le substituer par d'autres cultures sous contrat ou de l'exclure de plan cultural des cultures prioritaires pour l'irrigation.

En résumé, on est devant deux catégories d'agriculteurs. La première a tendance à se spécialiser au profit de la mise en œuvre du pompage dans :

- les cultures maraîchères, c'est le cas de S1 et S2 ;
- l'élevage pour l'émigré F2.
- Les grandes cultures, et c'est le cas de S5, qui malgré ses essais d'améliorer les pratiques culturales sans affecter le choix des cultures, reste limité par le statut de l'exploitation (héritage).

Les autres agriculteurs gardent presque le même assolement, on peut donc parler des stratégies conservatives plutôt qu'évolutives.

4.4. Evolution des rendements

Les agriculteurs distinguent trois périodes successives :

- période avant les sécheresses caractérisée par la disponibilité de l'eau et des rendements acceptables ;
- période pendant les sécheresses caractérisée par la chute des rendements ;
- période de mise en œuvre du pompage qui a permis de combler le déficit en eau et une certaine amélioration des techniques culturales, ces deux éléments
- ont permis d'améliorer nettement les rendements sans atteindre cependant les niveaux enregistrés pendant la première période.

5. Schémas d'irrigation

Trois modes d'irrigation (gravitaire, aspersion, localisée) sont présentes chez nos agriculteurs.

Tableau 25: Les modes d'irrigation par agriculteur et par source d'eau

| Code | Eau de surface | Eau de nappe |
|-----------|------------------|-----------------------------------|
| S1 | Aspersion | gravitaire |
| S2 | Gravitaire | gravitaire |
| S3 | Gravitaire | gravitaire |
| S4 | Gravitaire | gravitaire |
| S5 | Gravitaire | gravitaire |
| F1 | Gravitaire | gravitaire |
| F2 | Gravitaire | gravitaire |
| F3 | Aspersion | g,à,g (pdt) asp (BD) |
| F4 | Aspersion | aspersion |
| F5 | Aspersion | aspersion |
| F6 | //////////////// | gravitaire (blés) asp (autres) |

D'après les observations des parcelles irriguées, on note les faibles efficacités des techniques d'irrigation évaluées qualitativement :

- des canaux d'arrosages mal entretenus et parfois la présence d'un canal intermédiaire (F1).
- Aucune parcelle n'est nivelée.
- Des écartements en aspersion non respectés (12x15 ; 12x6 ; 12x12 au lieu de 18x18).

La faible pression à la sortie du groupe motopompe a amené l'agriculteur S1 à changer la technique d'aspersion en gravitaire d'où la présence des deux installations dans une même parcelle. L'agriculteur F3 ne pratique l'irrigation localisée que pour les pommes de terre. Tandis que l'agriculteur F6 applique les deux techniques (aspersion et gravitaire) selon la culture.

6. L'élevage

La présence de l'élevage dans toutes les exploitations explique l'orientation des agriculteurs vers les cultures fourragères. En effet, l'élevage bovin laitier est commun à toutes les exploitations ainsi que l'élevage ovin surtout l'engraissement des béliers. Ainsi on remarque l'importance accordée à l'élevage ; C'est en quelque sorte la trésorerie de l'exploitation.

7. Densité des stations de pompage privées

Il apparaît que l'exploitation de la nappe dans la région est récente. Le premier dispositif creusé parmi les 11 enquêtés date de 1995 :

| Date | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| nombre | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 |

Cela s'explique par le stress hydrique qu'a connu cette période et la libéralisation exceptionnelle de creusement pendant cette période.

A partir de cet échantillon, une répartition inégale des dispositifs de puisage d'eau est facilement observable dans chacun des deux sites d'études. En effet, la densité évaluée dans un rayon de 600m varie entre 1 à 6 puits ou forages dans Sidi Bennour et de 4 à 16 dans le casier Faregh. Ces résultats sont évidents puisque ce dernier est le plus développé en matière d'exploitation de la nappe avec un effectif d'environ 640 puits ou forages, alors qu'il ne dépasse pas 256 à Sidi Bennour (**Annexe 3**).

Le tableau 26 présente les dates de mise en eau des deux secteurs et la densité des dispositifs de captage.

Tableau 26 : La date de mise en eau des casiers et la densité des ouvrages

| Casier | CGR | Date de mise en eau | Densité |
|---------------------|-------|---------------------|---------|
| Sidi Bennour | 330 | 1963 à 1968 | 4 |
| | 331 | 1963 à 1968 | 5 |
| | 335 | 1975 | 6 |
| | 337 | 1963 à 1968 | 3 |
| | 338 | 1963 à 1968 | 1 |
| Faregh | 310 | 1958 | 7 |
| | 311 | 1958 | 16 |
| | 312 E | 1986 | 6 |
| | 312 E | 1986 | 5 |
| | 312 E | 1986 | 6 |
| | 312 B | 1970 | 4 |

Le Faregh est le premier casier aménagé, cependant, son degré d'exploitation des eaux souterraines est le plus élevé. Cette contradiction peut être expliquée par l'influence des zones bour équipés d'une part, et la fragilité des systèmes agricoles dépendants de l'irrigation devant l'inefficience de l'offre et l'expérience de l'irrigation d'autre part. Ce point mérite d'être détaillé par une étude orientée et plus spécifique.

8. Types des dispositifs de captage d'eau

Tableau 27: Les types de dispositifs et leurs dates de creusement

| Casier | Code agriculteur | Date de creusement | Type de dispositif |
|---------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Sidi Bennour | S1 | 2001 | P |
| | S2 | 2000 | P-F |
| | S3 | 1995 | P |
| | S4 | 1996 | P-F |
| | S5 | 1997 (2002)* | P-F |
| Faregh | F1 | 2001 | P-F |
| | F2 | 2003 | P-F |
| | F3 | 2002 | F |
| | F4 | 2001 | F |
| | F5 | 1995 | P |
| | F.bour | 1998 | P-F |

P : puits simple

F : forage.

P-F : forme complexe (puits et forage)

(*): Puits simple jusqu'à 2002 où le niveau piézométrique a tari ce qui a amené l'agriculteur à l'approfondir en le transformant en forage.

On ne peut pas déduire une relation évidente entre le type de dispositif adopté et la date de creusement. En effet, 3 dispositifs parmi les 11 enquêtés sont des puits, les deux premiers sont datés de 1995, et on peut dire qu'à ce moment que c'est le seul type connu à l'époque tandis que leur entretien facile a été le critère du choix du 3^{ème} cas. Six agriculteurs ont choisis le dispositif puits approfondi en forage, (puits de diamètre d'environ 1.2m à 1.5m complété par un forage de diamètre ne dépassant pas 0.40m), ils peuvent être creusés successivement (5 cas parmi 6) ou séparément suite au tarissement de la nappe.

Pourquoi un tel choix ?

Une réponse presque unique et répétitive, le recours à la méthode traditionnelle (puits simple) est évident, et puisque le terrain est très fragile surtout s'il est engorgé d'eau (voir la géologie de la zone), il était très risqué aux puisatiers d'accomplir leur mission, à ce moment, plusieurs entreprises ont été installées sur place en assurant ainsi la continuité des travaux. En résumé, ce type est une conséquence des contraintes techniques.

La troisième catégorie correspondant aux forages représentés par deux ouvrages, la rapidité d'exécution et le coût moindre ont été le critère de choix. En effet, le coût

moyen unitaire des deux forages ne dépasse pas 600 DH/m en comparaison avec les puits (2000 DH/m) et les formes complexes (1440 DH/m en moyenne).

La méthode utilisée dans le forage dans la totalité des cas est celle qui s'appuie sur le battage (percussion)

En conclusion :

- Le choix du type du dispositif et la technique de forage revient essentiellement aux offres des entreprises, des expériences des autres agriculteurs et le niveau de technicité de l'agriculteur.
- Aucune étude n'a été faite avant l'implantation de l'ouvrage. Le choix du site est basé essentiellement sur l'intuition de l'eau de certaines personnes ou les estimations de l'agriculteur lui-même. Quelques agriculteurs rencontrés en dehors de l'échantillon ont essayé de forer plusieurs fois, et à chaque tentative un train de tiges métalliques reste au sol (jusqu'à 5 fois dans une même parcelle). Chez l'agriculteur F4, 19m de profondeur du forage s'est écroulé. Ce qui témoigne du manque d'expérience et de la qualification des entreprises de forage.

9. Les demandes d'autorisation (Annexe 4)

Quatre agriculteurs de Sidi Bennour ont demandé l'autorisation de creusement et d'approvisionnement, et seul l'un d'entre eux n'a attendu l'obtention d'un avis favorable avant de commencer le creusement. Notons que ces autorisations ne sont demandées que pour avoir des subventions. Le développement des pompages se fait en réalité de manière anarchique et clandestine.

La figure 20 montre l'évolution des autorisations de 1995 à 2003.

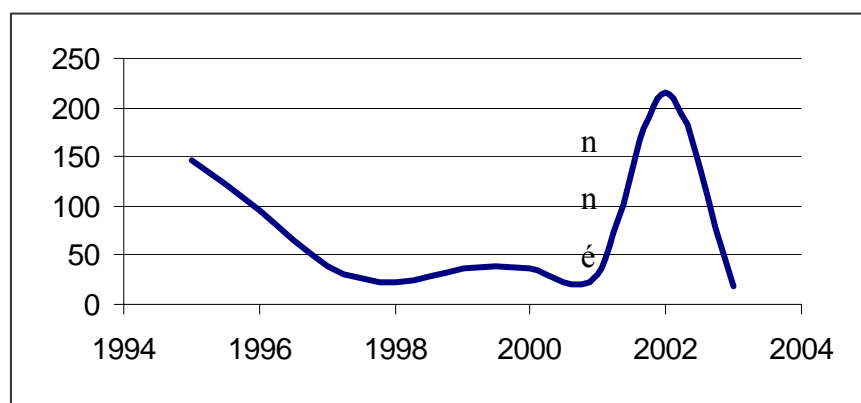


Figure 20 : Evolution des autorisations d'après ORMVAD/SRU

Quatre périodes peuvent être distinguées :

- de 1995 à 1998 : diminution du flux de 146 à 22 autorisations, expliquée par l'encouragement de creusement sans autorisation suite aux sécheresses successives ;
- De 1998 à 2001 : période plus au moins stable à un seuil minimal ne dépassant pas 40 autorisations ;
- De 2001 à 2002 : l'accroissement et le pic de 215 autorisations enregistrés en 2002 peuvent être justifiés par les subventions et le contrôle imposé par l'agence du bassin de l'Oum Er R'Bia ;
- Après 2002, un changement dans la politique de subvention ce qui ne motivait plus les agriculteurs à demander des autorisations.

Le creusement des puits ou forages sans demande d'autorisation s'avère normal pour plusieurs raisons exprimées par les agriculteurs eux-mêmes :

- la complexité des procédures.
- les contraintes imposées par l'agence du bassin (profondeur, débit...)
- la méfiance des agriculteurs vis-à-vis de l'administration.

II. Caractéristiques des stations de pompage privé

1. Equipement et profondeur creusée

La réalisation d'un abri n'a lieu que pour éviter le vol (3 cas). La protection de l'installation contre la corrosion se fait par du plastique.

Si l'eau souterraine est utilisée pour des usages domestiques, on constate la présence de réservoirs (3 cas). Une seule installation (S1) regroupe à la fois un abri et un château.

A signaler que presque la totalité des agriculteurs répondent aux demandes d'eau des gens du douar.

2. Caractéristiques des motopompes

2.1. Les moteurs (Annexe 5)

Deux catégories de moteurs sont rencontrées, des moteurs thermiques et des moteurs électriques.

2.1.1. Les moteurs thermiques

La catégorie des moteurs thermiques se caractérise par la présence de deux sous-ensembles :

- les moteurs diesel à gasoil (LISTER, DEUTZ, ASSAD, FORD), pour lesquels les rendements moyens sont de l'ordre de 30 à 45% (littérature). Le carburant consommé est le moins cher ;
- les moteurs à essence (de marque FIAT) ont généralement un rendement plus faible de l'ordre de 25% et consomment un carburant plus cher. Ce type n'est présent que chez un agriculteur (F4) qui a substitué l'essence par le butane à raison du prix réduit du butane (3,23 DH/kg)

Les moteurs thermiques présentent l'avantage de fournir une gamme très large de vitesse, cependant ils demandent des travaux d'entretien et de réparation réguliers et fréquents.

L'achat de moteurs d'occasion est plus prononcé dans le Faregh qu'à Sidi Bennour. Il est à remarquer que cela est plus observé chez les grands agriculteurs.

2.1.2. Les moteurs électriques

Les moteurs électriques (de marque GRUNDFOS) sont de type asynchrone triphasé à 380V. Ces moteurs se caractérisent en général par des rendements très élevés de l'ordre de 90 à 95%, ils demandent moins d'entretien et de réparation, cependant ils ne fournissent qu'une seule vitesse de rotation. Un autre problème lié à ce type de moteur est que la facture est payée en fin de chaque mois et les montants peuvent être élevés (ce qui n'est pas le cas des autres types de moteurs où le prix de l'énergie est payé à l'avance sous forme de petit montant).

2.2. Les pompes (Annexe 6)

Toutes les pompes sont de type centrifuge multicellulaire à axe vertical et immergées, le couplage des roues/turbines est fait en série, ce type de montage ne permet pas l'augmentation du débit, cependant, la hauteur manométrique est la somme des hauteurs produites par chaque composante.

Le débit refoulé ne dépend pas uniquement de la puissance appliquée, mais aussi des caractéristiques de la pompe traduites par le nombre de pouces, le nombre des roues/turbines et leur mode de couplage ainsi que par la profondeur d'eau. En effet, les pompes présentes se caractérisent par des diamètres plus au moins réduites : cinq pompes de 3'', cinq pompes de 3.5'' et une pompe de 5.5''. Le nombre des turbines/roues varie entre 4 et 9.

Les pompes des installations de pompage bien conçues doivent avoir des caractéristiques (débit, nombre de pouces et de roues/turbines) conformes au débit et à la pression appelés qui varient en fonction des besoins en eau des cultures, des superficies à irriguer et les techniques d'irrigation. Cette relation n'apparaît pas dans les installations visitées car on n'a pu établir aucun lien entre le nombre de pouces, les assolements et les superficies.

Les constats précédents du recours récent à l'exploitation de la nappe, de manque d'appui technique et d'études préliminaires, de l'absence des entreprises privées spécialisées, ainsi que l'absence de maîtrise du pompage du point de vue technique nous conduit à constater un déficit énorme. Ceci affecte dans la totalité des cas les rendements des cultures, la rentabilité..., et elle peut être évaluée par plusieurs autres indicateurs

qualitatifs (Etat du matériel, mode d'achat,...) et quantitatifs (rendement global de l'installation, coût de pompage, fréquences d'entretien...)

3. Mode d'achat de groupe motopompe

Les agriculteurs peuvent acheter leur matériel en un seul bloc (moteur et pompe) ou séparément (moteur chez un fournisseur et pompe chez un autre fournisseur).

Dans le premier cas. Se trouvent les agriculteurs S1, S3, S4 et F2, ces deux derniers ont choisis des groupes immergés achetés à Casablanca (S4, retraité) ou importés France (F2, émigré).

Le deuxième cas est plus donc plus général,

A signaler qu'aucune installation n'a fait l'objet d'une étude préalable. Parfois, l'achat du groupe précède le creusement du puit/forage; et que l'investissement s'est fait en autonomie même s'il ne sont pas endettés ou n'ont pas des mauvaises expériences dans ce sens.

4. Diagnostic du fonctionnement des stations de pompage

Le HMT est calculé dans les conditions les plus défavorisées et en tenant compte des pertes de charge provoquées par les différents organes de l'installation suivant la formule de Coolbroock.

Tableau 28: Calcul des rendements globaux des installations de pompage.

| AG | HMT(m) | Q (m ³ /s) | P _F (kW) | C | P _{ca} | P _m (kW) | R _g |
|-----------------|--------|-----------------------|---------------------|------|-----------------|---------------------|----------------|
| S1 | ----- | 0,01 | ----- | 3,00 | 10,44 | 31,32 | ----- |
| S2 _g | 37,95 | 0,02 | 5,73 | 3,00 | 10,44 | 31,32 | 0,18 |
| S3 _g | 33,15 | 0,01 | 2,68 | 3,00 | 10,44 | 31,32 | 0,09 |
| S4 _g | 40,14 | 0,01 | 4,73 | //// | //// | 10,00 | 0,47 |
| S5 _g | 36,43 | 0,02 | 6,85 | 4,00 | 10,44 | 41,76 | 0,16 |
| F1 _g | 32,30 | 0,01 | 2,47 | 1,50 | 10,44 | 15,66 | 0,16 |
| F2 _g | 23,70 | 0,02 | 3,88 | //// | //// | 10,00 | 0,39 |
| F3 _L | 58,67 | 0,01 | 6,60 | 2,50 | 10,44 | 26,10 | 0,25 |
| F3 _a | 51,01 | 0,01 | 5,74 | 2,50 | 10,44 | 26,10 | 0,22 |
| F4 _g | 54,13 | 0,01 | 5,84 | 4,33 | 49,59 | 214,92 | 0,03 |
| F4 _a | 149,14 | 0,01 | 16,09 | 4,33 | 49,59 | 214,92 | 0,04 |
| F5 _a | 78,94 | 0,00 | 3,01 | 5,00 | 10,44 | 52,20 | 0,06 |
| F6 _a | 124,13 | 0,01 | 9,74 | 5,00 | 10,44 | 52,20 | 0,04 |
| F6 _g | 58,73 | 0,01 | 4,61 | 5,00 | 10,44 | 52,20 | 0,09 |

g : gravitaire

l : localisée

a : aspersion

Les remarques suivantes ressortent du tableau 23:

- Le rendement global est généralement inférieur au rendement moyen d'une petite station, c'est le cas de 9 installations parmi 10 ;
- Le rapport R_g/R_n , avec R_n le rendement normal, mesure l'efficacité du matériel, plus il s'éloigne de l'unité plus le rendement du matériel concerné est anormal. Ce calcul a distingué deux groupes, le premier inclut les stations F4, S3 et F5 ayant des rapports inférieurs à 0,45, et le second concerne le reste des stations qui ont des rapports au-delà de 0,70. le premier groupe se trouve dans une situation de fonctionnement anormal par rapport au second ;
- les installations alimentées à partir du réseau électrique ont les meilleurs rendements : S4 et F2. Le reste des exploitations peuvent être classées suivant la technique d'irrigation adoptée. La première catégorie englobe les parcelles F4_a, F3_b, F3_a, et F6_a irriguées en goutte à goutte et en aspersion, suivie par les parcelles irriguées en gravitaire : S2_g, S5_g, F1_g, F4_g, F6_g, et S3_g ;
- Les deux casiers représentent des rendements proches : Faregh (0.21), Sidi Bennour (0.23) ;
- Le type d'alimentation a une influence aussi sur les rendements, le réseau électrique élève cette valeur à 0.43 alors que le rendement des installations alimentées par le gasoil n'est que 0.17 l'installation qui irrigue les deux parcelles F4a et F4g à partir du butane a un rendement moyen de 0.05 ;
- Le rendement des installations les plus âgées est le plus faible.

Le mauvais dimensionnement du matériel de pompage noté chez les installations visitées est l'origine des faibles rendements. Le mauvais état du matériel, les entretiens rares et les réparations- bricolages qui ne s'exécutent que lorsque les pannes sont sérieuses contribuent de façon importante à réduire les rendements et augmenter le coût de pompage.

III. CARACTERISATION DE LA NAPPE

La caractérisation de l'exploitation de la nappe ne se limite pas au diagnostic du matériel qui sert à l'exploitation. En outre, l'étude documentaire du deuxième chapitre nous a identifié la ressource à exploiter à grande échelle.

A ce niveau, on cherche à diagnostiquer l'aquifère aux points de prélèvements et d'évaluer la productivité des ouvrages.

1. Résultats

Les résultats des mesures se présentent comme suit :

Tableau 29 : Résultats des mesures

| AG | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Niveau statique (m) | 23,70 | 26,70 | 23,94 | 26,50 | 23,80 | 10,90 | 16,60 | 36,10 | 41,25 | 31,89 | 35,30 |
| Rabattement (m) | ND | 2,70 | 2,70 | 3,40 | 10,90 | 11,42 | 2,90 | 1,08 | 6,07 | 3,79 | 9,75 |
| Niveau rabattu (m) | ND | 29,40 | 26,64 | 29,90 | 34,70 | 22,32 | 19,50 | 37,18 | 47,32 | 35,68 | 45,05 |
| Débit (l/s) | 9,00 | 15,38 | 8,24 | 12,00 | 19,18 | 7,78 | 16,67 | 11,46 | 11,00 | 3,89 | 8,00 |
| Conductivité électrique (ms/cm) | 1,84 | 5,25 | 4,85 | 3,95 | 3,75 | 2,90 | 3,28 | 4,45 | 3,14 | 4,50 | 3,99 |

Les résultats des essais de pompage sont schématisés à l'annexe 7

2. Interprétation des résultats

2.1. La bathymétrie et la salinité

- La profondeur moyenne statique de la nappe du casier Sidi Bennour est de 25m, alors qu'elle atteint 28m à Faregh ;
- La conductivité électrique moyenne du casier Sidi Bennour est de 3.93 ms/cm avec un coefficient de variation de 0.34, alors qu'elle plus homogène à Faregh avec un coefficient de variation de l'ordre de 0,19 par rapport à la moyenne (3,71ms/cm).

Les eaux du puits S1 sont fortement salées et appartiennent à la classe C3, dans ce cas, le drainage et l'adoption de cultures résistante aux sels sont nécessaires.

Alors que les eaux des autres ouvrages sont très fortement salées (classe C4), leur utilisation est conditionnée par la présence des sols perméables et bien drainés. Les plantes doivent être très résistantes aux sels.

2.2. Le débit spécifique

C'est le rapport entre le débit et le rabattement de la nappe, ce paramètre renseigne sur la productivité de la nappe.

Tableau 30 : Les valeurs des débits spécifiques

| AG | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------------|-------|------|------|
| Rabattement (m) | ND | 2,70 | 2,70 | 3,40 | 10,90 | 11,42 | 2,90 | 1,08 | 6,07 | 3,79 | 9,75 |
| Débit (l/s) | 9,00 | 15,38 | 8,24 | 12,00 | 19,18 | 7,78 | 16,67 | 11,46 | 11,00 | 3,89 | 8,00 |
| Débit spécifique (m²/s) | -- | 20,51 | 10,97 | 12,71 | 6,33 | 2,45 | 17,43 | 38,2 | 6,52 | 3,69 | 2,95 |

Le forage F3 est le plus productif, et offrant ainsi des possibilités d'évolution de l'exploitation en sécurité. Par contre, Le puits/forage F1 est le moins productif, et son exploitation exige une vision plus prudente.

L'hétérogénéité de la répartition des débits spécifiques est une conséquence de la nature inter stratifiée de l'aquifère.

2.3. Quelques conclusions

- Le calcul de la marge de profondeur entre la profondeur rabattue et la profondeur totale du puits peut nous renseigner sur « la marge de sécurité », C'est-à-dire la lame d'eau dans le puits.

Tableau 31 : La lame d'eau dans les ouvrages

| AG | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 |
|----------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Profondeur Totale | 37 | 37 | 35 | 43 | 55 | 47 | 46 | 41 | 53 | 42 | 52 |
| Profondeur Rabattue | ND | 29,40 | 26,64 | 29,90 | 34,70 | 22,32 | 19,50 | 37,18 | 47,32 | 35,68 | 45,05 |
| Ecart | ND | 7,60 | 8,36 | 13,10 | 20,30 | 24,68 | 26,50 | 3,82 | 5,68 | 6,32 | 6,95 |

Le mauvais dimensionnement des dispositifs revient essentiellement à l'absence des études préliminaires.

- Le calcul de la marge de profondeur entre le point le plus bas de la crépine et le niveau rabattu peut nous offrir quelques indications sur le degré de maîtrise des agriculteurs.

Tableau 32 : L'écart entre la profondeur de la crépine et le niveau rabattu

| AG | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 |
|---------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Profondeur de la crépine | ND | 31,00 | 31,00 | 37,80 | 41,00 | 23,00 | 22,00 | 38,50 | 48,50 | 36,00 | 46,00 |
| Niveau rabattu | ND | 29,40 | 26,64 | 29,90 | 34,70 | 22,32 | 19,50 | 37,18 | 47,32 | 35,68 | 45,05 |
| Ecart | ND | 1,60 | 4,36 | 7,90 | 6,30 | 0,68 | 2,50 | 1,32 | 1,18 | 0,32 | 0,95 |

Les agriculteurs ayants un écart réduit se trouvent dans une situation plus au moins critique puisqu'une simple variation de la piézométrie peut coûter trop cher (arrêt de groupe motopompe électrique, sous fonctionnement de pompe verticale, cavitation, désamorçage...). Il leur est recommandé de réviser la conception de leur installation en plaçant la pompe ou le groupe à une distance de $(NPSH / 0,9)$ au dessous du niveau rabattu, avec NPSH la charge nette absolue à l'aspiration.

Tableau 33 : Le rabattement unitaire

| AG | S2 | S3 | S4 | S5 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 |
|-------------------------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Durée de pompage En min | 46 | 102 | 170 | 100 | 37 | 32 | 26 | 23 | 65 | 63 |
| Rabattement m | 2,70 | 2,70 | 3,40 | 10,90 | 11,42 | 2,90 | 1,08 | 6,07 | 3,79 | 9,75 |
| Rabattement Unitaire (m/min) | 0,06 | 0,03 | 0,02 | 0,11 | 0,31 | 0,09 | 0,04 | 0,26 | 0,06 | 0,16 |

Les informations disponibles à propos de la nappe des Doukkala confirment que la nappe à Faregh est plus homogène que celle de Sidi Bennour. En effet, dans le casier de Faregh, le régime permanent est rapidement atteint. Les durées de pompage à Sidi Bennour varient de 46 min à 170 min.

Un rabattement unitaire élevé signifie un mouvement rapide du niveau d'eau, dans cette situation, l'exploitation de la nappe nécessite une attention très particulière.

2.4. La transmissivité et la perméabilité

Tableau 34 : Les valeurs de transmissivité et de perméabilité

| N° | Transmissivité (m ² /s) | Transmissivité (m ² /j) | Perméabilité (m/s) | Perméabilité (m/j) |
|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| S1 | - | - | - | - |
| S2 | 1,6 .10 ⁻⁰⁴ | 139,68 | 1. 10 ⁻⁰⁴ | 9,31 |
| S3 | 3. 10 ⁻⁰⁴ | 28,90 | 2. 10 ⁻⁰⁵ | 1,93 |
| S4 | 11. 10 ⁻⁰⁴ | 96,46 | 7. 10 ⁻⁰⁵ | 6,43 |
| S5 | 2. 10 ⁻⁰⁵ | 13,23 | 1. 10 ⁻⁰⁵ | 0,89 |
| moy SB | 8. 10⁻⁰⁴ | 69,57 | 5. 10⁻⁰⁵ | 4,64 |
| F1 | 1. 10 ⁻⁰⁴ | 12,33 | 9. 10 ⁻⁰⁶ | 0,82 |
| F2 | 2. 10 ⁻⁰³ | 169,83 | 1. 10 ⁻⁰⁴ | 11,32 |
| F3 | 1. 10 ⁻⁰³ | 84,08 | 6. 10 ⁻⁰⁵ | 5,60 |
| F4 | 8. 10 ⁻⁰⁵ | 6,94 | 5. 10 ⁻⁰⁶ | 0,46 |
| F5 | 2.10 ⁻⁰⁴ | 21,03 | 2. 10 ⁻⁰⁵ | 1,40 |
| F6 | 2.10 ⁻⁰⁴ | 19,34 | 1. 10 ⁻⁰⁵ | 1,29 |
| moy F | 6. 10⁻⁰⁴ | 52,26 | 4. 10⁻⁰⁵ | 3,48 |
| moy total | 7. 10⁻⁰⁴ | 59,18 | 6. 10⁻⁰⁵ | 3,94 |

Une qualification des ouvrages est alors déduite :

Tableau 35 : La qualité des ouvrages

| Qualité du dispositif | Très intéressant à exploiter T>150 m ² /j | Valable à exploiter 15< T =<150 m ² /j | Exploitation limitée T=< 15 m ² /j |
|---------------------------|---|--|--|
| Les dispositifs Concernés | F2 | S2, S3, S4, F3, F5, F6 | S5, F1, F4. |

Les valeurs de perméabilité calculées qualifient les terrains suivant la classification de G. Castany (Mabillet, A. 1988). **Annexe 9**

Les terrains perméables sont présents chez les agriculteurs S2, S3, S4, S5 F2, F3, F5, et F6, alors qu'ils sont peu perméables chez F1 et F4. Ces derniers ouvrages sont plus exposés aux problèmes de colmatage de crépines et nécessitent ainsi un entretien plus intensif. Ces caractéristiques qualifient encore la productivité de l'aquifère de moyenne à faible (réseau français de suivi de la qualité des eaux souterraines)

Remarque

Théoriquement, il y a une étroite relation entre la capacité spécifique et le coefficient de perméabilité. Cependant, les différences qui existent reviennent essentiellement au degré de précision des estimations : l'épaisseur constante de l'aquifère, l'approximation de

Jacob... et parce que les crépines ne sont pas bien placées d'où la sous estimation des débits spécifiques puisqu'une partie seulement de l'aquifère est captée.

III. UTILISATION DE L'EAU SOUTERRAINE

Tels qu'ils sont exprimés par les agriculteurs et quelques auteurs et en plus de ce qui est indiqué précédemment, l'eau souterraine est préférée parce qu'elle permet l'extension spatiale des exploitations agricoles et parce que les ouvrages de captage occupent des espaces réduits.

Dans le contexte des Doukkala, il existe deux méthodes très répandues et concernent notre échantillon comme la plupart des agriculteurs de la région :

- utilisation séparée :

Rhoades (1988) propose l'utilisation des eaux douces pendant les phases critiques à savoir la germination et les stades précoces de croissance, tandis que les eaux salines sont utilisées pour les dernières irrigations sans que le degré de salinité soit exagéré.

- utilisation simultanée :

Le mélange se fait au niveau du canal tertiaire ou du canal arroseur, la part de chaque ressource est dictée par la nécessité de satisfaction des besoins des cultures. La non maîtrise de l'aspect qualitatif, l'absence de l'encadrement, et l'absence d'un ouvrage de mélange (bassin...) sont les principaux facteurs limitants d'une bonne exploitation.

1. de point de vue quantitatif

1.1. la distribution des volumes pour l'irrigation

L'évaluation précise des volumes pompés sans suivi n'est pas évidente. Les dates des différents tours d'eau ont permis à l'agriculteur de se souvenir des irrigations par pompage ainsi que de la durée de fonctionnement de dispositif motopompe.

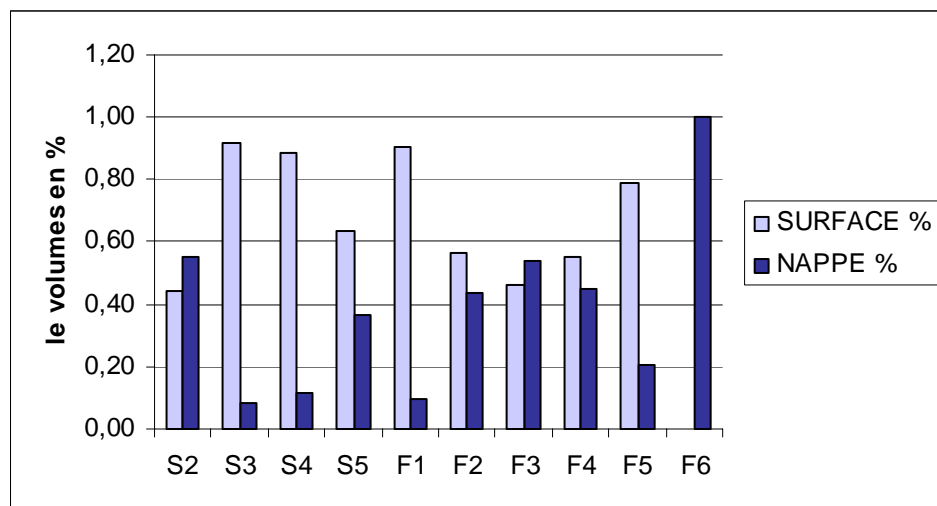


Figure 21: Distribution des volumes d'eau de surface et de la nappe

Les eaux de surfaces sont plus exploitées pour deux raisons principales :

- elles sont de bonne qualité et de coût moindre ;
- leur exploitation est dépendante de l'assolement.

Une exception est notée chez S2 et F3 où les valeurs élevées de taux d'intensification cultural expliquent ce dépassement.

En revenant à la typologie (page 57), on remarque que la catégorie des céréalières (F2, F3, F4) utilise les deux ressources d'eau d'une façon plus ou moins identique, une exception est notée chez S3 où le taux de salinité est très élevé et la tendance de cet agriculteur est plutôt conservatrice que évolutive.

La catégorie d'élevage (S1, S4, S5, F5) consomme moins d'eau souterraine que de surface pour irriguer leurs fourrages qui sont prioritaires à l'accès à l'eau de surface.

Les stratégies de distribution des eaux des deux ressources ne sont pas claires chez la catégorie des exploitations mixtes des betteraviers et d'élevages (F1 et S2).

1.2. les bilans hydriques

Afin d'évaluer le degré de satisfaction des cultures et de maîtrise de l'irrigation par les agriculteurs, un bilan hydrique très approximatif est établi à l'échelle d'une année (campagne 2002/2003).

1.2.1. les termes de bilan hydrique

Les termes retenus pour l'établissement d'un bilan hydrique sont :

- la lame d'eau des pluies efficaces ;
- La lame d'eau efficace d'irrigation ;
- Les besoins en eau d'irrigation dans le contexte des Doukkala ;

a. Les pluies efficaces

Les pluies efficaces sont la part d'eau réellement disponible à un couvert végétal, elles tiennent compte les pertes par ruissellement, la percolation au-delà de la zone racinaire ou l'évaporation à partir de la surface du sol. Elles sont déterminées au niveau de la station expérimentale de Zemamra suivant le modèle de FAO

Tableau 36 : Les pluies efficaces moyennes

| Mois | SEPT | OCT | NOV | DEC | JAN | FEV | MARS | AVR | MAI | JUIN | JUILL | AOUT | TOTAL |
|------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|--------|
| Peff (mm) | 3..97 | 28.04 | 41.00 | 54.66 | 45..54 | 40.34 | 32.74 | 26.84 | 10.93 | 1.17 | 0.00 | 0.23 | 285.46 |

b. Les eaux d'irrigation

La part d'eau d'irrigation réellement consommée par les plantes est calculée en prenant en considération l'efficacité d'irrigation gravitaire moyenne de 55% (Jean Robert Tiercelin, 1998) et l'efficacité d'irrigation moyenne en aspersion de 65% (Salek, 2000)

Les agriculteurs se souviennent généralement des heures de fonctionnement de leurs stations de pompage nécessaires pour irriguer un hectare, le nombre d'irrigation et les modalités d'irrigation ; sachant les débits déjà mesurés, on peut estimer les volumes pompés avec un certain degré de précision. De même les volumes d'eau de surface réservés à l'irrigation des parcelles ne correspondent pas nécessairement à la distribution accordée par l'ORMVAD. Ainsi, les volumes d'eau d'irrigation sont estimés à partir de l'itinéraire technique de chaque culture telle quelle est pratiquée par l'agriculteur.

c. Les besoins en eau des cultures: (Annexe 10)

1.2.2. Le bilan hydrique et le degré de satisfaction des besoins

L'évaluation des apports efficaces par rapport aux besoins en eau des cultures déterminés dans le contexte des Doukkala (La série de tableaux qui suit récapitule les résultats de calcul) montre une mauvaise maîtrise des doses d'irrigation :

- Une sur irrigation est rencontrée chez 5/8 des cas pour la betterave, et chez tous les agriculteurs cultivant le bersim et les blés.
- Une sous irrigation est rencontrée chez tous les agriculteurs cultivant de la luzerne, et 3 cas parmi 8 cultivant de la betterave.

Les autres cultures ont subis la même tendance :

- Une sur irrigation est notée chez 3 cas parmi 4 pour le maïs fourrage, et chez tous les autres agriculteurs cultivant les tomates, les courgettes, le maïs ensilage et la pomme de terre.
- Une sous irrigation est notée chez 1 cas parmi 4 cultivant le maïs fourrage.

La contribution de eaux souterraines est plus faible pour les betteraves et les fourrages que pour les blés, autrement dit, la priorité d'approvisionnement avec des eaux de surface est donnée aux betteraves et aux fourrages.

En relation avec la typologie page 58, les modes de gestion des volumes d'eau ne présentent pas des relations claires avec les catégories des agriculteurs pour les betteraves et les fourrages. Par contre, la catégorie des céréaliers sur irriguent leurs blés par rapport aux autres agriculteurs.

La série des tableaux qui suit représente les bilans hydriques et les degrés de satisfaction des besoins

Tableaux 37 : Les bilans hydriques et les degrés de satisfaction des besoins des cultures en eau

Pour les betteraves :

| AG | BEC (mm) | Pluies Efficaces (mm) | Eaux de Surface (mm) | Eaux souterraines (mm) | Total irrigation (mm) | Total des Apports (mm) | Degré de satisfaction des besoins |
|----|----------|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------|
| S1 | 602.2 | 285.46 | 571 | 0,00 | 571 | 856 | 1,42 |
| S2 | 602.2 | | 356 | 217 | 573 | 858 | 1,43 |
| S3 | 602.2 | | 428 | 11 | 438 | 724 | 1,20 |
| S5 | 602.2 | | 108,5 | 32 | 140 | 425 | 0,71 |
| F1 | 602.2 | | 238 | 43 | 281 | 566 | 0,94 |
| F4 | 602.2 | | 220 | 37 | 256 | 542 | 0,90 |
| F5 | 602.2 | | 609 | 0 | 609 | 895 | 1,49 |
| F6 | 602.2 | 0 | 596 | 596 | 881 | 1,46 | |

Pour la luzerne :

| AG | BEC (mm) | Pluies Efficaces (mm) | Eaux de Surface (mm) | Eaux Souterraines (mm) | Total irrigation (mm) | Total des Apports (mm) | Degré de satisfaction des besoins |
|----|----------|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------|
| S1 | 1270,3 | 285,46 | 266,8 | 180 | 446,7 | 732,2 | 0,58 |
| S2 | | | 475,2 | 13 | 488,6 | 774,1 | 0,61 |
| S3 | | | 427,7 | 19 | 446,8 | 732,2 | 0,58 |
| S4 | | | 225,7 | 78 | 303,8 | 589,3 | 0,46 |
| S5 | | | 148,5 | 152,3 | 300,8 | 586,2 | 0,46 |
| F2 | | | 154,4 | 19 | 173,5 | 458,9 | 0,36 |
| F5 | | | 402,9 | 179,4 | 582,3 | 867,8 | 0,68 |

Pour le bersim :

| AG | BEC (mm) | Pluies Efficaces (mm) | Eaux de surface (mm) | Eaux souterraines (mm) | Total irrigation (mm) | Total des apports (mm) | Degré de satisfaction des besoins |
|----|----------|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------|
| S2 | 350.00 | 285.46 | 356,4 | 117 | 473,8 | 759,3 | 2,17 |
| S3 | | | 427,7 | 107,5 | 535,2 | 820,6 | 2,34 |
| S5 | | | 237,6 | 62,5 | 300,1 | 585,5 | 1,67 |

Pour le blé dur :

| AG | BEC (mm) | Pluies Efficaces (mm) | Eaux de Surface (mm) | Eaux Souterraines (mm) | Total Irrigation (mm) | Total des Apports | Degré de satisfaction des besoins |
|----|----------|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------------|
| S3 | 284.40 | 285.46 | 0,0 | 39,2 | 39,2 | 324,6 | 1,14 |
| S4 | | | 0,0 | 9,5 | 9,5 | 295 | 1,04 |
| F1 | | | 47,5 | 15,5 | 63,1 | 348,52 | 1,23 |
| F2 | | | 130,7 | 0,0 | 130,7 | 416,1 | 1,46 |
| F4 | | | 0,0 | 30,5 | 30,5 | 316 | 1,11 |
| F5 | | | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 285,5 | 1,00 |

Pour le blé tendre :

| AG | BEC (mm) | Pluies Efficaces (mm) | Eaux de Surface (mm) | Eaux Souterraines (mm) | Total Irrigation (mm) | Total des Apports (mm) | Degré de satisfaction des besoins |
|----|----------|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------|
| S5 | 284.4 | 285.46 | 59,4 | 37,5 | 96,9 | 382,3 | 1,34 |
| F3 | | | 56,5 | 00,0 | 56,5 | 341,9 | 1,20 |
| F4 | | | 115,8 | 122 | 237,8 | 523,2 | 1,84 |
| F6 | | | 00,0 | 92 | 91,7 | 377,1 | 1,33 |

1.2.3. L'efficience d'utilisation de l'eau

Tableau 38 : Efficience d'utilisation de l'eau des betteraves

| | Source d'eau | m ³ /ha | Rdt. (t/ha) | EUE (kg/m ³) |
|----|--------------|--------------------|-------------|--------------------------|
| S1 | Réseau | 5710 | 70 | 12,26 |
| S2 | Conjuguée | 5730 | 50 | 8,73 |
| S3 | Conjuguée | 4384 | 38 | 8,67 |
| S5 | Conjuguée | 1397 | 50 | 35,79 |
| F1 | Conjuguée | 2806 | 40 | 14,25 |
| F4 | Conjuguée | 2565 | 50 | 19,49 |
| F5 | Réseau | 6094 | 50 | 8,21 |
| F6 | Nappe | 5960 | 50 | 8,39 |

A part l'agriculteur S1 qui a dépassé la moyenne de la région (61t/ha à l'échelle de toutes les Doukkala et 65 t/ha à l'échelle du casier Sidi Bennour), tous les agriculteurs enquêtés n'arrivent pas à atteindre les rendements potentiels permis par l'irrigation.

La contribution des eaux pompées dans l'élaboration du rendement varie de 2% (S3) à 47% (S2) si l'eau est utilisée conjointement, sinon sa contribution est totale et elle a

engendré un supplément de $8,39 \text{ kg/m}^3$ (zone bour). En moyenne, la contribution des eaux souterraines dans l'irrigation des betteraves est de l'ordre de 26,37 %.

Tableau 39 : Efficience d'utilisation de l'eau de la luzerne

| | Source d'eau | m^3/ha | Rdt. (t/ha) | EUE (kg/m^3) |
|----|--------------|------------------------|-------------|-------------------------|
| S1 | réseau | 4467,06 | 70 | 15.67 |
| S2 | Conjuguée | 4886,42 | 25 | 5.12 |
| S3 | Conjuguée | 4466,99 | 30 | 6.72 |
| S4 | Conjuguée | 3038,365 | 28 | 9.22 |
| S5 | Conjuguée | 3007,62 | 22.5 | 7.48 |
| F2 | Conjuguée | 1734,59 | 50 | 28.83 |
| F5 | Conjuguée | 5823,125 | 50 | 8.59 |

La contribution des eaux souterraines dans ce supplément de rendement varie de 0% à 50%. On enregistre une moyenne de 25,57% en considérant un rendement moyen au niveau de la région de l'ordre de 17t /ha.

Tableau 40 : Efficience d'utilisation de l'eau du bersim

| | Source d'eau | m^3/ha | Rdt. (t/ha) | EUE (kg/m^3) |
|----|--------------|------------------------|-------------|-------------------------|
| S2 | Conjuguée | 5391,1 | 80 | 11.69 |
| S3 | Conjuguée | 5351,7 | 60 | 8.03 |
| S5 | Conjuguée | 3135,5 | 15 | -0.64 |
| F5 | réseau | 2824,3 | 60 | 15.23 |

L'agriculteur S5 n'a pas pu valoriser son eau puisque le calcul a donné une efficience négative. La contribution de l'eau souterraine a varié de 0 à 34% avec une moyenne de 15,6%.

Tableau 41 : Efficience d'utilisation de l'eau du blé dur

| | Source d'eau | m^3/ha | Rdt. (t/ha) | EUE (kg/m^3) |
|----|--------------|------------------------|-------------|-------------------------|
| S2 | Nappe | 365,4 | 4,5 | 9,85 |
| S3 | Nappe | 391,6 | 4,1 | 8,17 |
| S4 | Nappe | 95,1 | 4,5 | 37,86 |
| F1 | Conjuguée | 630,6 | 4 | 4,92 |
| F2 | Réseau | 1306,8 | 3,8 | 2,22 |
| F4 | Nappe | 304,8 | 4 | 10,17 |

Les agriculteurs s'appuient totalement (100%) ou partiellement sur des eaux pompées pour l'irrigation de leurs blés avec une moyenne de 71,67%.

Tableau 42 : Efficience d'utilisation de l'eau du blé tendre

| | Source d'eau | m ³ /ha | Rdt. (t/ha) | EUE (kg/m ³) |
|----|--------------|--------------------|-------------|--------------------------|
| S5 | Conjuguée | 968,83 | 4,5 | 3,72 |
| F3 | Réseau | 564,80 | 5 | 7,26 |
| F4 | Conjuguée | 2377,70 | 4 | 1,30 |
| F6 | Nappe | 916,74 | 3,5 | 2,84 |

Quelque soit le mode d'utilisation de l'eau, les efficacités restent faibles, ce n'est pas uniquement parce que le blé valorise moins l'eau d'irrigation, mais aussi parce que ces plantes sont sur irriguées et/ou mal pratiquées. La contribution de l'eau souterraine varie de 0 à 100% avec une moyenne de 50%.

Tableau 43 : Efficacité d'utilisation de l'eau des autres cultures

| Culture | AG | Source | m ³ /ha | Rdt. (t/ha) | EUE (kg/m ³) |
|-------------|----|-----------|--------------------|-------------|--------------------------|
| tomates | S1 | Nappe | 1800 | 27 | 15.00 |
| | S2 | Nappe | 3322 | 22 | 6.62 |
| courgette | S1 | Nappe | 1333 | 10 | 7.50 |
| M. fourrage | S1 | Nappe | 2670 | 20 | 7.49 |
| | S2 | Nappe | 3543 | 6 | 1.69 |
| | S3 | Nappe | 1424 | 20 | 14.05 |
| | S5 | Conjuguée | 5438 | 8 | 1.47 |
| M. ensilage | S2 | Nappe | 3543 | 40 | 11.19 |
| Pommes | F3 | Nappe | 4449.5 | 21 | 4.72 |
| De terre | F4 | Nappe | 4633. | 21 | 4.53 |
| | F5 | Nappe | 6302 | 18 | 2.86 |
| | F6 | Nappe | 5184 | 25 | 4.82 |
| PDT. sem | F5 | Conjuguée | 6302 | 40 | 6.35 |
| | F6 | nappe | 5184 | 30 | 5.79 |

En résumé, même si les exploitations sont orientées vers une spécialité plus qu'une autre, les efficacités ne reflètent pas des stratégies bien maîtrisées.

On peut attribuer ces faibles efficacités à :

- La faible maîtrise de l'irrigation : doses, techniques,...
- Le faible encadrement de la part de l'ORMVAD.
- La faible maîtrise des autres pratiques culturales.

2. De point de vue qualitatif

2.1. Impact sur les rendements

Tableaux 44 : Calcul de ratio de Willardson

A 0%

| | ECgw mS/cm | ECR betterave | ECR Blés | ECR Luzerne | ECR Bersim |
|-----------|-----------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| S1 | 1.84 | 7,98 | 6,27 | -0,32 | -1,05 |
| S2 | 5.25 | 0,86 | 0,67 | -0,03 | -0,11 |
| S3 | 4.85 | 0,96 | 0,75 | -0,04 | -0,13 |
| S4 | 3.95 | 1,30 | 1,02 | -0,05 | -0,17 |
| S5 | 3.75 | 1,41 | 1,11 | -0,06 | -0,19 |
| F1 | 2.9 | 2,22 | 1,75 | -0,09 | -0,29 |
| F2 | 3.28 | 1,77 | 1,39 | -0,07 | -0,23 |
| F3 | 4.45 | 1,08 | 0,85 | -0,04 | -0,14 |
| F4 | 3.14 | 1,91 | 1,50 | -0,08 | -0,25 |
| F5 | 4.5 | 1,07 | 0,84 | -0,04 | -0,14 |

A 10%

| | ECgw mS/cm | ECR betterave | ECR Blés | ECR Luzerne | ECR Bersim |
|-----------|-----------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| S1 | 1.84 | 10,66 | 8,46 | 1,88 | 1,63 |
| S2 | 5.25 | 1,14 | 0,91 | 0,20 | 0,18 |
| S3 | 4.85 | 1,28 | 1,01 | 0,23 | 0,20 |
| S4 | 3.95 | 1,73 | 1,38 | 0,31 | 0,27 |
| S5 | 3.75 | 1,88 | 1,50 | 0,33 | 0,29 |
| F1 | 2.9 | 2,97 | 2,36 | 0,52 | 0,46 |
| F2 | 3.28 | 2,36 | 1,88 | 0,42 | 0,36 |
| F3 | 4.45 | 1,45 | 1,15 | 0,25 | 0,22 |
| F4 | 3.14 | 2,56 | 2,03 | 0,45 | 0,39 |
| F5 | 4.5 | 1,42 | 1,13 | 0,25 | 0,22 |

A 25%

| | ECgw mS/cm | ECR betterave | ECR Blés | ECR Luzerne | ECR Bersim |
|-----------|-----------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| S1 | 1.84 | 14,80 | 12,12 | 5,29 | 6,02 |
| S2 | 5.25 | 1,59 | 1,30 | 0,57 | 0,65 |
| S3 | 4.85 | 1,77 | 1,45 | 0,63 | 0,72 |
| S4 | 3.95 | 2,41 | 1,97 | 0,86 | 0,98 |
| S5 | 3.75 | 2,62 | 2,14 | 0,94 | 1,06 |
| F1 | 2.9 | 4,13 | 3,38 | 1,48 | 1,68 |
| F2 | 3.28 | 3,28 | 2,69 | 1,17 | 1,34 |
| F3 | 4.45 | 2,01 | 1,65 | 0,72 | 0,82 |
| F4 | 3.14 | 3,55 | 2,91 | 1,27 | 1,44 |
| F5 | 4.5 | 1,98 | 1,62 | 0,71 | 0,80 |

Stratégies réellement pratiquées

Tableau 45 : La part des eaux souterraines dans le mélange

| Code agriculteur | S2 | S3 | S4 | S5 | F1 | F2 |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| PES | 0.339 | 0.215 | 0.286 | 0.390 | 0.206 | 0.357 |

PES : la part des eaux souterraines

En absence d'un dispositif de mélange, l'irrigation en aspersion exige une utilisation séparée des eaux souterraines et de surface.

Betterave à sucre

Il apparaît qu'il n'y a aucun risque de baisse de rendement chez les agriculteurs S1 ; S4 ; S5 ; F1 et F2 quelque soit le mode d'utilisation de l'eau (séparé ou en mélange). Chez les agriculteurs S2 et S3, les formules de mélange actuelles sont satisfaisantes.

Luzerne

La luzerne est plus sensible à la salinité de l'eau d'irrigation par rapport aux betteraves, ainsi quelque soit la formule appliquée, on ne peut que prévoir une baisse de rendement variable selon la qualité de l'eau et la manière dont elle est utilisée.

- l'agriculteur S1 cultive la luzerne avec une baisse de rendement inférieur à 10% ;
- Les agriculteurs S2 et S5 doivent réviser leurs stratégies de mélange ;
- Les autres agriculteurs doivent mélanger les eaux avant d'irriguer, car ils ont supporté une perte d'au moins 10% pour F1 et F2 et d'au moins 25% pour S3 ; S4 et F5 ;
- La pratique de la luzerne au bour s'effectue avec une perte dépassant 25%.

Bersim

La perte de production est inférieure à 10% chez S1 et F5 grâce à leur utilisation unique de l'eau de surface.

En gravitaire, les formules de mélange appliquées ont pour conséquences de baisser le rendement d'une valeur:

- inférieure à 10% pour F1.
- entre 10 et 25% chez S2 ; S3 et S5.

Les Blés

- L'utilisation séparée ou en mélange chez S1 ; S4 ; S5 ; F1 ; F2 et F4 ne pose aucun risque de perte.
- Les formules actuelles de mélange chez S2 et S3 sont satisfaisantes.
- Le problème se pose uniquement chez F3 et F4 qui cultivent les blés avec une baisse de rendement d'au plus de 10%.

Le maïs fourrage

Il est cultivé en supportant une perte d'au plus 10% chez S1, et entre 25 et 50% chez S2, S3 et S5 ;

Les cultures d'été

Elles sont irriguées uniquement à partir d'une eau pompée.

- Les faibles rendements de tomates réalisés chez S1 et S2 reviennent essentiellement à la qualité de l'eau. Théoriquement, la baisse de production a dépassé 50% chez S2 tandis que l'agriculteur S1 s'est trouvé dans une situation plus ou moins satisfaisante ;
- Les pommes de terre sont cultivées chez F4 et F6 avec une baisse comprise entre 25 et 50%, et chez F3 et F5 avec une baisse de rendement de plus de 50% ;
- La médiocrité de la qualité de l'eau a fait perdre plus de la moitié de la production de maïs ensilage.

2.2. Impact sur le sol

Tableau 46 : Les apports en sels

| | Eau de surface | | | Eau souterraine | | | Apport Total (tonnes) | Apport (tonnes/ha) |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|
| | Volume Consommé En m ³ | Salinité Kg/m ³ | Apport en sels (tonnes) | Volume Pompé* En m ³ | Salinité Kg/m ³ | Apport en sels (tonnes) | | |
| S1 | ND | 0,9 | - | 5832,00 | 1,18 | 6,87 | - | - |
| S2 | 21 600 | 0,9 | 19,44 | 26864,55 | 3,36 | 90,26 | 109,70 | 18,91 |
| S3 | 33 048 | 0,9 | 29,74 | 2966,40 | 3,10 | 9,21 | 38,95 | 4,53 |
| S4 | 23 774 | 0,9 | 21,40 | 3110,40 | 2,53 | 7,86 | 29,26 | 2,57 |
| S5 | 82 512 | 0,9 | 74,26 | 47743,64 | 2,4 | 114,58 | 188,85 | 5,94 |
| F1 | 9420 | 0,9 | 8,48 | 1008,29 | 1,86 | 1,87 | 10,35 | 3,45 |
| F2 | 3602 | 0,9 | 3,24 | 2760,55 | 2,10 | 5,79 | 9,04 | 2,18 |
| F3 | 24 248 | 0,9 | 21,82 | 28031,60 | 2,85 | 79,83 | 101,66 | 16,14 |
| F4 | 69282 | 0,9 | 62,35 | 56786,40 | 2,01 | 114,12 | 176,47 | 9,80 |
| F5 | 101 729 | 0,9 | 91,56 | 26730,56 | 2,88 | 76,98 | 168,54 | 6,38 |
| F6 | ----- | ----- | ----- | 74647,58 | 2,55 | 190,62 | 190,62 | 14,66 |

Les volumes d'eau souterraines et de surface ont apportés des quantités en sels très importantes et variables entre 2,18 à 18,91 t/ha. Ces apports en sels peuvent être lixiviés vers la nappe ; absorbés par les plantes ou accumulés dans le sol.

En effet, la tendance des agriculteurs à sur irriguer peut être favorable au terme de lixiviation en dehors de la zone racinaire en affectant ainsi la qualité de la nappe. La fraction de sels absorbée par les plantes peut constituer une solution plus ou moins optimale ; dans ce sens, Badraoui et Agbani dans les années 90 ont montrés que la betterave absorbe la moitié de sels apportés par l'eau d'irrigation dans le contexte des Doukkala, cependant, cette proportion est plus faible dans le cas d'une utilisation conjuguée ou unique à partir des eaux pompées. En plus, les études menées par Rahoui et al ont classées les sols des Doukkala parmi les sols non salins (CE moy=0,21ms/cm inférieure au seuil de 4 ms/m). Par conséquent, la lixiviation des sels vers la nappe se révèle la plus importante parmi les trois voies citées.

IV. CONCLUSION

Au long de ce chapitre, on a essayé de diagnostiquer les systèmes des pompages privés et les modalités d'utilisation des eaux souterraines et leurs impacts sur les rendements et les sols.

Telle qu'il est ressorti des indicateurs manipulés, le secteur des pompages privés pour l'irrigation se caractérise par une mauvaise conception et un mal fonctionnement des systèmes de pompage d'une part et une gestion non maîtrisée des eaux pompées.

En outre, on a constaté que l'inefficience de réseau de surface est le premier facteur agissant sur le degré d'exploitation des eaux souterraines.

CHAPITRE 6

Valorisation Economique

De L'eau Pompée

L'appréciation des résultats précédents est plus significative si on les interprète économiquement. Généralement, le bilan économique de n'importe quelle exploitation évalue son efficacité et motive les agriculteurs à développer leurs stratégies s'il est déficitaire.

Dans ce chapitre, on considère la valorisation économique comme un autre indicateur de fonctionnement des systèmes des pompages en quantifiant les charges supplémentaires engendrées par le pompage et l'impact des pratiques des pompages sur le bilan économique des exploitations agricoles.

Les agriculteurs enquêtés ont autofinancés leurs installations sans recours à aucun crédit et même les subventions ne contribuent pas puisque les ouvrages ne sont pas autorisés.

1. Les charges

1.1. L'eau

1.1.1. L'eau de surface

Le prix de l'eau de surface se décompose en :

- Un taux d'équilibre fixe chez tous les agriculteurs de la région.
- Une taxe de pompage : variable

Le tableau 47 donne la tarification appliquée dans les deux casiers d'études

Tableau 47 : La tarification appliquée dans les casiers d'études

| Casier | Sidi Bennour | | | | | | | Faregh | | | | | |
|----------------------------|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|---------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|
| CGR | 330 | 331 | 333 | 335 | 336 | 337 | 338g | 338a | 310 | 311 | 312E | 312B | 332 |
| Taux d'équilibre DH | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 |
| Taxe de Pompage DH | 0.07 | 0 | 0 | 0.07 | 0.07 | 0 | 0.07 | 0.20 | 0 | 0 | 0.20 | 0.23 | 0 |
| Prix total DH | 0.28 | 0.21 | 0.21 | 0.28 | 0.28 | 0.21 | 0.28 | 0.41 | 0.21 | 0.21 | 0.41 | 0.44 | 0.21 |

Source : ORMVAD

Les volumes d'eau et leurs frais sont mentionnés ci-après.

1.1.2. L'eau souterraine

Les volumes pompés sont estimés sur la base des itinéraires techniques de chaque culture tels qu'ils sont pratiqués par les agriculteurs. Ces itinéraires ont permis d'évaluer la fréquence des irrigations et les heures de fonctionnement de groupe motopompe pour chaque culture chez la plupart des agriculteurs. Si l'agriculteur n'arrive pas à se souvenir des détails, il met des estimations à l'aide de plannings des irrigations déjà consultés chez les centres techniques ; sinon, un volume global peut être estimé à partir des charges des énergies, l'exploitation dans ce cas n'est pas prise en compte dans les calculs détaillés.

Le tableau 48 récapitule les volumes pompés non réservés à l'irrigation

Tableau 48 : Le calcul de coût de pompage (coûts fixes)

| | COUTS FIXES | | | | | | | | Cf. (C1 + C2) |
|-----------|------------------------|----------------|-----------------|-----------|---------------|------------|-----------|-------|------------------|
| | investissement de base | | | | charges fixes | | | | |
| | creusement de puit | achat pompe | achat moteur | abri | C 1 | réparation | entretien | C2 | |
| S1 | 40 000 | 10500 | 26 000 | 18 000 | 4 367 | 0 | 1730 | 1730 | 6 097 |
| S2 | 36 000 | 21 000 | 17 000 | 5 000 | 3 900 | 7750 | 2060 | 9810 | 13 710 |
| S3 | 10 250 | 23 000 | 30 000 | 10 000 | 4 208 | 8700 | 3900 | 12600 | 16 808 |
| S4 | 55 000 | 0 | 50 000 | 0 | 5 167 | 0 | 2500 | 2500 | 7 667 |
| S5 | 72 450 | 50 000 | 20 000 | 4 000 | 7 215 | 6000 | 3720 | 9720 | 16 935 |
| F1 | 25 425 | 12 000 | 11 000 | 0 | 2 381 | 0 | 2910 | 2910 | 5 291 |
| F2 | 127 750 | 0 | 90 000 | 0 | 10 258 | 0 | 2000 | 2000 | 12 258 |
| F3 | 21 000 | 18 000 | - | 0 | 1 900 | 0 | 2000 | 2000 | - |
| F4 | 36 000 | 28 000 | 2500 | 0 | 3 233 | 2500 | 4500 | 7000 | 10 233 |
| F5 | 14 500 | 36 500 | 20 000 | 15 000 | 4 750 | 0 | 5248 | 5248 | 9 998 |

C1 : les investissements de base déjà amortis.

C2 : la somme des charges fixes.

Tableau 49 : Le calcul de coût de pompage (coûts variables et coûts de pompage)

| | COUTS VARIABLES | | | | Volumes pompés m ³ /an | Cf DH | COUT DE POMPAGE En DH / m ³ |
|-----------|-----------------|----------------------|--------------|-------------------------|--------------------------------------|----------|---|
| | Débit l/s | Prix de l'énergie | Consommation | Cv DH/m ³ | | | |
| S1 | 9,00 | 5,40 DH/l | 3,00 l/h | 0,50 | 5832 | 6 097 | 1.55 |
| S2 | 15,38 | 5,40 DH/l | 3,00 l/h | 0,29 | 100604 | 13 710 | 0.43 |
| S3 | 8,24 | 5,40 DH/l | 3,00 l/h | 0,55 | 2966 | 16 808 | 6.21 |
| S4 | 12,00 | 1,06 DH/kWh | 10,00 kWh | 0,25 | 3496 | 7 667 | 2.44 |
| S5 | 19,18 | 5,40 DH/l | 4,00 l/h | 0,31 | 48860 | 16 935 | 0.66 |
| F1 | 7,78 | 5,40 DH/l | 1,50 l/h | 0,29 | 1008 | 5 291 | 5.54 |
| F2 | 16,67 | 1,06 DH/kWh | 10,00 kWh | 0,18 | 2967 | 12 258 | 4.31 |
| F3 | 11,46 | 5,40 DH/l | 2,50 l/h | 0,33 | 28579 | - | - |
| F4 | 11,00 | 3,23 DH/kg | 4,33 kg/h | 0,35 | 57460 | 10 233 | 0.53 |
| F5 | 3,89 | 5,40 DH/l | 5,00 l/h | 1,93 | 28008 | 9 998 | 2.28 |

Source : Enquête

- Les coûts de pompage sont très variables, ainsi, on peut subdiviser les stations en trois groupes, inférieur à 1 DH/m³ ; entre 1 et 3 DH/m³ et supérieur à 3 DH/m³. dans le premier groupe, on trouve les stations S2 ; F4 et S5, la seconde inclut S1 ; F5 et S4, et enfin les stations qui supportent un coût dépassant 3 DH/m³ ;
- Les sur coûts enregistrés reviennent essentiellement aux coûts fixes. En effet, jusqu'à 96% de prix de l'eau se constitue des coûts fixes et les volumes pompés ;
- Les charges fixes se constituent des investissements de bases variables de 25 à 84% avec une moyenne de 51%, et les charges fixes des travaux d'entretien et de réparation contribuent avec une part de 16 à 75% avec une moyenne de 49% ;
- Le sur coût de pompage ne peut être qu'une conséquence de plusieurs facteurs cités au long de ce travail : faible niveau de technicité des agriculteurs et des entreprises de forage, absence d'encadrement, exploitation récente de la nappe...
- Pour notre échantillon, la qualité des eaux ne contraint pas l'exploitation de même degré que le coût de pompage. Statistiquement, il existe une relation négative et faible entre les volumes pompés et la conductivité électrique alors que le coût de pompage agit positivement sur ces volumes ;

- L'application non justifiée du tarif général de l'électricité a augmenté nettement le coût de l'eau, les agriculteurs concernés ignorent la présence du tarif vert.

Autres utilisations des eaux pompées

Les charges d'eau réservée à l'élevage, à l'usage domestique et aux dons volontaires aux gens de douar pour l'eau potable se présentent dans le tableau qui suit :

Tableau 50 : Autres usages de l'eau pompée

| Agriculteur | Volumes m³ | Coût de pompage | Charges DH |
|--------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| S1 | 1 971 | 1,55 | 3 055 |
| S2 | 73 739 | 0,43 | 31 708 |
| S3 | 0 | 6,21 | 0 |
| S4 | 385 | 2,44 | 939 |
| S5 | 1 116 | 0,66 | 737 |
| F1 | 0 | 5,54 | 0 |
| F2 | 207 | 4,31 | 892 |
| F3 | 547 | //////// | ////////// |
| F4 | 673 | 0,53 | 357 |
| F5 | 1 277 | 2,28 | 2 912 |

Source : Enquête

Les charges supplémentaires dues à l'approvisionnement des élevages et aux autres usages contribuent lourdement dans les charges de pompage.

Les volumes exagérés chez l'agriculteur S2 s'expliquent par les objectifs de l'agriculteur – élu à garder des bonnes relations avec les gens de douar.

Les dons volontaires concernent aussi les autres agriculteurs suivant la qualité des eaux.

1.1.3. Le Coût de l'utilisation conjuguée

La figure 22 confronte les frais de l'eau d'irrigation de surface et souterraine.

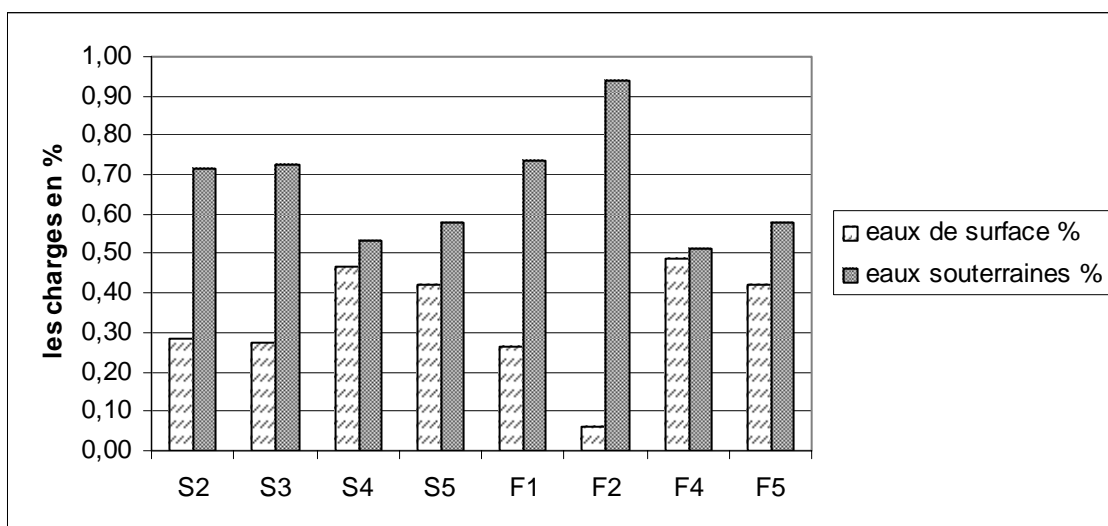


Figure 22: les charges relatives à l'eau d'irrigation (situation 2002/2003)

D'une façon globale, Les charges d'eau pompée sont nettement supérieures à celles des eaux de surface en raison de coût très élevé de pompage. Ainsi, la facture de l'irrigation s'est composée essentiellement des frais d'énergie.

En effet, si on rapporte les frais de l'eau aux surfaces dominées, on trouve des valeurs des charges globales des deux sources comprises entre 1250 DH/ha et 3983 DH/ha avec une moyenne de 2961 DH/ha. Les charges de pompage contribuent de 666 DH/ha à 2867 DH/ha avec une moyenne de 2617 DH/ha.

1.2. Les charges de production

Elles incluent les charges relatives

- à l'achat des semences,
- à l'achat des fertilisants,
- à l'achat des produits phytosanitaires,
- aux travaux mécanisés
- aux mains d'œuvres

Les résultats des calculs sont détaillés dans l'annexe 13, le tableau récapitule ces résultats.

Tableau 51 : Résultats de calcul des charges

| culture | Code exploitation | Charges globales DH | MO liée à l'irrigation / Charges d'irrigation | Charges d'irrigation par rapport aux charges globales % | Frais de pompage par rapport aux globaux |
|----------------------|--------------------------|----------------------------|--|--|---|
| betterave | S1 | 17980 | 08 | 10 | 00 |
| | S2 | 86407 | 10 | 09 | 05 |
| | S3 | 23556 | 11 | 23 | 09 |
| | S5 | 95425 | 21 | 09 | 03 |
| | F1 | 14321 | 05 | 38 | 30 |
| | F4 | 53743 | 15 | 15 | 02 |
| luzerne | S2 | 7293 | 08 | 54 | 20 |
| | S3 | 5107 | 10 | 58 | 25 |
| | S4 | 44714 | 15 | 35 | 12 |
| | S5 | 51803 | 17 | 32 | 14 |
| | F2 | 22838 | 04 | 57 | 52 |
| bersim | S2 | 16765 | 10 | 21 | 08 |
| | S3 | 40094 | 02 | 59 | 51 |
| | S5 | 35507 | 11 | 32 | 11 |
| Blé dur | S2 | 4616 | 15 | 06 | 05 |
| | S3 | 47075 | 01 | 40 | 40 |
| | F1 | 4981 | 03 | 29 | 25 |
| | F2 | 22755 | 17 | 08 | 00 |
| | F4 | 20982 | 17 | 06 | 05 |
| Blé tendre | S5 | 75473 | 41 | 06 | 00 |
| | F3 | 31384 | 18 | 06 | 00 |
| | F4 | 68386 | 36 | 14 | 00 |
| Tomates | S1 | 9579 | 13 | 24 | 21 |
| | S2 | 23625 | 12 | 09 | 08 |
| Courgette | S1 | 4879 | 12 | 33 | 29 |
| Mais | S1 | 19283 | 12 | 13 | 12 |
| fourrages | S2 | 5608 | 15 | 29 | 25 |
| | S3 | 82528 | 02 | 67 | 66 |
| | S5 | 28293 | 05 | 53 | 43 |
| Mais ensilage | S2 | 6058 | 15 | 27 | 23 |
| P.D.T | F4 | 139037 | 08 | 14 | 13 |

Source : Enquête

D'après ce calcul, les éléments suivants ressortent :

- **Betteraves**

Les charges de l'irrigation peuvent représenter jusqu'à 38% des charges globales dont 80% d'environ est constitué par les frais de pompage. L'effectif de La main d'œuvre liée à l'irrigation dépend de la technique d'irrigation et la superficie à irriguer, sa contribution dans les frais d'irrigation peut atteindre 21%.

- **Luzerne**

Les charges d'irrigation varient de 32% dont 44% est constitué par les frais de pompage, à 58% dont le pompage occupe 43%. La main d'œuvre liée à l'irrigation atteint 17%.

- **Bersim**

L'irrigation constitue de 21 à 59% des charges globales, la part de pompage varie entre 38% et 86%. Environ 11% des charges d'irrigation sont sous forme de charges liée à la main d'œuvre.

- **Blés**

Vu que les blés ne sont pas des cultures à forte consommation en l'eau, les charges d'irrigation sont plus faibles même s'ils sont prioritaires. Les charges d'irrigation occupent de 6 à 40% dont les frais de pompage représentent de 0 à 100%.

- **Les cultures d'été**

Les autres charges des cultures maraîchères ont dominés les charges d'irrigation ainsi la contribution de l'irrigation a varié entre 8% et 29%. Pour le maïs, l'irrigation a pu atteindre 67% des charges globales dont 98% uniquement constitués par les frais de pompage. La main d'œuvre liée à l'irrigation est plus faible et ne dépasse pas 15% des charges d'irrigation.

- Plus l'exploitation est grande, plus les charges par hectare sont faibles. Aussi, l'étude de simulation faite par Zemzam (2003) au périmètre irrigué du Tadla a comparé les valeurs de la marge brute globale moyenne, il a constaté que la MBG/ha moyenne des agriculteurs qui irriguent uniquement par l'eau de surface est nettement inférieure à celle des exploitants qui mélangent les deux ressources. Ainsi, vu le gain qui peut générer l'investissement dans l'achat de dispositif motopompe, la présence d'un forage dans l'exploitation est très importante pour l'ensemble des agriculteurs concernés par cette étude.

- L'irrigation est assurée généralement par des ouvriers externes de la famille surtout si le tour d'eau a eu lieu la nuit.

REMARQUE

Les parcelles non mentionnées sont soit non cultivées où il manque de données.

1.3. Les charges énergétiques

Les frais d'énergie sont supportés directement et uniquement par l'agriculteur. Les trois formes d'énergie (gasoil, butane, électricité) se distinguent par leurs prix unitaires et le mode de paiement, en effet, l'application du tarif général pour l'électricité a augmenté les charges énergétiques qui se paient par période après l'utilisation, alors que les autres types sont plus chères et doivent être payées avant l'utilisation d'une manière détaillées.

1.3.1. Par rapport aux charges de pompage pour irrigation

Tableau 52 : Les charges énergétiques par rapport aux charges de pompage

| Code Agriculteur | Frais de l'eau pompée | Charges énergétiques | La part des charges énergétiques % |
|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|
| S1 | 9040 | 2916 | 0,32 |
| S2 | 11552 | 7860 | 0,68 |
| S3 | 18421 | 1620 | 0,09 |
| S4 | 7589 | 763 | 0,10 |
| S5 | 31511 | 14939 | 0,47 |
| F1 | 5586 | 292 | 0,05 |
| F2 | 11898 | 488 | 0,04 |
| F4 | 30097 | 20076 | 0,67 |
| F5 | 60946 | 51537 | 0,85 |

Source : Enquête

L'énergie représente 5 à 85 % des charges de pompage, elle varie en fonction du coût de pompage, le rendement de groupe motopompe et la consommation en énergie.

1.3.2. par rapport aux charges totales d'eau

Tableau 53 : Les charges énergétiques par rapport aux charges totales d'irrigation

| Code Agriculteur | Charges D'irrigation | Charges énergétiques | La part des charges énergétiques |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|
| S2 | 16088 | 7860 | 0,49 |
| S3 | 25361 | 1620 | 0,06 |
| S4 | 14246, | 763 | 0,05 |
| S5 | 54614 | 14939 | 0,27 |
| F1 | 7564 | 292 | 0,04 |
| F2 | 12654 | 488 | 0,04 |
| F4 | 58502 | 20076 | 0,34 |
| F5 | 105706 | 51537 | 0,49 |

Source : Enquête

Elles varient entre 4% et 49% suivant la part des eaux souterraines par rapport aux eaux de surface.

1.3.3. par rapport aux charges globales de production

Tableau 54 : Les charges énergétiques par rapport aux charges globales

| Code agriculteur | Les charges globales | Charges énergétiques | La part des charges énergétiques |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|
| S2 | 150374 | 7860 | 0.005 |
| S5 | 286500 | 14939 | 0.05 |
| F1 | 19302 | 292 | 0.015 |
| F2 | 45593 | 488 | 0.010 |
| F4 | 282148 | 20076 | 0.071 |

Source : Enquête

Les faibles pourcentages des frais énergétiques par rapport aux charges globales semblent supportables (inférieur à 7%). On note aussi des valeurs variables en fonction des superficies dominées.

2. Le rapport coûts/bénéfices

Les charges globales de production sont calculées chez cinq exploitations agricoles et elles sont illustrées dans le tableau qui suit :

Tableau 55 : Les charges globales de production

| Code agriculteur | Superficie Ha | Charges globales DH | Charges par ha DH/ha |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| S2 | 5,80 | 150374 | 25 927 |
| S5 | 31,79 | 286500 | 9012 |
| F1 | 3.00 | 19302 | 6434 |
| F2 | 4,15 | 45593 | 10986 |
| F4 | 18.00 | 282148 | 15 675 |

Source : Enquête

Les recettes sont encore récapitulées dans le tableau 56

Tableau 56 : Les recettes globales de production

| Code agriculteur | Superficie ha | Recettes globales DH | Recettes par ha DH/ha |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| S2 | 5,80 | 520 920 | 89 814 |
| S5 | 31,79 | 1 169 818 | 36 798 |
| F1 | 3.00 | 169 950 | 56 650 |
| F2 | 4,15 | 129 645 | 31 240 |
| F4 | 18.00 | 681 616 | 37 868 |

Source : Enquête

Ainsi, on calcule le rapport bénéfice/coût dans le tableau 57.

Les économistes considèrent qu'un projet est rentable si le rapport bénéfice/coût (ou encore coût/bénéfice) est supérieure à l'unité (ou inférieure à l'unité).

Tableau 57 : Le rapport bénéfice/coût

| Code agriculteur | Charges globales DH | Recettes globales DH | Rapport B/C |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| S2 | 150374,11 | 520 920 | 3,46 |
| S5 | 286500,15 | 1 169 818 | 4,08 |
| F1 | 19302,28 | 169 950 | 8,80 |
| F2 | 45593,10 | 129 645 | 2,84 |
| F4 | 282148,41 | 681 616 | 2,42 |

Source : Enquête

On ne peut que juger la rentabilité des cultures mêmes s'elles sont mal maîtrisées. D'une autre coté, il semble que les petites exploitations réalisent des rapports plus importants convenablement avec de différentes études (Tamehmachet (1988), Doukkali et Ramli (1994) et Boughli (1998)) qui ont prouvé la supériorité technique des petites exploitations.

En dépend des orientations des exploitations, la catégorie céréalière réalise les rapports les plus faibles puisque les blés sont moins valorisatrices de l'eau, les autres catégories se bénéficient mieux de leurs cultures.

3. Conclusion

L'analyse de l'utilisation de l'eau souterraine ne peut se faire sans l'intégration de l'eau de surface puisqu'elles sont complémentaires. Par ailleurs, l'absence d'encadrement au niveau des modalités de mélange et la non maîtrise de l'irrigation sans négliger les autres pratiques culturales, justifient "la faible rentabilité" des systèmes de production. Ainsi, on se demande sur les bénéfices possibles que les agriculteurs peuvent tirer si leurs systèmes de pompage fonctionneraient avec un minimum de maîtrise.

La facture d'irrigation se constitue essentiellement des frais énergétiques. La diminution des charges d'irrigation a un effet très significatif sur le rapport bénéfices/coûts.

Conclusions
&
Recommandations

Conclusions et recommandations

Le présent travail n'est qu'une introduction à la découverte de l'exploitation agricole de la nappe des Doukkala en l'absence de toute étude ou suivi de gestion et de l'évolution des stations de pompage privées. Il cherche à dévoiler les raisons, les impacts et les modalités de gestion de l'eau souterraine et il résume ses objectifs dans la triade : quoi, pourquoi et comment exploiter les eaux souterraines à partir des enquêtes documentaires et sur le terrain effectuées à Sidi Bennour et à Faregh.

Pour déceler les traits caractéristiques des pratiques des pompages, on a adopté des indicateurs qualitatifs (état du matériel, études préliminaires...) et quantitatifs (rendement global, valorisation économique...) et on a discuté les possibilités d'organisation de ce secteur via une gestion collective de la ressource afin de la préserver.

L'accès à l'eau souterraine a eu recours pour plusieurs raisons résumés dans les servitudes du réseau de surface et les aléas climatiques qui ont amenés les agriculteurs à choisir la possession d'un contrôle individuel sur une ressource en eau, ainsi que de garantir la stabilité de l'approvisionnement. Par conséquent, on estime que l'amélioration de l'efficacité du réseau de l'eau de surface peut contribuer fortement à la diminution de la charge sur la nappe. En outre, la sécheresse est une caractéristique structurelle du climat marocain et plus précisément dans la région des Doukkala, de ce fait, l'application des plans restrictifs devient une stratégie habituelle qu'on doit s'adapter avec, et qu'on doit attendre un développement continu des pompages.

D'une autre côté, les sécheresses sont accompagnées par des recharges plus faibles de la nappe par les eaux d'irrigation et des prélèvements plus intenses par pompage, les principaux éléments de l'équation du bilan hydrogéologique, en conséquence, si l'effectif actuel des points de prélèvements est très faible par rapport aux autres périmètres irrigués et que l'exploitation atteint des niveaux aussi importants, la pérennité de la ressource est donc mise en question.

La compréhension des modalités de gestion de l'eau souterraine et l'impact de son utilisation ont constituées les principaux objectifs où se sont orientées les activités

sur le terrain. Plusieurs indicateurs qualitatifs et quantitatifs ont été pris en considération pour évaluer d'une manière générale l'exploitation de la nappe. A ce niveau, on ne peut que juger la non maîtrise de gestion de l'ensemble des composantes de système de pompage accompagnée par une gestion non rationnelle de l'eau même s'elle est chère. Les agriculteurs préfèrent l'eau de surface - si elle est disponible- parce qu'elle est moins chère et de qualité relativement meilleure en comparaison avec l'eau souterraine qui malgré sa disponibilité n'a pas permis la diversification des assolements ou l'amélioration de l'intensification telles qu'elles ont été avant les sécheresses. L'eau souterraine n'est là que pour combler le déficit en eau de surface chez la plupart des agriculteurs.

Ainsi, au terme de ce travail, on propose à l'ORMVAD d'étaler cette étude sur un échantillon plus représentatif intégrant les élevages à partir d'un inventaire actualisé et élaboré sur la base des objectifs bien définis dans le but de mieux caractériser ce secteur, ainsi de préparer des stratégies d'intervention pour une utilisation efficiente de l'eau de point de vue qualitatif et quantitatif en moyen des campagnes d'encadrement et de vulgarisation ; des recensements périodiques s'avèrent obligatoires pour suivre l'évolution de pompage privé et l'évolution de la nappe dans les zones où la densité est plus élevée.

Autant qu'un responsable sur le secteur, l'office est appelé à contrôler la qualité de service des entreprises de forage et de fourniture, et de réglementer le secteur des pompages en rendant les autorisations obligatoires et en simplifiant les procédures, et à coordonner avec les autres preneurs de décision pour bien clarifier les relations entre eux, ainsi de subventionner les énergies afin de diminuer les charges de pompage, de planifier les prélèvements à partir de la nappe à l'échelle régionale en moyen d'une gestion collective et participative et d'appuyer les expérimentations afin de trouver des plantes plus tolérantes aux sels.

L'amélioration de l'efficiencia de réseau de distribution et de drainage peut diminuer fortement la charge sur la nappe, les problèmes liés à la remontée...

Les agriculteurs sont appelés aussi à intervenir pour améliorer leurs systèmes d'exploitation de la nappe, la demande d'un appui technique est une condition

indispensable pour améliorer l'efficacité du système à travers le diagnostic de chaque composante, les améliorations demandées sont plus ou moins coûteuses mais leurs prix de revient seraient très encourageants. Chaque économie faite au détriment de la qualité du matériel ne fait qu'augmenter le coût de pompage.

Références
Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADMINISTRATION D'HYDRAULIQUE. 1975. Les ressources en eaux du Maroc.
Tome 2.

AGBANI, M ; BADRAOUI M ; CHIANG, C.N ; MARCOEN, J.M et SOUDI, B. 2000. Intensification agricole et qualité des sols et des eaux.

AGENCE DE BASSIN OUM ER RBIA, 2003. Etude de la stratégie de gestion des ressources en eau du bassin de l'Oum Er Rbia : collecte, analyse et synthèse des études réalisées dans la période 1989 – 2001.

AGENCE DE BASSIN DE TENSIFT, 1991. Rapport de qualité de l'eau dans le bassin de Tensift

A. G. H. T. M. 1986. Les stations de pompage d'eau. 2^{ème} édition.

AKERTIT, A. 2002. Note sur l'analyse financière du projet de la reconversion à la parcelle.

ANAFID., 1990. Gestion des grands périmètres irrigués au Maroc. Volume 1

ANIBA, K. 1997. Effet de l'irrigation sur la salinisation des sols dans le périmètre irrigué de Doukkala. Mémoire de fin d'études. IAV. Option des sciences de sol.

AYERS, 1977. Quality of water irrigation. Journal of irrigation and drainage division. Asce 103 (IR2) p: 135 – 154.

BAALI, E & JENANE, C. 2001. Cours de machinisme agricole (les moteurs thermiques et tracteurs agricoles). 1^{ère} partie.

BADRAOUI, M ; BENZAKOUR, M ; CHIANG, C ; MARCOEN, J.M ; RAHOUI, M et SOUDI, B. 2001. Atlas de la qualité des sols et des eaux souterraines dans le périmètre irrigué des Doukkala.

BAHOUSS, M & MOUSSAOUI, L. 1996. Etude hydrogéologique des nappes souterraines des périmètres de KORIMAT et de BENI MOUSSA. . Mémoire de fin d'études, IAV Hassan II, option Génie Rural.

BEN GUEDOUR, H. 1999. Suivi des régimes hydriques et salins dans le périmètre irrigué des Doukkala (CDA 330). Mémoire de fin d'étude. IAV. Option des Sciences de sol.

BERRKIA, N. 2003. Utilisation conjuguée des eaux souterraines et des eaux de surface dans le périmètre de BNI AMIR : Typologie de pompages et impact sur la qualité des eaux et des sols (TADLA). Mémoire de fin d'études, IAV Hassan II, Option Génie Rural.

BLILI, H. 1994. Utilisation conjuguée de eaux de surface et des eaux souterraines du point de vue de l'exploitation agricole : Développement et application d'un modèle de programmation

linéaire, cas du périmètre des BENI MOUSSA. Mémoire de fin d'études, IAV Hassan II, option Génie Rural.

BOUNJA, R & HAMMANI, A. 1991. Etude de la nappe phréatique et du drainage dans le périmètre de BENI MOUSSA (TADLA), Mémoire de fin d'études, IAV Hassan II, option Génie Rural.

BOUGHLA, M. 1998. Analyse de l'efficacité technico- économique des exploitations agricoles à système de production mixte : Cas de la zone de Oued Zem, Mémoire de fin d'études, IAV Hassan II, Dpt Sciences humaines.

CEMAGREF. 1996. Les stations de pompage individuelles pour l'irrigation. 104p.

CRUZ,-S.-de-la et PENA,-E. 1994. Method to improve water resources management in groundwater pumping areas and a case study. International-Journal-of-Water-Resources-Development (United Kingdom). Commission nationale de l'eau, (Mexico). v. 10(3) p. 329-337.

DIRECTION DE LA RECHERCHE ET DE LA PLAIFICATION DE L'EAU & FAO. 1992. Rapport de la 1^{ère} mission du consultant hydrogéologique (Elaboration d'un schéma d'exploitation de eaux souterraines du Sahel).

DOUKKALI R.M & RAMLI, 1994. Impact du crédit agricole sur l'efficacité des exploitations agricoles. IAV Hassan II.

DURAND. 1984. les sols irrigables- étude pédologique. P 134- 135, p272- 274

EL MAGHRAOUI, A. 1986. Techniques de forage et de fonçage de puits d'eau. Mémoire de fin d'études, IAV. Hassan II, option machinisme agricole

HAMDAOUI, F. 1996. Caractérisation actuelle de la qualité des ol et des eaux dans le périmètre irrigué des Doukkala. Mémoire de fin d'études. IAV. Option des Sciences de sol.

HAMMANI, A. 2003. Cours de l'hydrogéologie, chapitre 6 et 7. DGR. IAV

HAMMOUDA, 2003. Cours des statistiques

IAV Hassan II & ISESCO. 1991. PLANT SALINITY RESEARCH, actes de séminaire « Agricultural Management of Salt- affected areas» à Agadir

ID AHMED, F. 1998. Impact des activités agricoles et d'élevage sur la pollution nitrique des eaux souterraines dan le périmètre irrigué des Doukkala. Mémoire de fin d'études. IAV. Option des sciences de sol.

JEAN-ROBERT T., 1998. Traité d'irrigation. TEC & DOC lavoisier. Paris.

LOI DE L'EAU 10/95

MABILLOT, A. 1988. Le forage d'eau. Guide pratique. 237p.

MAASS & ANDERSON, 1978. and the desert shall rejoice : conflicts, growth and justice in arid environment. Cambridge, MIT Press

MAASS & HOFFMAN. 1977. Crop salt tolerance current assesement. Journal irrigatio and drainage. Div. ASCE. Vvolume 103 (2) : 113- 134.

MAYSTRE, L.Y. 1985. Initiation aux calculs économiques pour les ingénieurs. Chapitre 5.

MOUSSAOUI, H.2001. qualité des sols et des eaux dans le périmètre irrigué des Doukkala : actualisation du diagnostic et optimisation du système de suivi.

OBSERVATOIRE DE SUIVI DE L'ENVIRONNEMENT DU PERIMETRE DES DOUKKALA. 2003. Rapport relatif à la campagne 2001/2002. DGRID. ORMVAD.

OMARA. 1988. the efficient use of surface water and groundwater in irrigation : an overview of the issues. A world bank symposium, pp, 1 - 18

ONE, 2000. Prix de vente de l'électricité.

ORMVAD. 1995. Etude d'amélioration de l'exploitation de réseaux d'irrigation et de drainage du périmètre bas service des Doukkala.

ORMVAD. 2001. Etude des zones touchées par la salinité : casier de Sidi Bennour. Rapport de la commission.

ORMVAD. 2002. Rapport relatif à l'agro climatologie dans le périmètre des Doukkala. Campagne agriole 2001-2002.

ORMVAD. 2003. La monographie de la région des Doukkala Abda.

ORMVAD. 2003. Rapport sur le réseau d'assainissement externe du périmètre des ABDA – DOUKKALA.

ORMVAD & LABORATOIRE DE L'EAU ET L'ENVIRONNEMENT. FACULTE DES SCIENCES. UNIVERSITE CHOUAIB DOUKKALI. 1997. Etude de l'impact de l'irrigation sur l'environnement du périmètre Bas Service des Doukkala : rejet de Sidi Bennour et de Zemamra. Projet PRET BIRD.

ORMVAD & LABORATOIRE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT DE L'UNIVERSITE CHOUAIB DOUKKALI. 2000. Etude de l'impact de l'irrigation sur l'environnement du périmètre Bas Service des Doukkala : Eau d'irrigation, sol et eaux souterraines.

OULHAJ, A. 2003. Cours des turbo machines. DGR. IAV.

OULHAJ, A. 2003. Cours des écoulements transitoires dans les conduites en charge. Version 4. DGR. IAV.

PASSELEGUE, G.1962. Les moteurs agricoles. 7^{ème} édition. 375p.

PERALTA, 1990. Optimal conjonctive use of irrigation sources. In management farm irrigation systems, Déc. Pp. 427 – 457

RADOSEVICH, G.E. 1988. Legal considerations for coping with externalities in irrigated agriculture

RESEAU FRANCAIS DE SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES, 2004.
note

RHOADES, J.D. 1988. reuse of drainage water for irrigation : results of imperial valley study. Hilgardia HILGA4.

SAADINI, Y. 1999. La situation actuelle de l'irrigation localisée dans la région d'AGADIR. Mémoire de fin d'études, IAV Hassan II, option Génie Rural.

SALEK, 2000. Diagnostic du système d'irrigation dans le casier aspersion Boulaouane du périmètre des Doukkala. Mémoire de fin d'études, IAV Hassan II, option Génie Rural.

TAIBI, A. 1982. Evaluation du rendement des groupes motopompes dans les exploitations maraîchères de la région de Salé. Mémoire de fin d'étude, IAV Hassan II, option Génie Rural.

TAMEHMACHET, Z. 1988. Farm size and economic efficiency in a sample of Dryland farms in Morocco: a profit function approach. Master thesis, university of Lincoln Nebraska.

WHITE, K.B. Sr.; TAYLOR, S.E. 1995. Pumping low yielding wells with conventional submersible pumps. Ground-water-monitoring-and-remediation (USA). v. 15(4) p. 74-76.

WILDES, R. A. 1984. Irrigation with saline groundwater as a strategy for salinity control in the Shepparton region of northern Victoria. Victorian Dept. of Agriculture, Tatura (Australia). Irrigated Research Inst. P 255 – 264.

ZEMZAM, S. 2003. Stratégies d'utilisation conjuguée des eaux de surface et des eaux souterraines pour l'irrigation dans le périmètre irrigué du Tadla. . Mémoire de fin d'études, IAV Hassan II, option Génie Rural.

Annexes

LISTE DES ANNEXES

| | |
|---|-----|
| Annexe 1 : Fiche d'enquête..... | 127 |
| Annexe 2 : Evolution des volumes d'eau superficielle consommés au niveau des deux casiers. | 135 |
| Annexe 3 : Distribution de nombre de puits dans les CGR | 136 |
| Annexe 4 : Détail des autorisations de 1995 à 2003 | 136 |
| Annexe 5 : Caractéristiques des moteurs | 137 |
| Annexe 6 : Caractéristiques des pompes..... | 137 |
| Annexe 7 : Courbes caractéristiques des essais de pompage traitées par AQUITEST..... | 138 |
| Annexe 8 : Classification des eaux d'irrigation suivant leur salinité..... | 143 |
| Annexe 9 : Les valeurs approximatives de la perméabilité de divers terrains | 143 |
| Annexe 10 : Besoins en eau des cultures habituellement pratiquées dans les Doukkala..... | 144 |
| Annexe 11 : Tolérance des cultures à la salinité | 145 |
| Annexe 12 : Coût de l'utilisation conjuguée..... | 145 |
| Annexe 13 : Détail des charges des cultures | 153 |
| Annexe 14 : Tableau récapitulatif des charges globales par culture..... | 157 |

Annexe 1 : Fiche enquête

DATE

***** IDENTIFICATION DU SITE**

- CDA/CGR
- Douar
- Secondaire
- Tertiaire/antenne
- Coordonnées :
- Observations sur le site (Proximité d'un rejet urbain ou agro – industriel, autre puit....).....
-
-

***** IDENTIFICATION DE L'AGRICULTEUR**

- Nom et prénom
- AGE.....
- niveau scolaire et culturel
- trajectoire et projets de l'exploitation (pjs sérieux ou souhaits).....
-
-
- Activités de nature collective du chef d'exploitation ou d'un membre de l'exploitation (exemple membres d'une coopérative, d'une association, d'un club, syndicat, collectivité locale et rôle)
-
-
-

- possibilité de création d'une forme organisationnelle des exploitants des puits (face l'ORMVAD, ABHOR paiement prévu de l'eau....), quelle est votre point de vue avantages/inconvénients, conditions de réussite....
-
-
-

- Origine des informations agricoles (technicien de l'office, coopérative, voisins, famille, visites...)
-
-
-

- famille :
- Taille
- Constitution et niveau scolaire
-

.....
.....
Main d'œuvre ds l'exploitation
Revenus extérieurs (nature, part de sa contribution, comment l'exploitation s'appuie sur ces revenus)
.....
.....

*****ALIMENTATION EN EAU**

- Pourquoi le recours au pompage accidents/événements ou autres ?
.....
.....

- avantages et inconvénients des 2 sources?
.....
.....

- Utilisation conjuguée (Quelles formules et pour quelles raisons)
.....
.....

*****APPROVISIONNEMENT A PARTIR DE L'EAU DE BARRAGE**

- Durée /dotation
.....

- Débit/ fréquence.....
.....

- Prix unitaire et tarification appliquée
.....

- Observations (anomalies d'approvisionnement pdt 02/03 et 03/04)
.....
.....
.....

***** POMPAGE ET SCHEMA DE L'INSTALLATION:**

Dispositif de captage (puit,forage,puit forage) et choix.....
.....
.....

Date de creusement et d'exploitation.....
.....

Coût de creusement.....
.....

Profondeur et diamètre de dispositif.....
.....

Profondeur de l'eau (NP).....
.....

Date de construction de l'abri.....
.....

- Coût total de construction.....
.....

- Achat du matériel (tout entier ou séparément)
.....

- HMT (schéma de l'installation).....
.....

- Observations (pourquoi, sources d'informations/vulgarisation, Mesures administratives faites pour creuser et s'approvisionner):
.....
.....

-s'il y a des remarques sur le rabattement de la nappe (Avant et après irrigation- Évolution ds le temps).....
.....
.....

- Observations (anomalies et autres)

.....
.....
.....

Moteur

- Marque et type.....
- Date d'achat.....
- Prix d'achat.....
- Source et critères de choix

- Puissance.....
- nature de l'énergie
- Consommation en énergie(l/h et l/an)

- Prix de l'énergie (actuel et celui de l'année dernière DH/L ET DH/AN)/évolution

- remarques sur l'efficacité et son évolution

.....
.....

- Entretien et réparations (nature, fréquences, coûts....)

| Date (campagne 02/03) | Entretien ou réparation | Nature et fréquence | coûts | observations |
|-----------------------|-------------------------|---------------------|-------|--------------|
| | | | | |

- les travaux d'entretien et de réparations de l'année en cours

.....
.....

- Observations (autres indications)

.....
.....
.....

Pompe

Marque

Groupe de surface

type.....
 monobloc ou à accouplement
 Groupe immergé.....
 Moteur de surface ou immergé.....
 Groupe submersible.....
 Date d'achat.....
 Prix d'achat.....
 Source et critères de choix.....

 Débit
 Pression.....
 Nombre de pouces
 Nombre de turbines
 Remarques sur l'efficacité et son évolution.....

- Entretien et réparations (nature, fréquences, coûts....)

| Date (campagne 02/03) | Entretien ou réparation | Nature et fréquence | coûts | observations |
|-----------------------|-------------------------|---------------------|-------|--------------|
| | | | | |

- les travaux d'entretien et de réparations de l'année en cours

 - Observations (autres indications).....

Autre équipement

| matériel | Date/prix achat | caractéristiques | Entretien/réparation |
|----------|-----------------|------------------|----------------------|
| | | | |

Suggestions pour l'amélioration du système :

.....

***** INFORMATIONS RELATIVES A L'EXPLOITATION AGRICOLE :**

- Plan parcellaire (dos)

- Voir fiche/parcelle

- pourquoi et comment vous avez choisi une telle culture ?

.....
.....

- quelles sont les cultures prioritaires ?

.....
.....

- quelles sont les alternatives des betteraves ?

.....
.....

-évolution des rdts avant et après mise en pompage et pourquoi (impact sur le sol, présence de l'eau, indépendance...).

.....
.....

Fiche/parcelle pour l'année 02/03

Superficie :

Statut et prix de la terre.....

Culture pratiquée :

L'alimentation en eau :

- Source.....
- Schéma d'irrigation.....

(Autres détails sur l'architecture au dos)

- Réparations et entretien.....
- Nombre d'irrigations
- Nbre d'heures /irrigation

Les charges :

| nature | Prix unitaire | quantité | Prix total |
|---|---------------|----------|------------|
| -semences -fertilisation de fond de couverture -traitement phytosanitaire -main d'œuvre -les travaux mécanisés -entretien et réparations du matériel * irrigation * labour *semis *fertilisation *traitement phyt -autres à préciser | | | |
| total | | | |

Les recettes

Rendement
 Prix de vente

Observations

Fiche élevage

Inventaire du troupeau

| espèce | Acheté/né | observations |
|--------|-----------|--------------|
| | | |

Evolution du troupeau (campagne 02/03 et 03/04):

| esp | Achat/vente | prix | Qd, d'où, source ou destination du montant |
|-----|-------------|------|--|
| | | | |

Dépenses (campagne 02/03 et 03/04):

| esp | Alimentation Abreuvement Soin... | période | quantité | Prix unitaire | Prix total |
|------------|---|----------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|
| | | | | | |

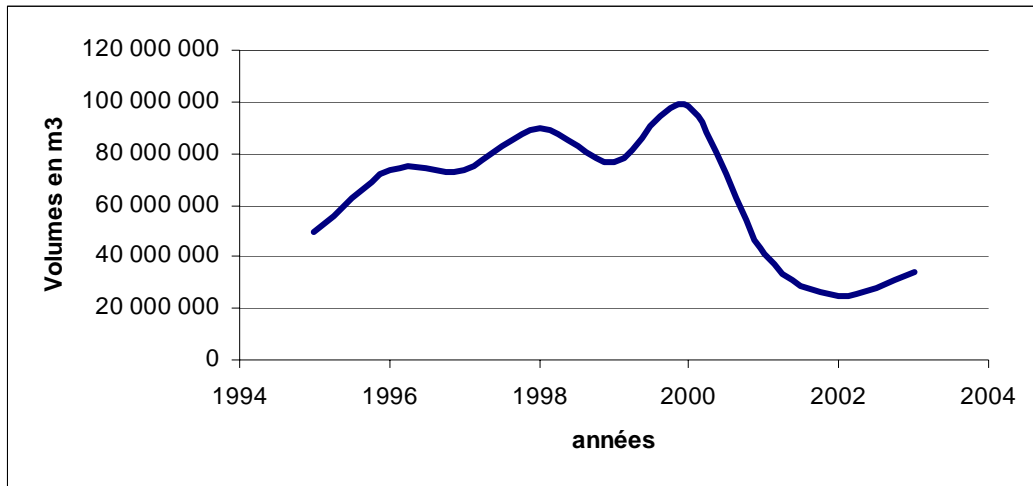
Production (campagne 02/03 et 03/04):

| esp | produit | Prix et devenir |
|------------|----------------|------------------------|
| | | |

Relation entre le pompage et l'exploitation de la nappe avec l'élevage (évolution de la production et pourquoi)

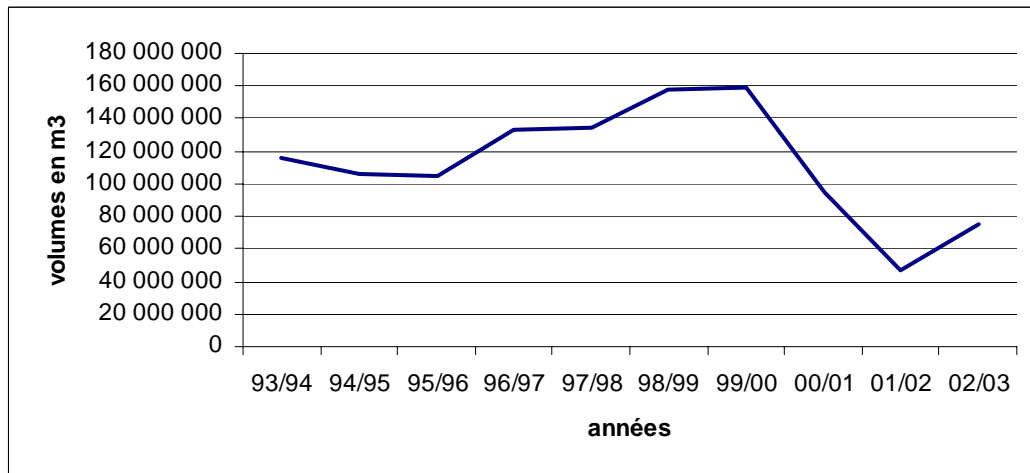
Annexe 2 : Evolution des volumes d'eaux superficielles consommés au niveau des deux casiers

FAREGH



Source :ORMVAD

SIDI BENNOUR



Source : ORMVAD

Annexe 3 : Distribution de nombre des puits dans les CGR

FAREGH

| | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| CGR | 310 | 311 | 312 | 332 | TOT |
| NBRE | 175 | 291 | 155 | 15 | 636 |

SIDI BENNOUR

| | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| CGR | 330 | 331 | 333 | 335 | 336 | 337 | 338 | TOT |
| NBRE | 66 | 40 | 13 | 25 | 19 | 84 | 17 | 264 |

Source : ORMVAD/AR

Annexe 4 : Détail des autorisations de 1995 à 2003

| | FAREGH | S.B | ZEMAMRA | GHARBIA | AOUNATE | Od OMRANE | TOT |
|--------------|--------|-----|---------|---------|---------|--------------|------------|
| 1995 | - | - | - | - | - | - | 146 |
| 1996 | - | - | - | - | - | - | 95 |
| 1997 | 16 | 11 | 7 | 2 | 3 | - | 39 |
| 1998 | 10 | 4 | 2 | - | 1 | 5 | 22 |
| 1999 | 19 | 1 | 11 | - | 5 | 1 | 37 |
| 2000 | 11 | 7 | 5 | - | 5 | 9 | 37 |
| 2001 | 8 | 8 | 4 | 1 | 3 | 7 | 31 |
| 2002 | 42 | 63 | 60 | - | 33 | 17 | 215 |
| 2003 | 6 | 9 | - | - | 1 | 2 | 18 |
| TOTAL | | | | | | | 640 |

Source : ORMVAD/SRU

Annexe 5 : Caractéristiques des moteurs

| | Marque | type | Nbre cylindres | Puissance CV | Vitesse Tr/min | Energie | Consommation | Date d'achat | Origine D'achat |
|----|----------|---------|----------------|--------------|----------------|-------------|--------------|--------------|-----------------|
| S1 | LISTER | Surface | 3 | 29.8 | 2000 | Gasoil | 3 l/h | 2001 | El Jadida |
| S2 | DEUTZ | Surface | 4 | 33..97 | 2500 | Gasoil | 3 l/h | 2000 | Sidi Bennour |
| S3 | LISTER | Surface | 1 | 17.4 | 2000 | Gasoil | 3 l/h | 1995 | Sidi Bennour |
| S4 | GRUNDFOS | Immergé | --- | 18 | 3000 | Electricité | 10 kWh | 2001 | CASA |
| S5 | DEUTZ | Surface | 4 | Type S1 | ----- | Gasoil | 4 l/h | 2002 | Ferraille |
| F1 | ASSAD | Surface | 1 | 8 | 1500 | Gasoil | 1.5 l/h | 2001 | Had Od Frej |
| F2 | GRUNDFOS | immergé | --- | 10 | ----- | Electricité | 10 kWh | 2003 | France |
| F3 | DEUTZ | Surface | 2 | 27.5 | 2100 | Gasoil | 2.5 l/h | 2002 | Ferraille |
| F4 | FIAT | Surface | 4 | 9 | ----- | Butane | 4.33 kg/h | 2001 | Ferraille |
| F5 | FORD | Surface | 4 | NI | ----- | Gasoil | 5 l/h | 1995 | Ferraille |
| F6 | FORD | surface | 4 | NI | ----- | gasoil | 5 l/h | 1994 | ferraille |

Source: enquête

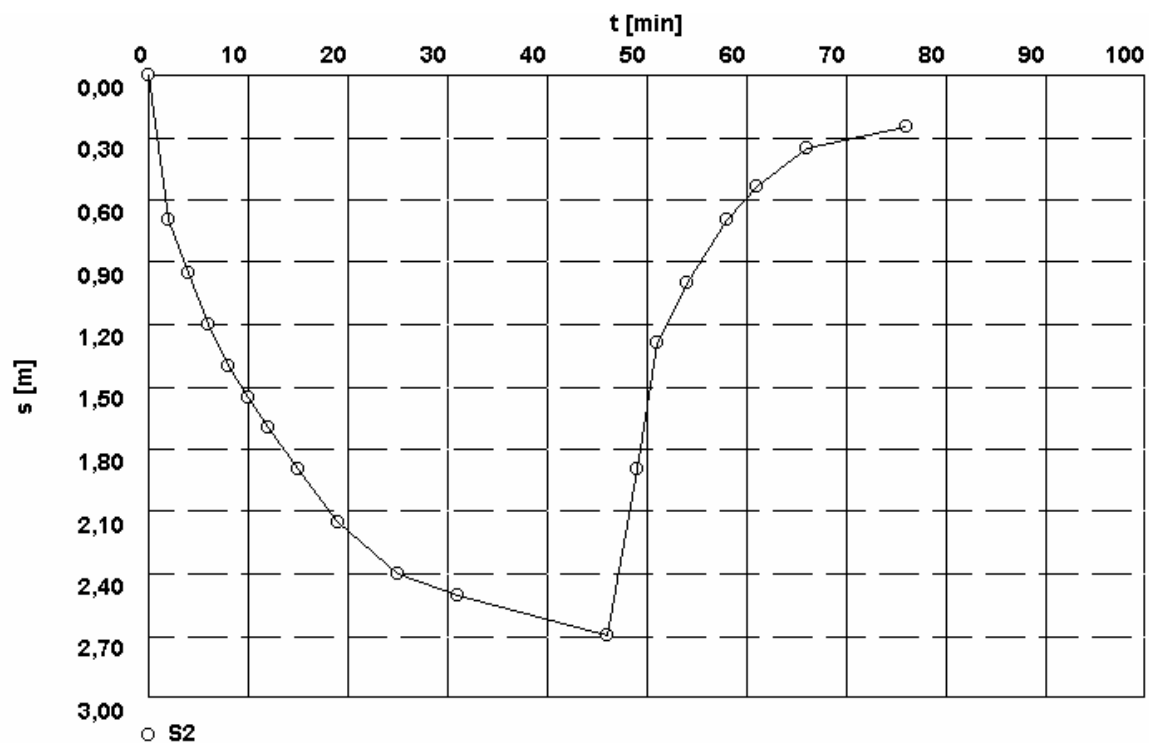
Annexe 6 : Caractéristiques des pompes

| | POMPE | | | | | | | | Groupe |
|----|----------|----------------|--------|---------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|------------|
| | Marque | type | Q l/s | Conduites (m) | Turbines /Roues | Nombre pouces | Date d'achat | Origine Achat | Mode achat |
| S1 | ALEXYS | À axe Vertical | 9 | 12 x 2.5 | --- | 3" | 2001 | El Jadida | Entier |
| S2 | NEMETSAS | À axe Vertical | 15.39 | 12 x 2.5 | 6 | 3.5" | 2000 | S.B | Séparé |
| S3 | ALTA | À axe Vertical | 8.24 | 12 x 2.5 | 5 | 3.5" | 1995 | S.B | Entier |
| S4 | GRUNDFOS | Immergée | 12 | 6 x 6.3 | 7 | 3" | 2001 | CASA | Entier |
| S5 | NEMETSAS | À axe Vertical | 19.176 | 16 x 2.5 | 8 | 5.5" | 2002 | SB | Séparé |
| F1 | NEMETSAS | À axe Vertical | 7.78 | 9 x 2.5 | 4 | 3" | 2001 | HOF | Séparé |
| F2 | GRUNDFOS | immergée | 16.67 | | 9 | 3" | 2003 | France | Entier |
| F3 | NEMETSAS | À axe Vertical | 11.46 | 15 x 2.5 | 7 | 3.5" | 2001 | CASA | Séparé |
| F4 | NEMETSAS | À axe Vertical | 11 | 17 x 2.5 | 7 | 3.5" | 2003 | HOF | Séparé |
| F5 | ALTA | À axe Vertical | 3.89 | 14 x 2.5 | 5 | 3.5" | 1995 | HOF | Séparé |
| F6 | ALTA | À axe Vertical | 8 | 18 x 2.5 | 7 | 3" | 1999 | HOF | Séparé |

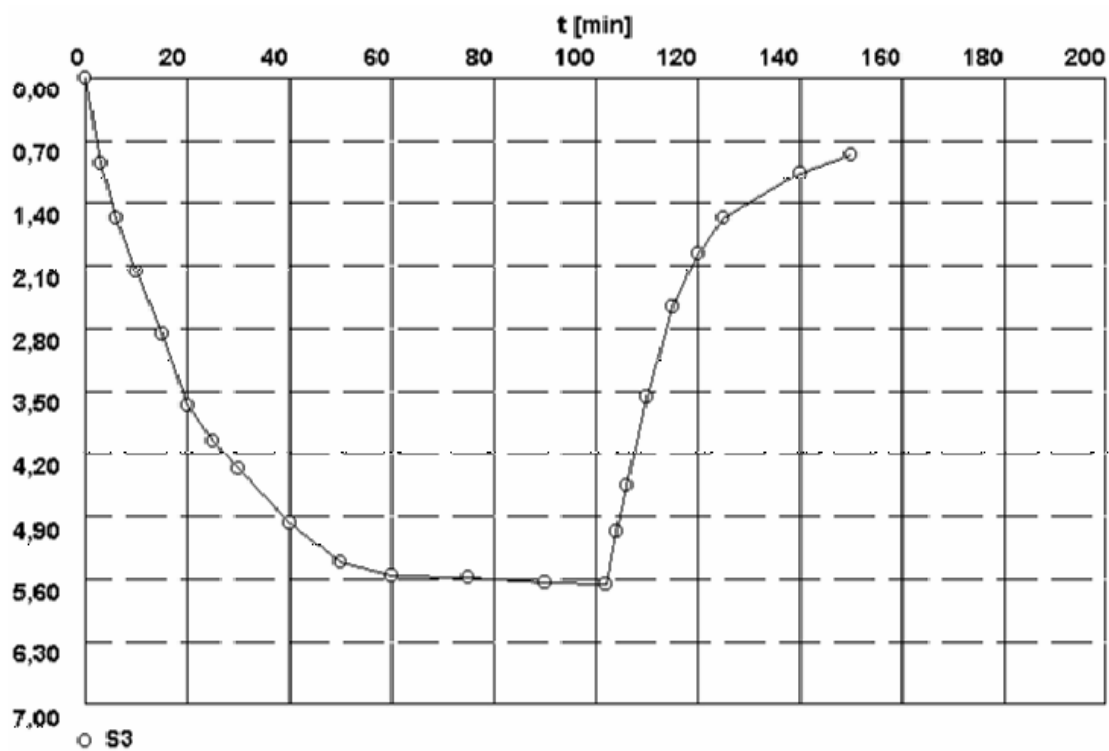
Source : Enquête

Annexe 7 : Courbes caractéristiques des essais de pompage traitées par AQUITEST

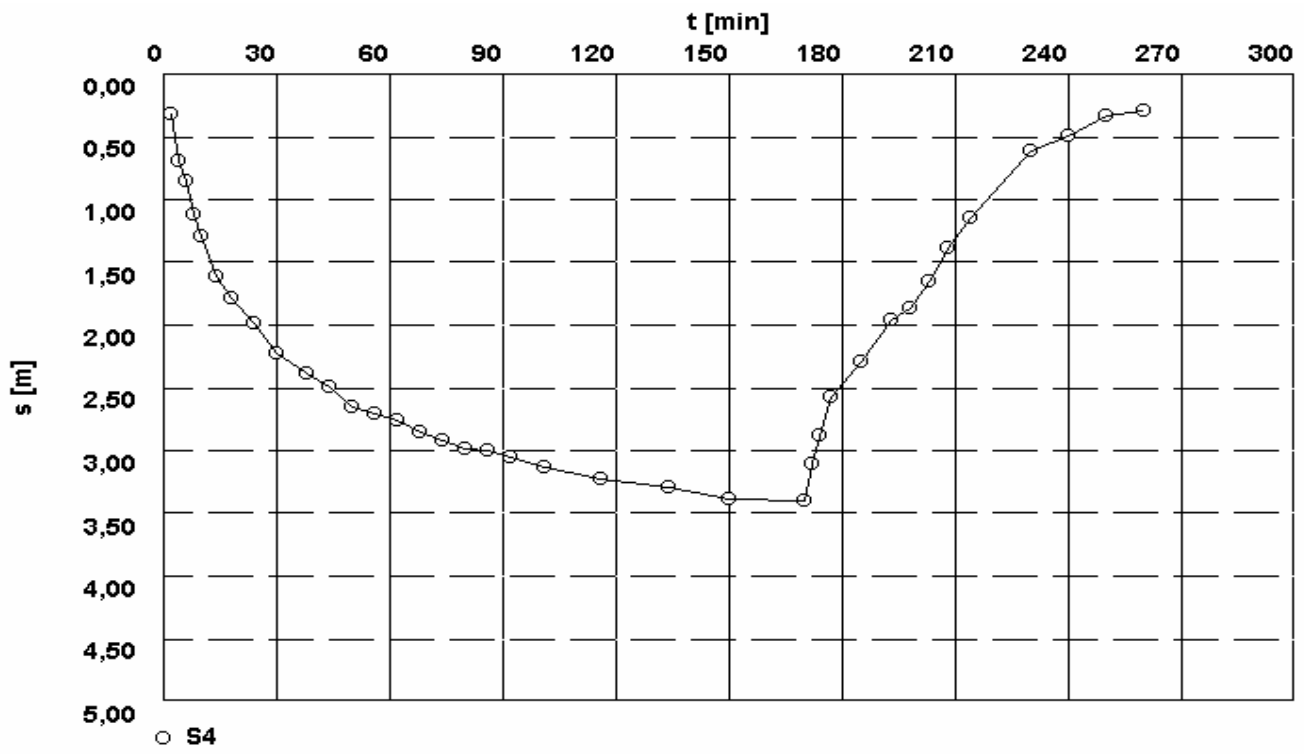
PUIT FORAGE S2



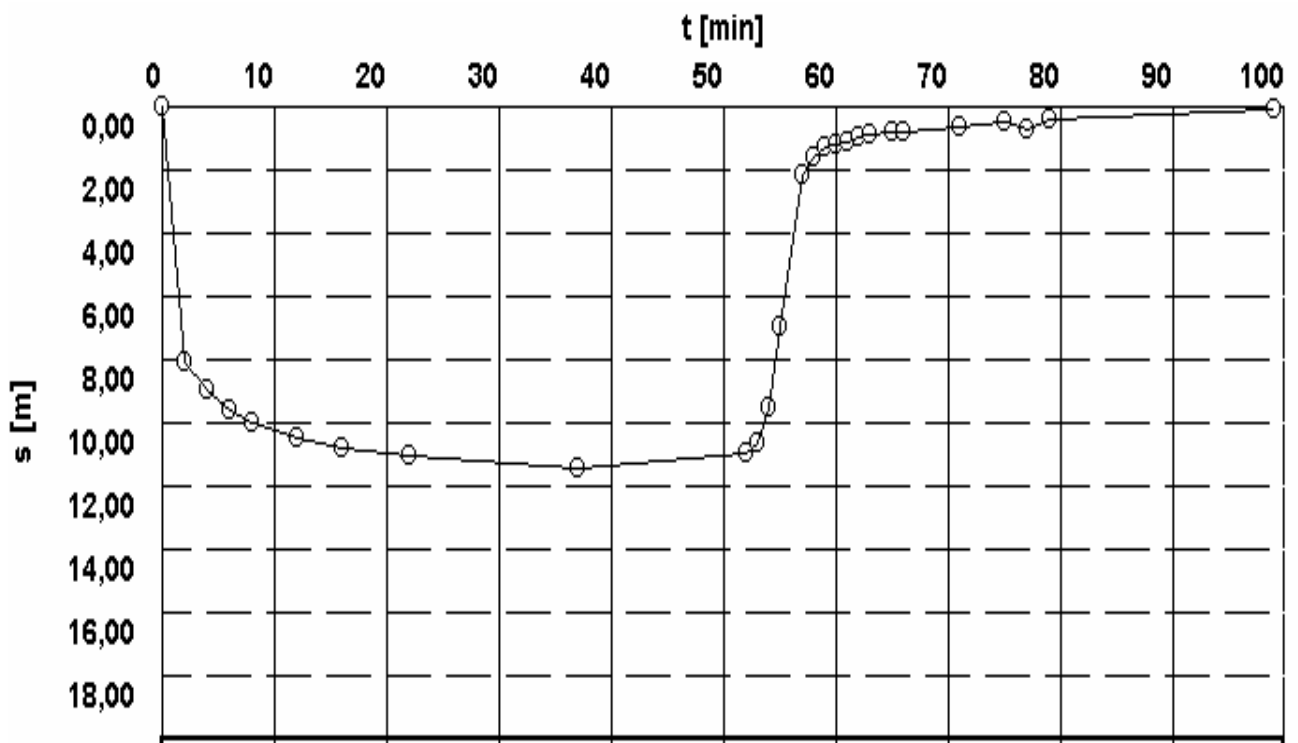
PUIT S3



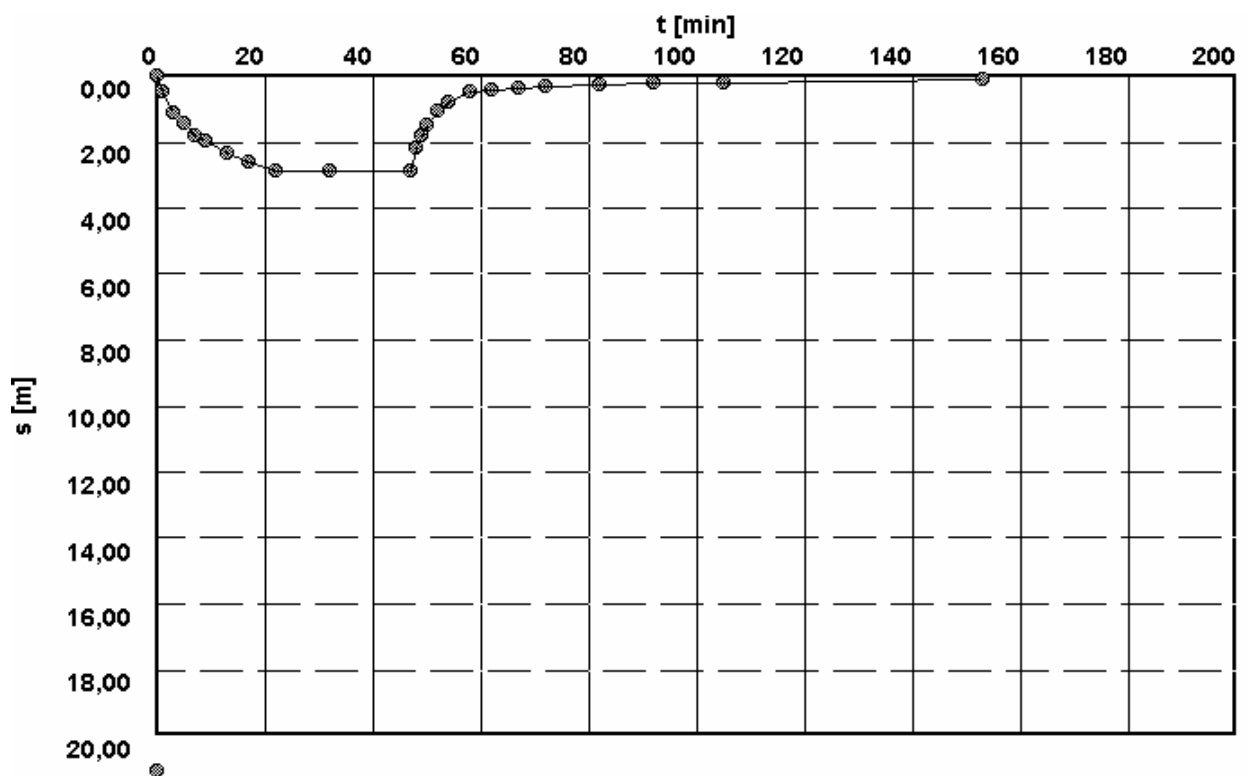
PUIT FORAGE S4



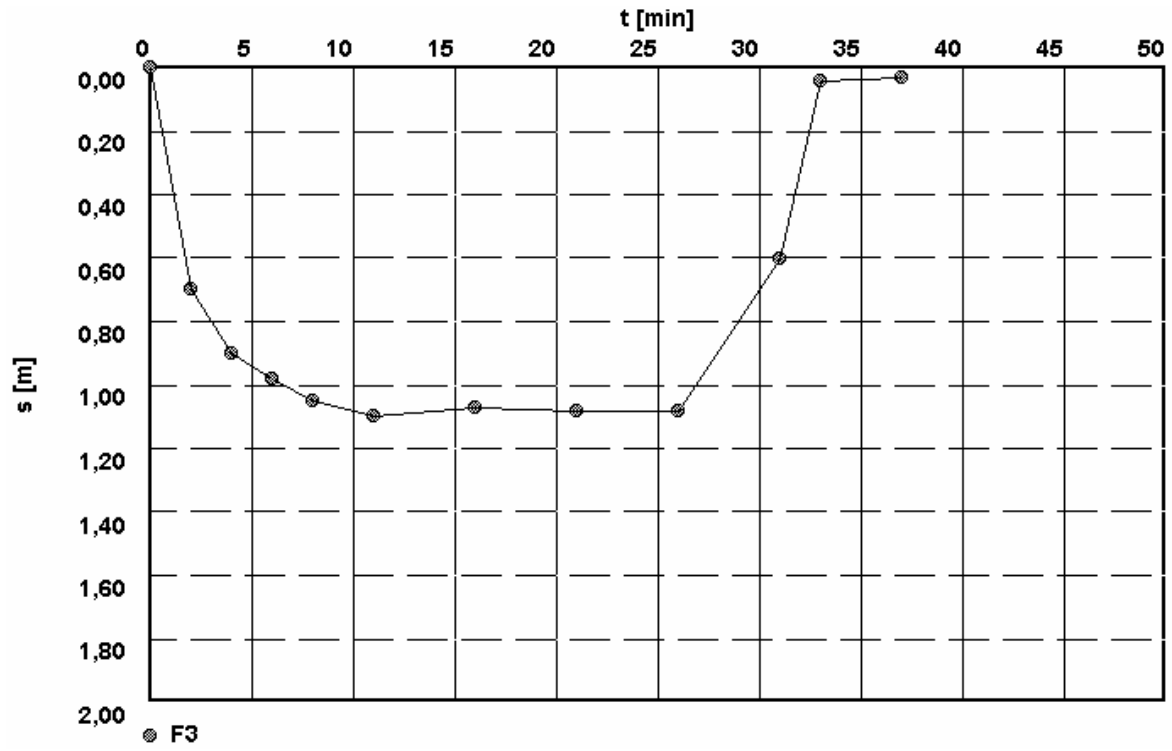
PUIT FORAGE F1



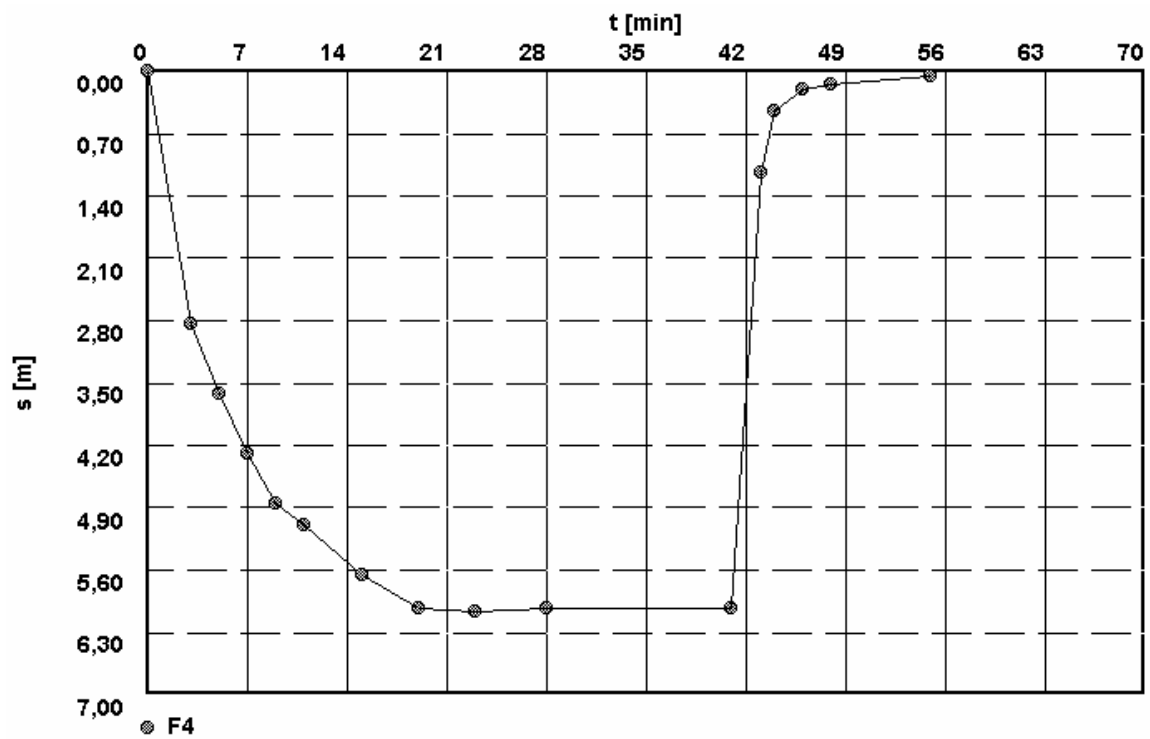
PUIT FORAGE F2



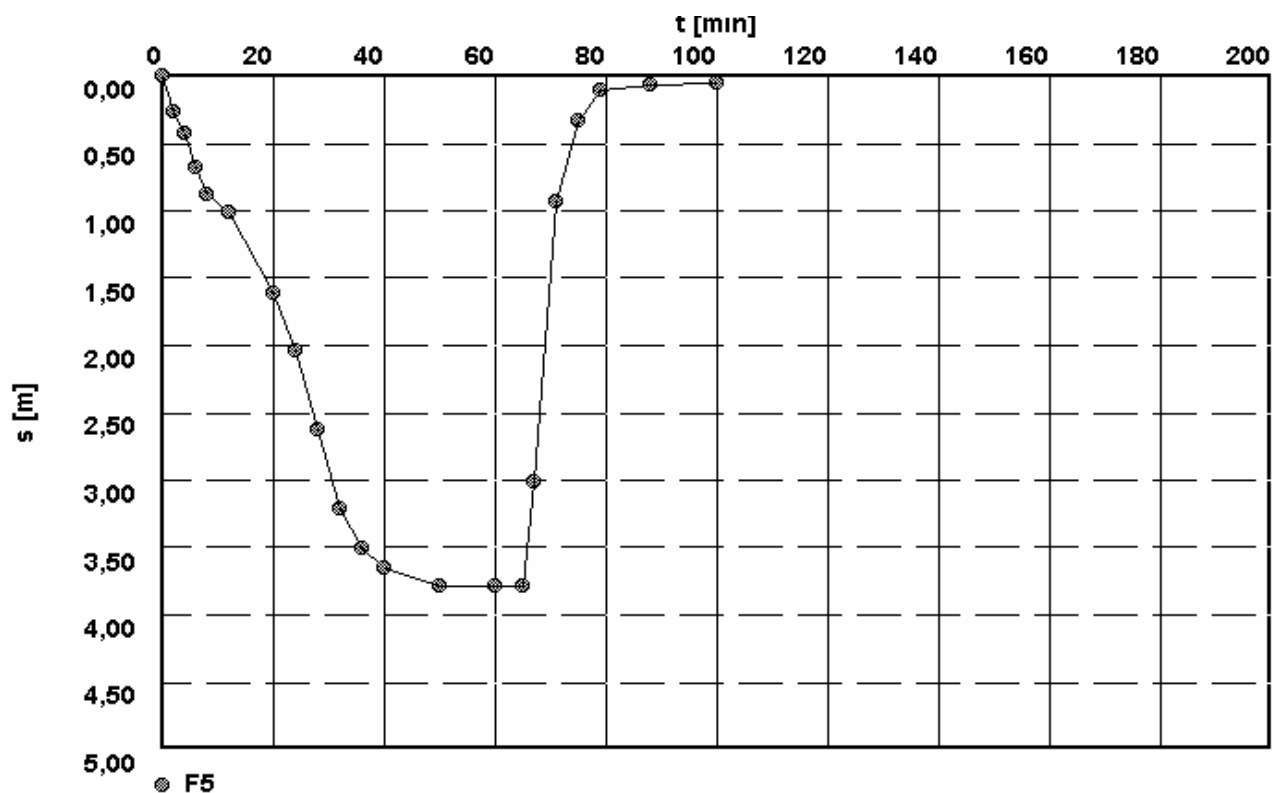
FORAGE F3



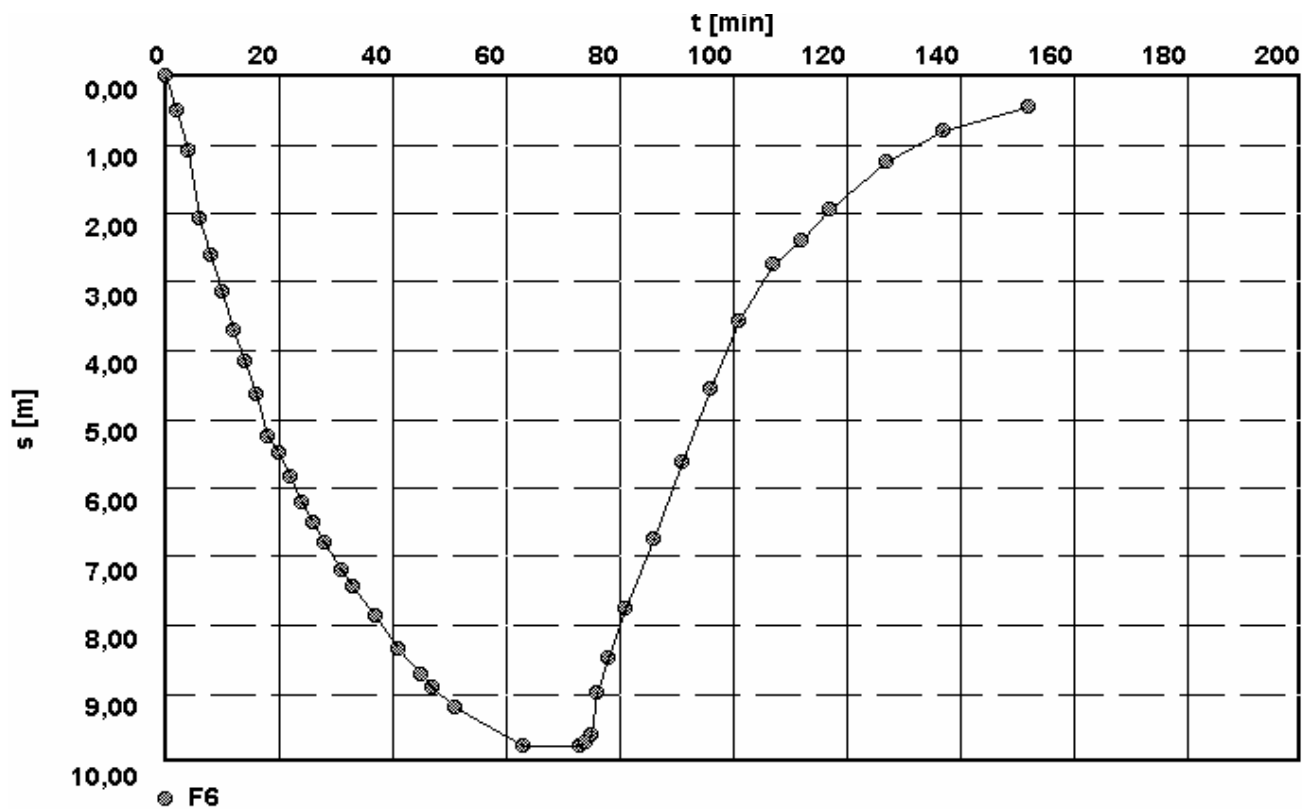
FORAGE F4



PUIT F5



PUIT FORAGE F6



Annexe 8 : Classification des eaux d'irrigation suivant leur salinité

| Classe | CE (ms/cm) | Qualification | Commentaire |
|--------|-------------|-----------------------|--|
| C1 | 0 - 0.25 | Faiblement salées | Utilisées sans aucun danger. |
| C2 | 0.25 - 0.75 | Moyennement salées | Utilisées s'il se produit un lessivage modéré. Les plantes cultivées doivent avoir une résistance modérée. |
| C3 | 0.75 - 2.25 | Fortement salées | Nécessité de drainage Les plantes cultivées doivent avoir une forte résistance aux sels. |
| C4 | > 2.25 | Très fortement salées | Ne sont utilisées que pour de sols perméables et bien drainés et des cultures très résistantes au sel |

Source : Rapport de la commission relatif à l'étude de zones touchées par la salinité (D'après le diagramme de Durand, 1983)

Annexe 9 : Les valeurs approximatives de la perméabilité de divers terrains selon G. CASTANY

| Perméabilité (cm/s) | 10^2 | 10 | 10^{-3} | 10^{-7} | 10^{-8} |
|---------------------|---|--|---|-------------------|-----------|
| Terrain | Galets Graviers Gravillons Dépourvus d'éléments fins | Sables purs Sables et graviers dépourvus d'éléments fins | Sables très fins Silt et mélanges de sable et d'argile | Argiles homogènes | |
| Qualification | Très perméables | perméables | Peu perméables | impermeables | |

Source : MABILLOT, A. 1988

Annexe 10 :

Besoins en eau des cultures habituellement pratiquées dans le périmètre des Doukkala

| | sept | oct | nov | dec | jan | fev | mar | avr | mai | juin | juill | aout | B en mm | B en m3/ha |
|---------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|------|---------|---------------|
| Blés | - | - | 22 | 19 | 23 | 46 | 103 | 71 | - | - | - | - | 284 | 2 844 |
| Betterave | - | 42 | 37 | 28 | 32 | 49 | 103 | 110 | 108 | 92 | | - | 602 | 6 022 |
| Luzerne | 138 | 105 | 74 | 47 | 46 | 66 | 98 | 110 | 124 | 142 | 166 | 154 | 1 270 | 12 703 |
| Bersim | 100 | 100 | 50 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | - | - | - | - | 350 | 3 500 |
| Maraîchage d'hiver | - | 42 | 52 | 50 | 39 | 49 | 68 | - | - | - | - | - | 301 | 3 006 |
| Arboriculture | 55 | 42 | 30 | 19 | 19 | 26 | 39 | 44 | 50 | 57 | 66 | 62 | 508 | 5 081 |
| Fourrage d'été | - | - | - | - | - | - | - | 33 | 87 | 142 | 125 | 77 | 464 | 4 638 |
| Maraîchage d'été | - | - | - | - | - | - | - | 44 | 87 | 149 | 133 | - | 413 | 4 130 |
| Mais | - | - | - | - | - | - | - | 33 | 87 | 149 | 133 | 85 | 487 | 4 870 |
| Coton | - | - | - | - | - | - | - | 44 | 87 | 149 | 133 | 100 | 513 | 5 134 |
| Tabac | - | - | - | - | - | 20 | 68 | 88 | 124 | 128 | 133 | 116 | 677 | 6 769 |
| Tournesol | - | - | - | - | - | - | - | 33 | 87 | 149 | 116 | 54 | 439 | 4 395 |
| Soja | - | - | - | - | - | - | - | 33 | 87 | 142 | 116 | 108 | 486 | 4 864 |

Source : ORMVAD

Annexe 11 : Tolérance des cultures à la salinité

| | CE 25°C en mmhos/cm pour une baisse de rendement à prévoir de | | | | |
|--------------------------|---|-----|-----|-----|------|
| | 0% | 10% | 25% | 50% | MAX |
| Betterave sucrière | 4,7 | 5,8 | 7,5 | 10 | 24 |
| Luzerne | 1,3 | 2,2 | 3,6 | 5,9 | 15,5 |
| Bersim | 1,7 | 2,3 | 3,4 | 5 | 12,5 |
| Blés | 1,1 | 1,7 | 2,5 | 3,9 | 10 |
| Mais fourrages | 1,1 | 1,7 | 2,5 | 3,9 | 10 |
| Mais de pleins champs | 1 | 2,1 | 3,9 | 6,8 | 19 |
| Pommes de terre | 4 | 4,9 | 6,4 | 8,7 | 20 |
| tomates | 1,2 | 2,1 | 3,5 | 5,7 | 15,5 |

Source :

Extrait des Données communiquées par Maas et Holfman (1977) ; Bernestein (1964) et le comité de consultants de l'université de Californie (1974)

Annexe 12 : Coût de l'utilisation conjuguée

| | Eau de surface | | | Eau souterraine | | | Charges Totales (1)+ (2) |
|-----------|---|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------|
| | Volume Consommé En m ³ | Prix Unitaire DH/m ³ | Charges Totales (1) DH | Volume pompé En m ³ | Coût de pompage DH/m ³ | Charges Totales (2) DH | |
| S1 | - | 0.47 | - | 5 832 | 1,55 | 9 040 | - |
| S2 | 21 600 | 0.21 | 4 536 | 26 865 | 0,43 | 11 552 | 16 088 |
| S3 | 33 048 | 0.21 | 6 940 | 2 966 | 6,21 | 18 421 | 25 361 |
| S4 | 23 774 | 0.28 | 6 657 | 3 110 | 2,44 | 7 589 | 14 246 |
| S5 | 82 512 | 0.28 | 23 103 | 47 744 | 0,66 | 31 511 | 54 614 |
| F1 | 9420* | 0.21 | 1 978 | 1 008 | 5,54 | 5 586 | 7 564 |
| F2 | 3602* | 0.21 | 756 | 2 761 | 4,31 | 11 898 | 12 654 |
| F3 | 24 249 | 0.41 | 9 942 | 28 032 | - | - | - |
| F4 | 69282 | 0.41 | 28 406 | 56 786 | 0,53 | 30 097 | 58 502 |
| F5 | 101 729 | 0.44 | 44 761 | 26 731 | 2,28 | 60 946 | 105 706 |

Source : enquête

Annexe 13 : Détail des charges des cultures

BETTERAVE A SUCRE

| N° | Eaux de surface | | | Eaux souterraines | | | Charges De l'eau (1)+ (2) DH | Main - d'œuvre liée à L'irrigation | Charges totales de l'irrigation DH | charges de production | | |
|----|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|------|----------|
| | Volume consommé En m ³ | Prix unitaire DH/m ³ | Charges (1) DH | Volume pompé En m ³ | Coût de pompage DH/m ³ | Charges (2) DH | | | | charges/ha | SAU | TOTAL |
| | | | | | | | | | | | | |
| S1 | 3513,60 | 0,47 | 1651,39 | 0,00 | 1,55 | 0,00 | 1651,39 | 140,00 | 1791,39 | 40470,00 | 0,40 | 16188,00 |
| S2 | 15552,00 | 0,21 | 3265,92 | 9450,86 | 0,43 | 4063,87 | 7329,79 | 840,00 | 8169,79 | 32599,00 | 2,40 | 78237,60 |
| S3 | 13219,20 | 0,21 | 2776,03 | 332,27 | 6,21 | 2063,41 | 4839,45 | 595,00 | 5434,45 | 10660,00 | 1,70 | 18122,00 |
| S5 | 13806,55 | 0,28 | 3865,83 | 3975,94 | 0,66 | 2624,12 | 6489,95 | 1750,00 | 8239,95 | 12455,00 | 7,00 | 87185,00 |
| F1 | 4320,00 | 0,21 | 907,20 | 782,29 | 5,54 | 4333,91 | 5241,11 | 250,00 | 5491,11 | 8830,00 | 1,00 | 8830,00 |
| F4 | 13536,00 | 0,41 | 5549,76 | 2251,20 | 0,53 | 1193,13 | 6742,89 | 1200,00 | 7942,89 | 11450,00 | 4,00 | 45800,00 |

LUZERNE

| N° | Eaux de surface | | | Eaux souterraines | | | Charges d'eau (1)+ (2) DH | Main - d'œuvre liée à L'irrigation | Charges totales de l'irrigation DH | charges de production | | |
|----|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|------|----------|
| | Volume consommé En m ³ | Prix unitaire DH/m ³ | Charges (1) DH | Volume pompé En m ³ | Coût de pompage DH/m ³ | Charges (2) DH | | | | charges/ha | SAU | TOTAL |
| | | | | | | | | | | | | |
| S2 | 10368,00 | 0,21 | 2177,28 | 3322,04 | 0,43 | 1428,48 | 3605,76 | 300,00 | 3905,76 | 3387,50 | 1,20 | 3387,50 |
| S3 | 6609,60 | 0,21 | 1388,02 | 207,71 | 6,21 | 1289,87 | 2677,89 | 297,50 | 2975,39 | 2507,50 | 0,85 | 2131,38 |
| S4 | 27086,40 | 0,28 | 7584,19 | 2282,26 | 2,44 | 5568,70 | 13152,90 | 2310,00 | 15462,90 | 4432,00 | 6,60 | 29251,20 |
| S5 | 21600,00 | 0,28 | 6048,00 | 11362,10 | 0,66 | 7498,98 | 13546,98 | 2800,00 | 16346,98 | 4432** | 8,00 | 35456,00 |
| F2 | 2808,00 | 0,21 | 589,68 | 2760,55 | 4,31 | 11897,95 | 12487,63 | 500,00 | 12987,63 | 9850* | 1,00 | 9850,00 |

BERSIM

| N° | Eaux de surface | | | Eaux souterraines | | | Charges d'eau (1)+ (2) DH | Main - d'œuvre liée à L'irrigation | Charges totales de l'irrigation DH | charges de production | | |
|-----------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|------|----------|
| | Volume consommé En m ³ | Prix unitaire DH/m ³ | Charges (1) DH | Volume pompé En m ³ | Coût de pompage DH/m ³ | Charges (2) DH | | | | charges/ha | SAU | TOTAL |
| | | | | | | | | | | | | |
| S3 | 13219,20 | 0,21 | 2776,03 | 3322,42 | 6,21 | 20632,22 | 23408,25 | 425,00 | 23833,25 | 9565,00 | 1,70 | 16260,50 |
| S5 | 21988,80 | 0,28 | 6156,86 | 5783,28 | 0,66 | 3816,97 | 9973,83 | 1272,50 | 11246,33 | 4770,00 | 5,09 | 24260,22 |

BLE DUR

| N° | Eaux de surface | | | Eaux souterraines | | | Charges d'eau (1)+ (2) DH | Main - d'œuvre liée à L'irrigation | Charges totales de l'irrigation DH | charges de production | | |
|-----------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|------|----------|
| | Volume consommé En m ³ | Prix unitaire DH/m ³ | Charges (1) DH | Volume pompé En m ³ | Coût de pompage DH/m ³ | Charges (2) DH | | | | charges/ha | SAU | TOTAL |
| | | | | | | | | | | | | |
| S3 | 0,00 | 0,21 | 0,00 | 3026,00 | 6,21 | 18791,46 | 18791,46 | 212,50 | 19003,96 | 6605,00 | 4,25 | 28071,25 |
| F1 | 691,20 | 0,21 | 145,15 | 226,00 | 5,54 | 1252,02 | 1397,17 | 40,00 | 1437,17 | 4430,00 | 0,80 | 3544,00 |
| F2 | 7484,40 | 0,21 | 1571,72 | 0,00 | 4,31 | 0,00 | 1571,72 | 315,00 | 1886,72 | 6625,00 | 3,15 | 20868,75 |
| F4 | 0,00 | 0,41 | 0,00 | 1857,24 | 0,53 | 984,34 | 984,34 | 198,00 | 1182,34 | 5000,00 | 3,96 | 19800,00 |

BLE TENDRE

| N° | Eaux de surface | | | Eaux souterraines | | | Charges d'eau (1)+ (2) DH | Main - d'œuvre liée à L'irrigation | Charges totales de l'irrigation DH | charges de production | | |
|----|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-------|----------|
| | Volume consommé En m ³ | Prix unitaire DH/m ³ | Charges (1) DH | Volume pompé En m ³ | Coût de pompage DH/m ³ | Charges (2) DH | | | | charges/ha | SAU | TOTAL |
| | | | | | | | | | | | | |
| S5 | 12733,20 | 0,28 | 3565,30 | 8035,37 | 0,66 | 5303,34 | 2551,78 | 1768,50 | 4320,28 | 6035,00 | 11,79 | 71152,65 |
| F3 | 5474,22 | 0,41 | 2244,43 | 0,00 | ----- | ----- | 1458,88 | 315,00 | 1773,88 | 4700,00 | 6,30 | 29610,00 |
| F4 | 17962,56 | 0,41 | 7364,65 | 18910,04 | 0,53 | 10022,32 | 6343,78 | 3528,00 | 9871,78 | 5805,00 | 10,08 | 58514,40 |

LES CULTURES D'ETE

| culture | N° | Eau de surface | | | Eau souterraine | | | Charges d'eau 1+2 | M.O Liée à l'irrigation | Charges totales de l'irrigation | Charges de production | | |
|-----------|----|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------|------|-----------|
| | | Volume consommé En m ³ | Prix unitaire DH/m ³ | Charges (1) DH | Volume pompé En m ³ | Coût de pompage DH/m ³ | Charges (2) DH | | | | charges/ha | SAU | TOTAL |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Tomates | S1 | 0,00 | 0,47 | 0,00 | 1309,09 | 1,55 | 2029,09 | 2029,09 | 300,00 | 2329,09 | 36250,00 | 0,20 | 7250,00 |
| | S2 | 0,00 | 0,21 | 0,00 | 4127,43 | 0,43 | 1774,80 | 1774,80 | 250,00 | 2024,80 | 54000,00 | 0,40 | 21600,00 |
| courgette | S1 | 0,00 | 0,47 | 0,00 | 906,02 | 1,55 | 1404,33 | 1404,33 | 200,00 | 1604,33 | 21833,33 | 0,15 | 3275,00 |
| MF | S1 | 0,00 | 0,47 | 0,00 | 1472,72 | 1,55 | 2282,72 | 2282,72 | 300,00 | 2582,72 | 5010,00 | 0,30 | 16700,00 |
| | S2 | 0,00 | 0,21 | 0,00 | 3221,41 | 0,43 | 1385,21 | 1385,21 | 250,00 | 1635,21 | 7946,25 | 0,50 | 3973,13 |
| | S3 | 0,00 | 0,21 | 0,00 | 8802,12 | 6,21 | 54661,15 | 54661,15 | 850,00 | 55511,15 | 7946,25 | 3,40 | 27017,25 |
| | S5 | 7069,09 | 0,28 | 1979,35 | 18586,95 | 0,66 | 12267,38 | 14246,73 | 750,00 | 14996,73 | 4432,00 | 3,00 | 13296,00 |
| ME | S2 | 0,00 | 0,21 | 0,00 | 3221,41 | 0,43 | 1385,21 | 1385,21 | 250,00 | 1635,21 | 8846,25 | 0,50 | 4423,13 |
| PDT | F4 | 0,00 | 0,41 | 0,00 | 33767,93 | 0,53 | 17897,00 | 17897,00 | 1500,00 | 19397,00 | 19940,00 | 6,00 | 119640,00 |

Annexe 14 : Tableau récapitulatif des charges globales par culture et par agriculteur

| N° | BETTERAVES | LUZERNE | BERSIM | BLE DUR | BLE TENDRE | TOMATES | COURGETTES | MAIS FOURRAGES | MAIS ENSILAGE | POMME DE TERRE HS | PDT POMME DE TERRE DS | TOTAL |
|-----------|------------|-------------|--------|---------|------------|---------|------------|-------------------|------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------|
| S2 | 86407 | 7293 | 16765 | 4617 | ----- | 23625 | ----- | 5608 | 6058 | ----- | ----- | 150374 |
| S5 | 95425 | 51803 | 35507 | ----- | 75473 | ----- | ----- | 28293 | ----- | ----- | ----- | 286500 |
| F1 | 14321 | ----- -- | ----- | 4981 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 19302 |
| F2 | ----- | 22838 | ----- | 22755 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 45593 |
| F4 | 53743 | ----- - | ----- | 209824 | 68386 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 139037 | 282148 |

Source : Enquête