



**UNIVERSITE MONTPELLIER I**  
**FACULTE DES SCIENCES ECONOMIQUES**  
(Année Universitaire 2006-2007)

## *Thèse*

Présentée pour obtenir le titre de  
**Docteur de l'Université Montpellier I**

**Comportement des producteurs agricoles et efficacité d'usage  
de la ressource en eau : Cas des périmètres irrigués de  
la région de Sidi Bouzid en semi aride Tunisien**

*Par*  
**Fraj Chemak**

### *Jury*

**M. Jean-Marie BOISSON**

**Mme Florence JACQUET**

**M. Jean-Philippe BOUSSEMART**

**M. Mongi BOUGHZALA**

**M. Walter BRIEC**

Professeur à l'Université Montpellier I

Directeur de recherche à l'INRA Paris-Grignon

Professeur à l'Université Lille III

Professeur à l'Université Tunis El Manar

Maître de conférences à l'Université de Perpignan

**Président**

**Directeur**

**Rapporteur**

**Rapporteur**

**Examinateur**

Formation doctorale : Economie de développement agricole, agro-alimentaire et rural  
Groupe des disciplines Sciences Economiques du CNU (section 05)

B.U. MONTPELLIER - DROIT



0MPD0228624





**L'Université n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses : Ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs**



# Dédicaces

*A mon père*

*A ma mère*

*Pour leur amour et leurs bénédictions incessantes*

*A mon épouse Sabiha, pour ses sacrifices, sa patience et son soutien qu'elle m'a prodigué  
durant une dizaine d'années.*

*A mes fils Mohamed et Ramy pour leur amour et leur patience*

*A l'âme de mon beau père Salem pour son soutien inoubliable*



Un grand hommage est adressé à notre cher regrettable

Défunt,

le professeur Robert ROMAIN

de l'Université Laval - Canada -

décédé le 16 Mars 2007

qu'il trouve ici ma réponse à ses dernières lignes qu'il m'a  
postées trois jours avant de nous quitter

Bonjour F. Raj,

Je vous transmette une copie  
de la Revue canadienne d'études  
sur le Développement ainsi que les  
reimpressions.

Bonne chance pour la défense  
de votre thèse de doctorat ainsi  
que dans votre carrière de chercheur  
qui débute. J'aurais bien aimé faire  
partie de votre comité de lecture mais  
la vie on a décidé autrement.

Meilleures salutations à vous-  
même ainsi qu'à votre famille.

Robert Romain





## Résumé

Menacée par le développement économique et social, l'eau est un bien de plus en plus rare. Particulièrement concernée, la Tunisie a réussi une politique de gestion de l'offre pour répondre aux différents besoins et notamment à celui du secteur de l'agriculture irriguée qui est le gros consommateur avec 83% de la demande totale. Aujourd'hui cette politique atteint ses limites en réalisant un taux de mobilisation de 87%. Désormais les efforts devraient se tourner vers la gestion de la demande. Comprendre les stratégies des irrigants et identifier les paramètres de maîtrise des technologies de production constituent des éléments fondamentaux pour modifier les consommations du secteur irrigué sans pour autant compromettre les objectifs de production. Dans cette perspective, nous avons analysé les performances de l'activité en irrigué dans la région de Sidi Bouzid. Nous avons réalisé des enquêtes auprès d'un échantillon d'exploitations des périmètres publics et privés. En analysant les systèmes de production de ces exploitations nous avons pu mettre en évidence une relation fonctionnelle appropriée. L'application de l'approche Data Envelopment Analysis (DEA) nous a permis de mesurer l'efficacité technique et allocative. Ainsi nous avons révélé une inefficacité technique d'usage des facteurs de production. L'efficacité moyenne d'usage de la ressource en eau n'atteint que 68%. La comparaison entre les systèmes de production révèle un gaspillage de la ressource plus important chez les exploitations des périmètres privés que celles des périmètres publics. Ainsi la stratégie de création de puits de surface, comme deuxième source d'irrigation, se révèle être à l'encontre d'un usage durable d'une nappe phréatique déjà surexploitée. Mais en analysant les mesures d'efficacité allocative, cette stratégie s'explique. En effet, la rentabilité d'une activité, basée sur l'irrigation à partir de puits de surface, semble beaucoup plus intéressante que celle réalisée à partir d'irrigation publique. L'efficacité allocative moyenne des exploitations des périmètres privés atteint 73% contre seulement 53% pour celles des périmètres publics. La pratique de cultures maraîchères est un facteur déterminant de cette rentabilité. Nous montrons par ailleurs que la structure foncière (superficie et nombre de parcelle) et l'intensification du facteur terre affectent négativement l'efficacité technique. Ainsi, une stratégie d'intervention visant une réorganisation foncière pourrait optimiser les performances et réduire le gaspillage de la ressource en eau.

**Mots-clés :** Périmètre irrigué, système de production, économie de l'eau, gestion de l'irrigation, efficacité technique, efficacité allocative, Data Envelopment Analysis (DEA)

## **Behaviour of Farmers and water use efficiency in Tunisian Semi-Arid Region: The case of Sidi Bouzid irrigated area**

### **Abstract**

Threatened by the economic and social development, water is an increasingly rare good. More than ever concerned, Tunisia achieved a successfully water supply management policy in order to meet different needs, particularly the irrigated agriculture sector, which is the largest water consumer with about 83% of the total demand. Today, this policy reached its limits with a mobilization rate of 87%. Hence, efforts should target to the demand management. Understanding farmer's strategies and identifying the parameters controlling production technologies are the fundamental elements to modify the consumption of irrigated sector without compromising production objectives. In this regard, the objective of this investigation is to analyze the performance of irrigated farms in the region of Sidi Bouzid. First, farm's survey was carried out in both public and private irrigated areas. Second, an analysis of the production system within these farms showed an appropriate technology process. Moreover, the application of Data Envelopment Analysis (DEA) approach allowed the measurement of technical and allocative efficiency.

Empirical findings revealed a technical inefficiency use of inputs. The average technical efficiency of water resource was only 68%. The comparison between both production systems revealed more important resources wasting in private farms than in public ones. Thus, the surface well creation strategy, as a second source of irrigation, was found to be against the sustainable use of an already overexploited ground water. However, such strategy is justified when analyzing allocative efficiency scores. Indeed, the profitability of an activity, based on wells irrigation, appears to be much more interesting than that based on public resource. The average allocative efficiency of private farms was 73% compared to only 53% for public farms. The Horticultural cropping practice is a determinant factor of this profitability. In addition, results indicate the negative effect of land structure (area and a number of plots) and land input intensification on technical efficiency. Therefore, an intervention strategy seeking land reorganization could optimise the farms performances and reduce water resource wasting.

**Key-words:** Irrigated area, production system, economy of water, irrigation management, technical efficiency, allocative efficiency, Data Envelopment Analysis (DEA).

## *Remerciements*

Avec un grand honneur et un profond respect, je tiens à exprimer toutes mes gratitude et mes vifs remerciements à mon directeur de thèse, Mme Florence Jacquet, pour sa veille précieuse dans l'accomplissement de ce travail et pour le soutien sans limites qu'elle m'a prodigué depuis ma formation post universitaire du CIHEAM-IAMM (1996) à nos jours aussi bien sur le plan scientifique, matériel que moral.

J'adresse également mes sincères remerciements assortis d'un profond respect à M. Jean-Marie Boisson pour ses aides innombrables et indéniables dans l'accomplissement de cette formation doctorale. Il m'a fait également un grand honneur pour avoir accepté de présider mon jury de soutenance.

J'exprime mes remerciements à M. Jean-Philippe Boussebart pour sa collaboration particulière et ses directives précieuses pour l'aboutissement de cette thèse.

Mes remerciements vont aussi à M. Mongi Boughzala pour avoir accepté de bien vouloir être rapporteur de cette thèse.

J'adresse mes remerciements à M. Walter Briec pour avoir accepté de rejoindre mon jury de thèse.

Il est de mon devoir d'exprimer mes vifs remerciements aux directeurs successifs de l'IAM de Montpellier, messieurs R. Perez, G. Ghersi et V. Dollé qui m'ont permis d'accéder et de poursuivre cette formation Post Universitaire et Doctorale dans les meilleures conditions. Ma gratitude et mes chaleureux remerciements vont également à tous le personnel de cette honorable institution qui m'a accueilli durant une dizaine d'années avec tout l'appui scientifique et matériel.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements assortis d'un profond respect à M. Abdelaziz Mougou, président de L'IRESA pour son soutien indéniable dans l'accomplissement de ma formation post universitaire et doctorale. Ma gratitude et mes remerciements vont également à M. Abdelkader Cherif ex-président de l'IRESA qui m'a aidé pour se lancer dans cette grande aventure de formation et de recherche.

J'exprime mes remerciements à M. Amor Chérmiti, Directeur de l'INRAT, et Mme Raoudha Khaldi, chef du Laboratoire d'Economie Rurale, pour leur soutien moral et matériel. Mes remerciements vont également à l'ensemble du personnel de l'INRAT et particulièrement mes collègues chercheurs.

Il est de mon devoir aussi d'exprimer toute ma reconnaissance et mes vifs remerciements aux responsables du CRDA de Sidi Bouzid pour toute l'aide et l'accueil chaleureux dont j'ai bénéficié au cours de mon séjour dans la région. Je remercie particulièrement M. Chouaibi Ezzidine, chef CTV Sidi Bouzid Ouest, et les techniciens Ahmed Hamdi, Youssef Garraoui, Nabil Bayaoui et Ammar Hcini, qui m'ont beaucoup aidé à réaliser mes enquêtes de terrain. Mes vifs remerciements vont également à tous les agriculteurs de la région et particulièrement ceux qui m'ont accueillis et m'ont réservé de leur temps pour recueillir l'ensemble des données -cœur battant de cette thèse-.

Je remercie également Mlle Samira, responsable de la bibliothèque de la DGEDA et mes amis Mounir et Mahfoud de la CNEA pour leur aide dans la collecte des données et le recueil cartographique.

Enfin, je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de mon parcours de formation et de recherche si long que prévu. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Evolution des investissements hydrauliques ... ..	12
<b>Tableau 2:</b> Potentiel et mobilisation des ressources en eau ... ..	13
<b>Tableau 3:</b> Ressources et qualités des eaux de surface ... ..	13
<b>Tableau 4:</b> Répartition de l'utilisation annuelle des eaux ... ..	14
<b>Tableau 5:</b> Evolution de la répartition de la superficie irrigable selon la source d'irrigation ... ..	15
<b>Tableau 6:</b> Evolution des superficies irrigables en hectare ... ..	15
<b>Tableau 7:</b> Evolution de l'exploitation des périmètres publics irrigués ... ..	20
<b>Tableau 8:</b> Concurrence entre eau publique et eau privée ... ..	21
<b>Tableau 9:</b> Importance des systèmes d'irrigation à la parcelle ... ..	22
<b>Tableau 10:</b> Evolution des superficies irriguées en 1000 ha ... ..	23
<b>Tableau 11:</b> Evolution des coûts moyens et des tarifs de l'eau d'irrigation ... ..	25
<b>Tableau 12:</b> Répartition des ressources en eau disponibles ... ..	34
<b>Tableau 13:</b> Répartition de l'usage des ressources en eau dans la région de Sidi Bouzid ... ..	35
<b>Tableau 14:</b> Evolution de la moyenne des emblavures et de la production végétale ... ..	37
<b>Tableau 15:</b> Répartition du potentiel irrigable du 2004 selon la source d'irrigation ... ..	41
<b>Tableau 16:</b> Importance des potentialités agricoles de la région de Sidi Bouzid Ouest ... ..	48
<b>Tableau 17:</b> Répartition des exploitations bénéficiaires de l'eau du réseau et disposant d'un puits de surface ... ..	50
<b>Tableau 18:</b> Répartition des exploitations de l'échantillon selon la nature de la ressource en eau ... ..	51
<b>Tableau 19:</b> Répartition des exploitations enquêtées ... ..	52
<b>Tableau 20:</b> Représentativité de l'échantillon par rapport à la région d'étude ... ..	53
<b>Tableau 21:</b> Caractérisation du chef exploitant ... ..	54
<b>Tableau 22:</b> Caractérisation de la famille ... ..	57
<b>Tableau 23:</b> Statistiques de la dotation en terre ... ..	58
<b>Tableau 24:</b> Dotation en terre par type d'exploitation ... ..	59
<b>Tableau 25:</b> Répartition du nombre des exploitations par atelier de production ... ..	68
<b>Tableau 26:</b> Répartition de la moyenne des charges à l'hectare selon les types d'exploitation ... ..	75
<b>Tableau 27:</b> Répartition des charges à l'hectare selon la nature de la source d'irrigation ... ..	76
<b>Tableau 28:</b> Importance et destination de la production selon les types d'exploitation ... ..	77
<b>Tableau 29:</b> Importance et destination de la production selon la nature de la source d'irrigation ... ..	77
<b>Tableau 30:</b> Importance moyenne des ateliers de production selon les types d'exploitation ... ..	78
<b>Tableau 31:</b> Importance économique de l'activité en irrigué selon les types d'exploitation ... ..	79
<b>Tableau 32:</b> Analyse des Marges Brutes ... ..	79

<b>Tableau 33:</b> Valorisation du facteur eau selon les types d'exploitation ... ..	80
<b>Tableau 34:</b> Valorisation du facteur eau selon la source d'irrigation ... ..	80
<b>Tableau 35 :</b> Statistiques des variables de la matrice Inputs-Outputs ... ..	122
<b>Tableau 36:</b> Comparaison des scores d'efficacité issus des six fonctions de production ... ..	125
<b>Tableau 37:</b> Analyse des corrélations par le Test de Spearman ... ..	126
<b>Tableau 38:</b> Analyse des mesures de l'efficacité technique en mode CRS ... ..	128
<b>Tableau 39:</b> Test de Wilcoxon Mann-Whitney pour l'analyse de l'efficacité technique en mode CRS ... ..	128
<b>Tableau 40:</b> Analyse des mesures de l'efficacité technique en mode VRS ... ..	129
<b>Tableau 41:</b> Test de Wilcoxon Mann-Whitney pour l'analyse de l'efficacité technique en mode VRS ... ..	129
<b>Tableau 42:</b> Analyse des mesures de l'efficacité d'échelle ... ..	130
<b>Tableau 43:</b> Test de Wilcoxon Mann-Whitney pour l'analyse de l'efficacité d'échelle ... ..	130
<b>Tableau 44:</b> Efficacité technique moyenne de l'usage des facteurs ... ..	131
<b>Tableau 45:</b> Statistiques des variables de la matrice Inputs-Outputs ... ..	134
<b>Tableau 46:</b> Analyse des mesures de l'efficacité réelle au niveau exploitation ... ..	136
<b>Tableau 47:</b> Analyse des mesures de l'efficacité allocative au niveau exploitation ... ..	137
<b>Tableau 48:</b> Test de Wilcoxon Mann-Whitney pour l'analyse de l'efficacité réelle et allocative ... ..	137
<b>Tableau 49:</b> Répartition des parcelles selon le type d'exploitation et la source d'irrigation ... ..	138
<b>Tableau 50:</b> Statistiques des variables de la matrice Inputs-Outputs ... ..	139
<b>Tableau 51:</b> Analyse des mesures de l'efficacité réelle au niveau parcelle ... ..	139
<b>Tableau 52:</b> Analyse des mesures de l'efficacité allocative au niveau parcelle ... ..	140
<b>Tableau 53:</b> Test de Wilcoxon Mann-Whitney pour l'analyse de l'efficacité réelle et allocative au niveau parcelle ... ..	140
<b>Tableau 54:</b> Statistiques des variables pour l'analyse des déterminants de l'efficacité technique ... ..	143
<b>Tableau 55:</b> Résultat du modèle Tobit pour l'analyse des déterminants de l'efficacité technique en mode VRS ... ..	144
<b>Tableau 56:</b> Statistiques des variables pour l'analyse des déterminants de l'efficacité réelle et allocative au niveau exploitation ... ..	146
<b>Tableau 57:</b> Résultat de l'estimation du modèle Tobit au niveau exploitation ... ..	147
<b>Tableau 58:</b> Statistiques des variables pour l'analyse des déterminants de l'efficacité réelle et allocative au niveau parcelle ... ..	148
<b>Tableau 59:</b> Résultats de l'estimation du modèle Tobit au niveau parcelle ... ..	148

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Evolution du nombre des GIC... ..	27
<b>Figure 2</b> : Evolution des superficies équipées en système d'économie d'eau... ..	29
<b>Figure 3</b> : Carte de localisation du gouvernorat de Sidi Bouzid... ..	32
<b>Figure 4</b> : Evolution de la pluviométrie annuelle de Sidi Bouzid... ..	33
<b>Figure 5</b> : Occupation du sol du gouvernorat de Sidi Bouzid... ..	38
<b>Figure 6</b> : Potentiel irrigable du gouvernorat de Sidi Bouzid... ..	40
<b>Figure 7</b> : Evolution des superficies des cultures irriguées... ..	41
<b>Figure 8</b> : Evolution de la production des cultures irriguées... ..	42
<b>Figure 9</b> : Localisation des périmètres publics irrigués à Sidi Bouzid Ouest... ..	49
<b>Figure 10</b> : Caractérisation des chefs exploitants... ..	55
<b>Figure 11</b> : Caractérisation de la famille... ..	56
<b>Figure 12</b> : Adoption du système de culture selon les types d'exploitation... ..	69
<b>Figure 13</b> : Aptitude à l'utilisation et à l'intensification du facteur terre... ..	70
<b>Figure 14</b> : Mesure de l'efficacité de Farrell... ..	90
<b>Figure 15</b> : Efficacité et productivité... ..	93
<b>Figure 16</b> : Coût variable moyen et courbe d'offre... ..	94
<b>Figure 17</b> : Mesure de l'efficacité par le modèle DEA... ..	99
<b>Figure 18</b> : Interprétation de l'efficacité d'échelle... ..	109
<b>Figure 19</b> : Maximisation et efficacité profit... ..	113

# Sommaire

Introduction générale .....	2
-----------------------------	---

## Partie I

### *Mobilisation de la ressource en eau, développement de l'irrigation et fonctionnement des périmètres irrigués.*

Introduction .....	7
--------------------	---

#### *Chapitre I: Genèse de la politique hydraulique et développement de l'irrigation*

<b>I- La politique hydraulique et la mobilisation de la ressource en eau</b> .....	9
1-1 Genèse de la politique hydraulique .....	10
1-2 Evolution de l'investissement et de l'infrastructure hydraulique .....	11
1-3 Potentialités, mobilisation et usage de la ressource en eau .....	12
<b>II- Le développement et les entraves du secteur irrigué</b> .....	14
2-1 Importance du secteur irrigué .....	14
2-2 Faiblesses et contraintes au développement .....	19
<b>III- L'irrigation et la gestion de la demande</b> .....	24
3-1 La tarification de l'eau .....	24
3-2 La stratégie de gestion communautaire .....	26
3-3 La stratégie d'économie de l'eau .....	28
<b>Conclusion</b> .....	30

#### *Chapitre II :Analyse du fonctionnement des périmètres irrigués dans la région de Sidi Bouzid*

<b>I- La problématique du secteur irrigué dans la région de Sidi Bouzid</b> .....	32
1-1 Présentation de la région .....	32
1-2 Développement de l'agriculture et importance du secteur irrigué .....	36
1-3 Problématique de recherche .....	42
<b>II- Choix du terrain de recherche et méthodologie d'enquête</b> .....	46
2-1 Justification du choix du terrain de recherche .....	47
2-2 Prospection du terrain de recherche .....	48
2-3 Echantillonnage et réalisation des enquêtes .....	51
<b>III- Analyse du fonctionnement des périmètres irrigués</b> .....	53
3-1 Analyse de la structure des ménages et des exploitations .....	54
3-2 Analyse du système de culture et des pratiques d'irrigation .....	63
3-3 Analyse économique du fonctionnement des exploitations en irrigué .....	74
<b>Conclusion</b> .....	81

## Partie II:

### *Analyse des performances des systèmes de production et des déterminants des pratiques d'irrigation*

Introduction ..... 84

#### *Chapitre I: Approche théorique pour l'analyse des performances des entreprises*

**I- Le concept efficacité en théorie économique** ..... 87

1-1 Définition de l'efficacité ..... 88

1-2 Démarche de Farrell pour la mesure de l'efficacité ..... 90

1-3 L'efficacité: Indicateur global de mesure des performances ..... 91

**II- Les approches de mesure de l'efficacité** ..... 97

2-1 Approche paramétrique ..... 97

2-2 Approche non paramétrique ..... 98

2-3 Avantages et limites des approches de mesures ..... 100

**III- Le modèle DEA : Développement théorique et applications empiriques** ..... 103

3-1 Hypothèses et structure du modèle ..... 103

3-2 Développement théorique du modèle DEA ..... 105

3-3 Développement empirique du modèle DEA : Synthèse d'études de Cas ..... 114

**Conclusion** ..... 117

#### *Chapitre II: Analyse des performances des exploitations en irrigué*

**I- Analyse des performances techniques** ..... 118

1-1 Mise en forme de la matrice Inputs-Outputs ..... 118

1-2 Fonction de production et application du modèle DEA ..... 122

1-3 Analyse des mesures de l'efficacité technique ..... 126

**II- Analyse des performances économiques des systèmes de production** ..... 132

2-1 Matrice Input-Outputs et développement du modèle DEA pour l'efficacité profit ..... 133

2-2 Maximisation du profit et efficacité au niveau exploitation ..... 136

2-3 Maximisation du profit et efficacité au niveau parcelle ..... 137

**III- Analyse des déterminants des inefficacités révélées** ..... 141

3-1 Choix des variables et application du modèle Tobit ..... 141

3-2 Analyse des déterminants des performances techniques ..... 143

3-3 Analyse des déterminants des performances économiques ..... 145

**Conclusion** ..... 149

**Conclusion générale** ..... 151

**Bibliographie** ..... 155

**Annexes** ..... 163

**Questionnaire** ..... 169

**Table des matières** ..... 182

*« Il nous semble qu'il faut éviter de se laisser piéger dans le faux débat manichéen du choix entre la grande hydraulique étatique et la petite hydraulique paysanne alors que l'efficacité de ces alternatives technologiques dépendent en premier lieu du modèle de société à promouvoir et de l'intelligence des stratégies et des moyens retenus pour la réalisation des projets de développement ». (Attia, 1985)*

## Introduction générale

A travers sa politique de développement, la Tunisie a toujours misé sur la modernisation et l'intensification de l'activité agricole en vue d'accroître la production et de subvenir aux besoins d'une population galopante. Face aux irrégularités pluviométriques l'introduction de l'irrigation a constitué un choix incontournable pour réussir le développement du secteur agricole. C'est ainsi qu'une politique hydraulique a été lancée le lendemain de l'indépendance pour mobiliser les ressources en eau nécessaires au développement de l'irrigation. Le gouvernement consacre régulièrement de 30 à 40% de ses investissements agricoles à la composante hydraulique. Cette politique a permis au pays de se doter d'une infrastructure hydraulique digne des objectifs stratégiques de mobilisation de la ressource en eau et d'extension du potentiel irrigable. La Tunisie compte 26 grands barrages, 190 petits barrages, 720 lacs collinaires, environ 4000 forages et 85 sources captées. Le pays compte 130000 puits de surface dont 90000 environ sont équipés (Chaieb, 2005). Cette infrastructure a permis de mobiliser 4 milliards de m<sup>3</sup> et d'étendre le potentiel irrigable à 418000 ha. Ce potentiel représente seulement 8% de la surface agricole utile mais assure le tiers de la production agricole du pays. C'est grâce au développement du secteur irrigué que le pays a pu atteindre son autosuffisance en fruits et légumes en dégagant même un excédent pour l'exportation. 20% des exportations agricoles sont des produits de l'activité en irrigué qui offre aussi plus de 25% des emplois dans le secteur agricole.

En revanche le pays est à la limite de ces efforts de mobilisation en réalisant 87% des ressources mobilisables. Face à une demande croissante, tous les travaux prospectifs affirment que le pays encourra un risque de déficit hydrique. Désormais, les efforts devraient se concentrer sur la gestion de la demande. Avec une forte consommation atteignant 83%, l'agriculture est le premier secteur qui devrait témoigner d'un usage rationnel de la ressource. Le secteur agricole est appelé à utiliser de plus en plus efficacement l'eau d'irrigation pour libérer davantage des quantités au profit des autres secteurs. Il devrait encore améliorer ses conditions de gestion en vue de se développer dans un cadre économique concurrentiel et de mobiliser d'une façon optimale les ressources qui lui sont attribuées sans compromettre pour autant les objectifs de production.

Ainsi le prochain gisement d'eau à mettre en valeur concerne la réduction des pertes en termes technique et en termes de valorisation économique. En analysant le cas de la Tunisie, le rapport du Plan Bleu (2002) constate que des économies d'eau sur les réseaux et la modernisation des techniques d'irrigation sont en marche mais il y a encore une dichotomie entre les périmètres privés, qui surexploitent généralement la ressource qu'ils utilisent, et pour lesquels il faut arriver à rationaliser l'usage et les périmètres publics généralement sous exploités pour lesquels il faut d'abord passer par une phase de développement de l'usage avant de pouvoir les rationaliser (Treyer, 2002).

L'aménagement des périmètres publics est l'émanation de l'Etat qui a assuré leur gestion directe jusqu'à 1989 à travers des offices de mise en valeur. Ces offices ont assuré un accompagnement technique et financier au profit des irrigants pour les inciter à développer les cultures irriguées alors que les résultats n'ont jamais été à la hauteur des objectifs nationaux des planificateurs notamment en matière d'utilisation et d'intensification. Hassainya (1991) signale que les résultats enregistrés sont bien davantage la conséquence de l'extension des superficies irrigables qu'une véritable intensification de la production. A partir de 1990, l'Etat a renforcé la création des associations d'intérêt collectif (AIC) dans une perspective d'engager davantage la responsabilité des irrigants pour un usage rationnel et une meilleure valorisation de la ressource en eau mais les résultats ne semblent pas aussi évidents avec l'émergence de nouveaux problèmes et difficultés de gestion communautaire (Daoud, 1995; Chraga et Chemak, 2003; Gana et El Amrani, 2005).

Les périmètres irrigués privés s'approvisionnent surtout à partir des nappes phréatiques. Ils sont équipés à titre individuel par des investissements privés et des encouragements financiers de l'Etat. Ils sont peu contrôlés. En absence de mécanisme de régulation de l'usage de ces ressources phréatiques, ces périmètres ont tendance à surexploiter la ressource dont ils disposent ce qui a nécessité parfois l'intervention de l'Etat pour décréter certaines zones en périmètres d'interdiction. Cependant l'exploitation de ces périmètres montre toujours une intensification de la production plus importante que celle des périmètres publics avec des résultats généralement assez élevés (Attia, 1985; Hassainya 1991; FIDA,

Cette dichotomie de périmètres publics et privés se manifeste réellement dans la région de Sidi Bouzid qui a connu un développement spectaculaire de l'activité en irrigué. Ancien territoire pastoral, l'introduction de l'irrigation a complètement transformé le paysage agricole avec un développement socio-économique remarquable. Durant la période de l'Etat providence (1956-1986), ce développement a été largement soutenu par l'Etat pour améliorer le niveau de vie d'une société rurale et favoriser sa sédentarisation. Avec le désengagement de l'Etat, désormais l'objectif social de la promotion de l'irrigation n'est plus à l'ordre du jour. Dans un contexte de raréfaction, la rationalisation et la valorisation de la ressource en eau constituent aujourd'hui une problématique de fond dans la région. Alors que l'économie prévaut, les irrigants cherchent à s'adapter à la nouvelle situation pour préserver leur reproduction. Si les stratégies d'adaptation diffèrent (intensification des cultures de rente, recherche d'activités extra-agricoles, création de nouveaux puits de surface), l'efficacité des pratiques d'irrigation et la valorisation de la ressource en eau restent toujours en question. La situation est beaucoup plus préoccupante lorsque des irrigants des périmètres publics vont créer des puits de surface, parfois à l'intérieur même du périmètre, pour étendre leur surface irrigable. Le phénomène est plus au moins répandu dans la région sans pour autant connaître les conséquences réelles d'une telle stratégie sur l'usage de la ressource en eau.

En dépit de la raréfaction de la ressource, plusieurs travaux révèlent déjà un usage non efficient de l'eau d'irrigation. Ces travaux sont basés généralement sur des évaluations des systèmes mono-culture qui ne reflètent pas forcément le fonctionnement du processus décisionnel à l'échelle exploitation (Shideed et al, 2005). En effet, l'agriculteur développe ses stratégies de management et décide de ses choix productifs en fonction de ces conditions environnementales, techniques et économiques. Il construit son système de production en espérant réaliser le profit maximal. Ceci nécessite en premier lieu une maîtrise totale des technologies de production mais aussi une plus grande aptitude à produire au moindre coût. Ainsi la sélection de la combinaison des produits et des facteurs traduira la performance du système de production qui peut être évaluée en terme d'efficacité. Cette approche cherche à maximiser des gains de productivité possibles sans modification de la quantité de facteurs de production ou bien à réaliser des économies de facteurs de production sans réduire pour autant le niveau de production. La théorie de production offre la possibilité d'aborder cette approche par la construction d'une frontière de production qui exprime une allocation optimale des facteurs de production. Diverses méthodes permettent d'estimer cette fonction frontière censée représenter l'optimum que l'on peut atteindre si l'on est un agriculteur techniquement

efficace. La construction de cette frontière se fait en comparant les systèmes de production entre eux exprimant une efficacité relative plutôt qu'absolue. En adoptant une telle approche pour analyser les performances des systèmes de production en irrigué nous allons pouvoir caractériser les niveaux d'usage de la ressource en eau aussi bien au niveau des périmètres publics que privés et saisir les principaux facteurs qui affectent cet usage.

Cette thèse analyse donc le comportement des producteurs agricoles de la région de Sidi Bouzid face à l'usage de l'eau d'irrigation. Nous adoptons une approche d'analyse en terme d'efficacité du système de production pour situer la gestion de la ressource en eau dans une logique globale de management. Nous contribuerons à développer une nouvelle conception de l'économie de l'eau et à enrichir, particulièrement, le concept efficacité d'usage de l'eau « Water-Use Efficiency ». Ainsi nous présenterons ce travail en deux parties.

Nous consacrerons la première partie à la synthèse du développement du secteur irrigué du pays (Chapitre I) et la caractérisation du fonctionnement actuel des périmètres irrigués de la région de Sidi Bouzid (Chapitre II). En développant le premier chapitre nous présenterons l'évolution de l'état de la mobilisation de la ressource en eau et le développement conséquent du secteur irrigué. Nous analyserons les principaux outils mises en œuvre pour la gestion de la demande ainsi que les entraves du développement de l'activité en irrigué aussi bien au niveau des périmètres publics que privés. Le deuxième chapitre fait, tout d'abord, état du développement de l'irrigation dans la région de Sidi Bouzid et expose la problématique de recherche. Ensuite nous présentons notre terrain de recherche et nous analysons la réalité du fonctionnement des périmètres publics et privés à partir des résultats d'une enquête de terrain auprès d'un échantillon d'exploitation en irrigué.

La deuxième partie de ce travail est consacrée à l'analyse des performances des systèmes de production enquêtés. Nous distinguerons aussi deux chapitres. Nous consacrerons le premier pour développer notre approche théorique pour l'évaluation des performances des entreprises et en particulier la méthode Data Envelopment Analysis (DEA). Le deuxième chapitre analysera les mesures d'efficacité et les niveaux d'usage des ressources en fonction de la nature de la ressource d'irrigation mobilisée. Nous analyserons l'efficacité technique, économique et les principaux déterminants des performances pour essayer d'apporter une explication aux comportements des irrigants pour l'usage et la valorisation de la ressource en eau.

# **Partie I**

**Mobilisation de la ressource en eau, développement de l'irrigation  
et fonctionnement des périmètres irrigués.**

## Introduction

En raison de sa position géographique, la Tunisie est soumise à l'influence de deux climats, l'un méditerranéen au Nord et l'autre saharien au Sud qui sont à l'origine d'une variabilité spatio-temporelle des ressources en eau. La pluviométrie moyenne annuelle varie de moins de 100 mm à l'extrême Sud à plus de 1500 mm à l'extrême Nord du pays. Cette situation fait de la Tunisie un pays à ressources en eau relativement limitées alors que le développement agricole voire le développement économique font apparaître une demande en eau de plus en plus importante. Plusieurs études montrent que le pays encourra un risque de déficit hydrique dans les années à venir.

Dans ce contexte de raréfaction, l'Etat tunisien a fait preuve d'un certain déterminisme pour le développement de son agriculture irriguée grâce à la mise en œuvre d'une politique hydraulique de grande envergure. C'est ainsi que le potentiel irrigable s'est multiplié par six en l'espace d'une cinquantaine d'indépendance. Cette extension a nécessité la mobilisation des eaux de ruissellement (construction des barrages et des lacs collinaires) et des eaux souterraines (démultiplication des forages et des puits de surface). Aujourd'hui cet effort de mobilisation atteint ses limites en voisinant un taux de 90% et la gestion de la ressource est désormais une affaire de gestion de la demande. L'impératif est de stabiliser cette demande voire réaliser des économies notamment en agriculture irriguée pour satisfaire les besoins, en progression continue, des autres secteurs.

Le développement du secteur irrigué a favorisé une diversification et un accroissement de la production ce qui a permis au pays d'atteindre même son autosuffisance en fruits et légumes et de dégager un excédent pour l'exportation. Toutefois, cette activité en irrigué montre des difficultés multiples qui laissent toujours les résultats en dessous des attentes. Ces difficultés remettent en cause la rationalité d'usage de la ressource en eau aussi bien au niveau des périmètres publics que privés. La faible consommation et le gaspillage de la ressource en eau ainsi que la sous utilisation et la sous intensification du facteur terre frappent toujours ces secteurs. Ce constat remet en question le comportement des irrigants et les systèmes de gestion adoptés.

Dans cette perspective, au niveau de la région de Sidi Bouzid certains irrigants des périmètres publics créent des puits de surface comme deuxième source d'irrigation alors que la nappe phréatique est déjà surexploitée. Cette stratégie, adoptée pour étendre le potentiel irrigable, met en compétitivité les deux modes de fonctionnement ce qui nécessite une attention particulière pour déterminer son impact sur l'usage de la ressource en eau.

Ainsi nous consacrerons cette première partie au développement du secteur irrigué et à la réalité de l'exercice de l'activité en fonction de la nature de la ressource d'irrigation. Dans un premier chapitre nous dresserons le bilan de la politique de mobilisation de la ressource en eau et de l'évolution de l'activité en irrigué. Dans cette évolution nous distinguerons les périmètres publics des périmètres privés pour saisir la différence du fonctionnement global et sa répercussion sur l'usage de la ressource et l'intensification du facteur terre. Pour analyser en profondeur le fonctionnement de ces périmètres nous consacrerons un deuxième chapitre à l'importance du développement de l'irrigation dans la région de Sidi Bouzid tout en développant notre problématique de recherche. Nous présenterons également notre terrain de recherche et l'analyse des résultats de nos enquêtes dans la perspective de saisir la différence de fonctionnement des systèmes de production selon la nature de la ressource en eau.

## Chapitre I:

### Genèse de la politique hydraulique et développement de l'irrigation

#### I- La politique hydraulique et la mobilisation de la ressource en eau

Depuis l'indépendance l'Etat tunisien a fait preuve d'une volonté délibérée pour développer le secteur agricole. Des politiques et des stratégies nationales ont été mises en oeuvre pour atteindre l'objectif suprême d'autosuffisance alimentaire. Face à des conditions climatiques difficiles et notamment à l'insuffisance et l'irrégularité des précipitations le développement du secteur irrigué a constitué l'impératif crucial pour réussir cet objectif. La mobilisation de la ressource en eau a fait l'avant gardé d'une politique hydraulique de grande envergure. De la grande à la petite et moyenne hydraulique, les pouvoirs publics n'ont épargné aucun effort (construction des barrages, extension du réseau hydrographique, aménagement des lacs collinaires...) pour atteindre aujourd'hui le taux de mobilisation de 87%.

En revanche le développement économique et social du pays s'est traduit par une pression sur la ressource en eau. D'une année à l'autre la demande en eau est sans cesse croissante. Selon Louati et al. (1998) un déficit hydrique<sup>1</sup> est annoncé pour l'année 2030. Face à une situation de raréfaction alarmante les pouvoirs publics devraient miser sur la gestion de la demande. C'est ainsi que l'Etat a mis en place des outils de gestion appropriés tel que la tarification, l'incitation à l'économie de l'eau et le renforcement de la création des associations d'intérêts collectifs (AIC). Avec une forte consommation atteignant 83%, l'agriculture est le premier secteur qui devrait témoigner d'un usage rationnel de la ressource. Le secteur agricole est appelé à utiliser de plus en plus efficacement l'eau d'irrigation pour libérer davantage des quantités au profit des autres secteurs. Il devrait encore améliorer ses conditions de gestion en vue de se développer dans un cadre économique concurrentiel et de consommer d'une façon optimale les ressources qui lui sont attribuées sans compromettre, pour atteindre les objectifs de production.

<sup>1</sup> La demande sera supérieure aux ressources conventionnelles exploitables, cette demande est estimée à 3000 milliards de mètres cube, alors que les ressources ne sont que de 2732 milliards de mètres cube (Louati et al.,

## 1-1 Genèse de la politique hydraulique

Le lendemain de l'indépendance les pouvoirs publics ont misé sur le développement du secteur agricole pour permettre à l'économie du pays un réel démarrage avec le souci de subvenir aux besoins d'une population sans cesse croissante et de réduire sa dépendance alimentaire. En vertu d'un climat méditerranéen contraignant, l'essor de cette orientation s'est affirmé avec la mobilisation des ressources en eau et le développement du secteur irrigué.

C'est ainsi que la stratégie de développement décennale<sup>2</sup> 1962-1972, a montré un engagement sérieux de l'Etat pour la planification et la mise en place d'une politique hydraulique. Cette politique a eu pour objectif l'identification des ressources en eau superficielles et profondes en vue de mettre en place l'infrastructure nécessaire pour leur mobilisation. Les deux principales composantes de cette politique sont (i) la mise en place d'une banque de données décrivant toutes les ressources en eau du pays et (ii) la réalisation d'un ensemble d'études hydrologiques et hydro-géologiques pour développer les connaissances en matière des ressources en eau mobilisables et les possibilités d'exploitation.

Malgré les réalisations, la mise en œuvre de cette stratégie a permis de relever certaines failles à l'encontre d'une utilisation judicieuse des ressources en eau qui se résument en (i) l'absence de plans directeurs définitifs pour l'exploitation des ces ressources, (ii) le manque de précision dans l'identification de l'ensemble des ressources ce qui a entraîné la modification des composantes de certains projets et (iii) l'absence de concertation dans l'élaboration des projets ainsi que l'absence de la coordination entre les différents intervenants dans l'exécution et l'exploitation de ces projets.

Pour remédier à ces failles, avec le retour à une politique libérale au début des années cinquante dix, l'Etat s'est montré déterminé quant à la planification à moyen et à long terme de la mobilisation et de l'exploitation des ressources en eau. Cette détermination s'est matérialisée par l'élaboration des plans directeurs des eaux relatifs aux régions du Nord, du Centre et du Sud. L'objectif de ces plans directeurs est l'établissement d'un chronogramme de réalisation des ouvrages de mobilisation, de transfert d'eau, de protection contre les

---

<sup>2</sup> Dans la première décennie de développement (1962-1971), on a réalisé le plus grand effort dans l'hydraulique agricole, soit 32% des investissements totaux consacrés à l'agriculture dans les dix premières décennales. 54% des investissements effectués dans l'hydraulique agricole ont servi à la construction de barrages et à la mise en valeur de la basse vallée de la Madjerdah, 24% ont été dépensés pour la mobilisation de l'eau de certaines zones et le reste aux études hydrauliques (Moussa, 1988).

inondations et de la valorisation de l'utilisation des eaux souterraines. « *Ils permettent pour la première fois de l'histoire du pays d'avoir un outil performant sous forme de tableau de bord et de plans d'action où la continuité et la coordination en matière de mobilisation, d'aménagement et d'équipement deviennent la règle* » (Ennabl, 1995). L'engagement de l'Etat dans le domaine de l'aménagement hydraulique et de la mobilisation des ressources en eaux va continuer en 1990 avec la mise en place de la stratégie décennale de mobilisation des ressources en eau. L'objectif primordial de cette stratégie est de satisfaire la demande en eau des différents secteurs. Elle comprend la construction de 21 grands barrages, 203 barrages collinaires, 1000 lacs collinaires, 2260 forages d'eau 4000 ouvrages de recharge et d'épandage.

Pour mieux expliciter l'importance et l'intérêt de cette politique hydraulique nous allons analyser l'évolution des investissements engagés et dresser le bilan d'usage des ressources mobilisées

## **1-2 Evolution de l'investissement et de l'infrastructure hydraulique**

Les plans du développement économiques successifs qui ont marqué l'histoire du pays depuis l'indépendance portent trace d'un intérêt croissant accordé à l'hydraulique agricole. Le premier plan tunisien date de 1962, il s'agissait d'un plan triennal (1962-1964). Il fixait parmi ses priorités l'accroissement du potentiel de la production agricole par le biais du développement d'une politique hydraulique. Il prévoyait de faire passer les périmètres irrigués de 60000 à 80000 ha en élevant les investissements à 35 Millions TND ce qui était considérable (Baduel, 1985). La mise en œuvre de cette politique hydraulique a nécessité la mobilisation des sommes colossales pour atteindre les objectifs tracés. Les réalisations de la stratégie décennale (1962-1971) ont nécessité l'engagement d'un montant de 54 Millions de TND soit 34% du total des investissements déployés dans le secteur agricole. 98% de ces investissements sont pris en charge par l'Etat. Ce choix allait connaître un fléchissement relatif au cours du quatrième plan de développement (1973-1976) puisque les investissements réalisés au cours de cette période environnent seulement le quart du total des investissements agricoles. A partir du cinquième plan (1977-1981), les pouvoirs publics ont de nouveau accordé une grande importance à l'hydraulique agricole. En effet en analysant la part de l'investissement hydraulique à travers les plans de développement (Tableau 1) nous remarquons qu'il est relativement stable avec un minimum de 34%.

**Tableau 1: Evolution des investissements hydrauliques**

Plans de développement	Total des investissements hydrauliques	
	Montant en Million TND	% <sup>3</sup>
Vème (1977-1981)	253,8	43,6
VIème (1982-1986)	594,6	43,1
VIIème (1987-1991)	678,7	38,7
VIIIème (1992-1996)	945,5	33,9
IXème (1997-2001)	1562,2	36,8
Xème (2002-2006)	1923 <sup>4</sup>	39,6

Ces investissements ont permis au pays de se doter d'une infrastructure digne des objectifs de mobilisation de la ressource en eau et du développement du secteur irrigué. En 1980 la Tunisie ne disposait que de 8 grands barrages, 20 petits barrages et lacs, plus de 800 forages 70 sources captées et un peu plus de 10000 puits de surface (Mansour,1980). L'infrastructure actuelle est composée de 26 grands barrages, 190 petits barrages, 720 lacs collinaires, environ 4000 forages et 85 sources captées. Le pays compte 130000 puits de surface dont 90000 environ sont équipés (Chaieb, 2005).

### **1-3 Potentialités, mobilisation et usage de la ressource en eau**

La politique hydraulique décrite ci-dessus a apporté ses fruits en terme d'identification et de mobilisation des ressources en eau. En effet, grâce aux études hydrologiques et hydrogéologiques réalisés, le potentiel total des ressources en eau (Tableau 2) est estimé à 4,8 milliards de m<sup>3</sup> par an dont 2,7 milliards de m<sup>3</sup> en eau de surface<sup>5</sup>. Les ressources mobilisables sont estimées à 4,6 milliards de m<sup>3</sup> alors que les ressources mobilisées atteignent 4 milliards de m<sup>3</sup> soit un taux de mobilisation de 87%. En revanche nous remarquons que les eaux des nappes phréatiques sont totalement mobilisées voire surexploitées dans certaines régions comme le Cap Bon, Sidi Bouzid et le Sahel ce qui a nécessité l'intervention de l'administration en décrétant certaines zones en périmètres de sauvegarde et d'autres en périmètres d'interdiction.

La répartition de ce potentiel entre les régions montre que 60% des ressources sont localisées au Nord du pays alors que le Centre ne bénéficie que de 18% dont 62% des eaux souterraines. Le Nord accapare 81% des eaux de surface alors que 42% du potentiel des eaux souterraines est localisé au Sud (Hamdane, 2002).

<sup>3</sup> % par rapport aux investissements dans le secteur agricole

<sup>4</sup> Prévission

<sup>5</sup> Avec un minimum de 0,78 milliards de m<sup>3</sup> en 1993-1994 et un maximum de 11 milliards de m<sup>3</sup> en 1969-70 (DGRE, 1994)

**Tableau 2: Potentiel et mobilisation des ressources en eau en Millions de m<sup>3</sup>**

Nature des ressources	Ressources potentielles	Ressources mobilisables	Ressources mobilisées	Taux de mobilisation
<b>Eaux de surface</b>	2700	2500	2200	88
<b>Eaux souterraines</b>	2140	2140	1860	87
<b>Nappes phréatiques</b>	740	740	740	100
<b>Nappes profondes</b>	1400	1400	1120	80
<b>Total</b>	<b>4840</b>	<b>4640</b>	<b>4060</b>	<b>87</b>

Source : Chaieb, 2005

En matière de qualité des eaux les études montrent que 72% des eaux de surface sont d'une salinité inférieure ou égale à 1,5 g/l. Ce taux s'élève à 82% dans le Nord alors qu'il chute à 3% dans le Sud (Tableau 3). Pour ce qui est de la qualité des eaux souterraines peu profondes (profondeur inférieure à 50 m), 8% ont une salinité inférieure à 1,5 g/l, 71% entre 1,5 et 5 g/l et 21% plus que 5g/l. Quant à la qualité des eaux des nappes profondes, 20% des ressources ont une salinité inférieure à 1,5g/l, 57% ont une salinité entre 1,5 et 3g/l et 23% ont une salinité supérieure à 3g/l. Le centre du pays est relativement loti en eaux souterraines profondes et peu profondes présentant une qualité moyenne à médiocre (2 à 5g/l) (Hamdane, 2002).

**Tableau 3: Ressources et qualités des eaux de surface en Millions de m<sup>3</sup>/an**

	Nord	Centre	Sud	Total
<b>Ressource en eau de surface</b>	2190	320	190	2700
%	81	11	8	100
<b>Ressources à salinité &lt; à 1,5 g/l</b>	1796	153	6	1955
%	82	48	3	72

Source: Louati et al, 1998

A plus long terme, la Tunisie va être confrontée à une demande de plus en plus importante qui risque de dépasser le volume régularisé de toutes les ressources en eau conventionnelles mobilisables. C'est la raison pour laquelle l'exploitation des ressources non conventionnelles (les eaux usées traitées et les eaux salées) figure parmi les orientations de la stratégie nationale de mobilisation des ressources en eau au profit du secteur agricole. Même si les eaux usées traitées ne comptent que près de 5% des ressources disponibles, elles présentent l'avantage de la stabilité par rapport à celles liées à la pluviométrie. (Hamdane, 2002).

Cet effort de mobilisation a permis l'approvisionnement des différents secteurs dont les besoins évoluent d'une année à l'autre. En 1996 le total des besoins a été évalué à 2,68 milliards de m<sup>3</sup> dont 83% sont utilisés par le secteur agricole (Tableau 4). Ainsi face à l'accroissement des besoins des autres secteurs et aux risques de raréfaction de la ressource en eau, l'agriculture est le premier secteur qui devrait réaliser des économies d'eau et montrer un usage rationnel de la ressource. Louati et al. (1998) estiment que la demande en eau d'irrigation devrait baisser à partir de 2010 en diminuant la consommation globale à l'hectare. Les auteurs montrent qu'en 2030 la demande pourra changer de structure avec une baisse de la part de l'agriculture qui atteindra seulement 74% de la demande globale.

**Tableau 4: Répartition de l'utilisation annuelle des eaux en Millions de m<sup>3</sup>**

Secteur	Barrages	Nappes profondes	Nappes phréatiques	Total
Irrigation	754	730	745	2229 (83,2%)
Eau potable	200	165		365 (13,6%)
Industrie		85		85 (3,2%)
<b>Total</b>	<b>954</b>	<b>980</b>	<b>745</b>	<b>2679 (100%)</b>

Source : MEAT<sup>6</sup>, 1996 (cité par Ministère de l'agriculture, 2001)

## II- Le développement et les entraves du secteur irrigué

### 2-1 Importance du secteur irrigué

En vertu de cette politique hydraulique et en vue de développer le secteur agricole les pouvoirs publics ont misé sur le développement du secteur irrigué. A la veille de l'indépendance les superficies irrigables ne comptaient que 65000 ha. Les réalisations de la première stratégie décennale (1962-1971) ont permis d'atteindre, en 1972, 120000 ha de superficie irrigable dont 49500 ha de périmètres publics. En 2005 les superficies irrigables atteignent 418000 ha soit 8% de la superficie agricole du pays. Cette extension remarquable des superficies irrigables est le résultat d'un effort conjugué entre la volonté des pouvoirs publics et l'initiative des particuliers. En effet l'aménagement des périmètres irrigués relève aussi bien du secteur public que du secteur privé. Ainsi nous distinguons des périmètres publics irrigués (**ppi**) et des périmètres irrigués privés (**pip**).

<sup>6</sup> MEAT : Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire

**Tableau 5: Evolution de la répartition de la superficie irrigable selon la source d'irrigation**

Sources d'eau	2000		2005	
	Valeur	%	Valeur	%
Grands barrages	109730	29	137640	32,8
Barrages collinaires	2470	0,6	2950	0,6
Forage	84860	22,4	101170	24,2
Puits de surfaces	155260	41	154270	37
Oued à écoulement constant	17990	4,8	14200	3,4
Eaux usées traitées	6090	2	6850	1,6
Autres sources	930	0,2	1720	0,4
<b>Total</b>	<b>377320</b>	<b>100</b>	<b>418800</b>	<b>100</b>

Sources : Ministère de l'agriculture (Enquêtes des périmètres irrigués)

En examinant l'évolution de la répartition des superficies irrigables selon la nature de la source d'irrigation (Tableau 5) entre 2000 et 2005, nous pouvons signaler le recul des superficies irrigables à partir de puits de surface qui passent 155000 à 154000 ha. Ceci est dû essentiellement à la saturation de l'exploitation des nappes phréatiques. En revanche les grands barrages ont permis d'étendre les superficies irrigables des ppi de 28000ha pour la même période.

**Tableau 6: Evolution des superficies irrigables en hectare**

Année	Périmètres publics		Périmètres privés		Total Superficie
	Superficie	%	Superficie	%	
1972	49500	41	75000	59	120000
1980	68000	30	158000	70	226000
1990	115000	40	174000	60	289000
2000	190000	50	187000	50	377000
2005	217000	52	201000	48	418000

Sources: enquêtes des périmètres irrigués

### 2-1-1 Les périmètres publics irrigués

Les périmètres publics irrigués sont des périmètres équipés de réseaux collectifs et aménagés à partir de forages profonds pour des périmètres de quelques dizaines ou centaines d'hectares et à partir de barrages pour les grands périmètres irrigués (1000 à 25000 ha par entité). Ils sont réalisés au moyen d'investissement public (Hamdane, 2002). Leurs activités devraient répondre aux priorités nationales en matière d'accroissement et de diversification de la production agricole. Pour cela une étude de faisabilité est réalisée au préalable de chaque projet d'aménagement. Cette étude décrit les potentialités de la zone, identifie les composantes du projet et analyse la rentabilité économique et financière des activités.

L'aménagement de ses périmètres obéit aux principes de la réforme agraire dans les ppi tel qu'ils sont énoncés par la loi du 11 juin 1958 relative à l'intervention de l'Etat dans la basse vallée de la Medjerda et les textes subséquents<sup>7</sup>. Ces principes concernent la limitation de la propriété, la réorganisation foncière, l'obligation de mise en valeur et la contribution des propriétaires aux frais d'aménagement hydraulique (Moussa, 1988).

La gestion de ces périmètres a été confiée aux offices<sup>8</sup> de mise en valeur. Ces offices avaient pour mission la distribution des eaux, la maintenance des ouvrages d'irrigation, l'entretien des réseaux d'assainissement, de drainage et des pistes agricoles ainsi que la mise en valeur de ces terres. En 1989, avec l'avènement du Programme d'Ajustement Structurel Agricole (PASA) l'Etat a annoncé la dissolution de ces offices tout en renforçant la création des associations d'intérêts collectifs (AIC) comme nouvelle forme de gestion de ces périmètres. Désormais, cette institution est, en premier lieu, responsable de la distribution et de la vente de l'eau. Les grands travaux d'entretien et de réhabilitation relèvent des services de l'Etat.

En 2005, la superficie de ces périmètres est estimée à 217000 ha soit 52% du potentiel irrigable du pays alors qu'elle était à 68000 ha en 1980. Ceci témoigne de l'importance des aménagements hydrauliques réalisés et de l'aboutissement des stratégies conçues à cet effet. L'évolution des superficies irrigables (Tableau 6) montre une nette extension de ces périmètres qui se sont multipliés par trois entre 1980 et 2005.

---

<sup>7</sup> La loi du 27 mai 1963 portant réforme agraire dans les PPI a annoncé l'intention des pouvoirs publics d'étendre l'expérience à l'ensemble du territoire du pays.

<sup>8</sup> Le territoire tunisien a été découpé en un certain nombre de secteurs géographiques d'intervention affectés à 13 offices de mise en valeur représentés au niveau de chaque gouvernorat. L'intervention de ces offices, limitée au départ au niveau des périmètres publics, s'est étendue à partir de 1980 aux périmètres privés. Les offices de mise en valeur sont des établissements à caractère industriel et commercial, dotés de la personnalité civile et commerciale. Leurs attributions se limitent à exécuter les missions confiées par l'administration :

- Appliquer les plans de mise en valeur des périmètres publics irrigués par la mise en place des structures de vulgarisation et d'encadrement des agriculteurs, par l'expérimentation et la mise au point des modèles techniques et économiques de culture et d'irrigation.

- Assister les agriculteurs intéressés en leur facilitant les opérations d'obtention des crédits dans le cadre de l'encouragement de l'Etat à l'agriculture.

- Assister les agriculteurs dans la création de structures adéquates d'approvisionnement et de commercialisation des produits agricoles ; organiser et améliorer ces structures le cas échéant.

- Assurer l'exploitation et la maintenance du réseau d'irrigation des périmètres irrigués équipés par l'Etat, la distribution et la vente d'eau.

## 2-1-2 Les périmètres irrigués privés

Les périmètres irrigués privés sont fondés sur la petite hydraulique et équipés à titre individuel par les agriculteurs grâce à des investissements privés et des encouragements financiers de l'Etat. Ils sont irrigués à partir de puits de surface et forages ou de pompages dans les oueds (Hamdane, 2002). C'est ainsi que des milliers d'agriculteurs se sont engagés pour l'irrigation partielle ou totale de leur exploitation. A cet effet l'Etat offre des incitations multiples pour l'introduction de l'irrigation. En revanche l'administration conserve un droit de regard en vertu d'une exploitation durable de la ressource. En effet toute action de pompage sur oued ou création d'un puits de surface dont la profondeur dépasse 50 m est soumise à une autorisation préalable<sup>9</sup>. L'administration est aussi le premier garant d'une exploitation durable des nappes souterraines. En effet l'article 12 stipule que « des périmètres d'interdiction peuvent être créés par décret après avis de la commission du domaine public hydraulique, dans les zones où la conservation ou la qualité des eaux sont mises en danger par le degré d'exploitation des ressources existantes ». Dans la même perspective l'article 13 stipule « dans chaque périmètre d'interdiction :

- a) sont interdits toute exécution de puits ou forages, tout travail de transformation de puits ou forages, destiné à augmenter le débit
- b) sont soumis à autorisation préalable du Ministre de l'agriculture les travaux de remplacement ou de réaménagement de puits ou forages sont destinés à en augmenter le débit exploité par ces puits ou forages
- c) est soumis à autorisation et prescriptions du Ministre de l'agriculture l'exploitation des eaux souterraines ; ces prescriptions peuvent porter sur une limitation du débit maximum à exploiter par puits ou forages, sur la mise hors service d'un certain nombre de puits ou forages ou toute autre disposition propre à éviter les interactions nuisibles et à assurer la conservation des ressources existantes »

En matière de gestion et de mise en valeur de ces périmètres, les irrigants sont les seuls responsables de leurs choix cultureux. Ils agissent en fonction de leurs moyens et leurs objectifs entraînant parfois une surexploitation de la ressource. L'extension des superficies irrigables (Tableau 6) montre l'importance de l'engagement du secteur privé particulièrement

<sup>9</sup> Les forages et les puits dont la profondeur ne dépasse pas cinquante mètres, et dont l'emplacement ne se trouve pas à l'intérieur d'un périmètre d'interdiction ou de sauvegarde défini aux articles 12 et 15 du présent code peuvent être effectués, sans autorisation préalable à charge par le propriétaire ou l'exploitant d'en informer l'administration (article 9 du code des eaux promulgué par la loi 75-16 du 31 mars 1975)

entre 1972 et 1980 avec le dédoublement du potentiel qui passe de 75000 ha à 158000 ha soit en moyenne 10000 ha par an. En revanche nous remarquons que cette extension connaît par la suite un fléchissement important. En effet la superficie n'a évolué que de 27% entre 1980 et 2005 soit moins de 2000 ha par an. Ceci est dû essentiellement à la mobilisation totale des ressources liées aux nappes phréatiques qui enregistrent même une surexploitation au niveau de certaines régions comme le Cap Bon et le Centre du pays.

### **2-1-3 Contribution du secteur irrigué**

Grâce à ce potentiel irrigable, la Tunisie a pu diversifier et accroître sa production tout en atteignant son autosuffisance en fruits et légumes. Avec 8% de la surface agricole utile, l'agriculture irriguée contribue avec 35% de la valeur de la production globale du secteur. Outre cette contribution, elle a permis une certaine diversification et régularisation des produits agricoles. Des filières ont été créées pour l'approvisionnement de l'agriculture irriguée en intrants, pour la commercialisation et aussi pour la transformation de sa production. Ces filières ont structuré l'espace rural et transformé le secteur agricole qui est passé d'un secteur «aval» (produisant pour la consommation) à un secteur «amont» (produisant des biens intermédiaires pour d'autres branches de l'économie). (Bachta et Elloumi, 2005).

L'accroissement de la production du secteur irrigué a permis de satisfaire les besoins de la demande intérieure et de dégager, pour certains produits, des excédents exportables (agrumes, dattes, tomates, cultures des primeurs). Entre 1980 et 1993 la production des produits stratégiques (pomme de terre, tomate, piment, agrumes, dattes) a augmenté de plus de 50% pour atteindre une contribution aux exportations agricoles dépassant 20% (Ministère de l'agriculture, 1994). L'accroissement de la production a nécessité même l'intervention de l'Etat pour la mise en place d'une stratégie de gestion des excédents particulièrement pour les cultures de saison de la tomate, du piment et de la pomme de terre (Ministère de l'agriculture, 2000).

En matière d'emploi l'introduction de l'irrigation offre une grande opportunité pour la fixation de l'emploi familial et la création des milliers de journées de travail permanent et saisonnier. On estime dans l'ensemble que le secteur de l'irrigation occupe environ 27% de la population active agricole (Hamdane, 2002).

## 2-2 Faiblesses et contraintes du développement

En dépit des efforts déployés pour le développement de l'irrigation et malgré l'évolution remarquable des potentialités et l'importance des résultats atteints, le secteur irrigué a toujours montré des faiblesses et des difficultés multiples. La consommation de l'eau et l'utilisation de la terre sont les principaux éléments d'appréciation du fonctionnement des périmètres irrigués. Ces indicateurs sont jugés toujours en dessous des attentes et d'une manière ou d'une autre stimulent la disparité entre les objectifs de production et les réalisations. En revanche, le développement de l'irrigation révèle aussi l'importance du gaspillage de la ressource qui engendre naturellement une faible valorisation et accélère, sans cause, la surexploitation. Pour saisir l'importance de ces faiblesses de fonctionnement nous allons analyser l'utilisation de l'eau, l'efficacité des réseaux d'irrigation et l'intensification de la terre.

### 2-2-1 Utilisation de l'eau

Les consommations réelles à l'hectare irrigué sont souvent inférieures aux besoins théoriques des cultures. La consommation moyenne par hectare atteint 5500 m<sup>3</sup> pour l'ensemble des périmètres irrigués du pays. Cette tendance à la sous utilisation de l'eau est constatée particulièrement dans les périmètres du Nord (Hamdane, 2002). L'étude sur la stratégie des ressources naturelles (Ministère de l'agriculture, 1997) dénote qu'il est difficile d'expliquer la différence de consommation entre les périmètres publics et privés (rapport de 1 à 3) qui sont en dessous des normes de consommation.

Au niveau des périmètres publics irrigués, la fixation au préalable de la main<sup>10</sup> d'eau compte tenu des objectifs de production permet d'apprécier les consommations en eau réelles qui montrent une sous utilisation certaine mais variable d'un périmètre à l'autre. Mansour (1980) constate que l'irrigant n'utilise pas le volume nécessaire malgré un prix largement subventionné. Pour ne citer que l'exemple de la Basse Vallée de la Medjerda la consommation moyenne par ha est de 3000 à 4000 m<sup>3</sup> alors que les besoins sont de 6000 à 7000 m<sup>3</sup>. En analysant les consommations des ppi des années 1986, 1987 et 1988, Ennabli

---

<sup>10</sup> La main d'eau est par définition un débit maîtrisable par l'irrigant de manière à ce qu'il ne soit ni débordé ni au contraire freiné dans son travail. Il s'agira donc d'un débit maniable et que l'irrigant fixera lui même s'il est indépendant quant à l'alimentation en eau du périmètre (puits, pompage individuel sur oued) soit fixé par l'autorité de tutelle du réseau (barrages, forages, sources) (Ennabli, 1995).

(1995) constate que le volume total d'eau facturé n'a été en moyenne que de 320 Mm<sup>3</sup>/an pour une disponibilité en eau au niveau de la source de 600 Mm<sup>3</sup>/an. Le tableau 7 montre que la consommation moyenne par ha pour la période 1992-1994 ne dépasse pas 2400 m<sup>3</sup> au niveau des ppi.

**Tableau 7: Evolution de l'exploitation des périmètres publics irrigués**

	Superficies irriguées (ha)			Consommation (m <sup>3</sup> /ha)		
	1992	1993	1994	1992	1993	1994
<b>Nord Est</b>	37253	40362	58349	1937	2340	1990
<b>Nord Ouest</b>	27814	36402	39452	2125	2237	2835
<b>Centre Est</b>	3239	3424	5547	2750	2573	1829
<b>Centre Ouest</b>	10825	12096	17626	1543	1489	1556
<b>Sud Est</b>	190	190	190	7735	7735	7735
<b>Sud Ouest</b>	5283	4616	4415	7509	6392	6448
<b>Total</b>	<b>84604</b>	<b>96890</b>	<b>125579</b>	<b>2341</b>	<b>2398</b>	<b>2353</b>

Source : DG/GRHA<sup>11</sup> (Cité par Ministère de l'agriculture, 1997)

La sous utilisation de l'eau peut être expliquée par le recours à l'utilisation d'une ressource privée. Ce phénomène a été révélé dans plusieurs périmètres. En effet le recours aux réseaux publics est exclusif dans les oasis, dans les périmètres de Tunisie Centrale desservis par des eaux de barrage et dans ceux du Sahel. Au contraire, dans tous les autres cas, l'eau fournie par les réseaux publics se trouve généralement en concurrence avec d'autres ressources que l'agriculteur mobilise par ses propres moyens (souvent des puits, rarement des prélèvements sur oueds) et en fonction de ses besoins (Tableau 8). Parmi les facteurs qui conditionnent cette concurrence on trouve la non disponibilité en temps opportun de l'eau du réseau et la redevance de l'eau. L'intensité de concurrence est variable d'un périmètre à l'autre. En effet dans les périmètres du Cap-Bon la part de l'eau prélevée sur les réseaux publics se situe entre 37 et 43% des consommations totales estimées. Dans les anciens périmètres de la basse vallée de la Medjerda cette part est de l'ordre de 60%. Dans les périmètres du Nord-Ouest, elle atteint 75 à 80% (Ministère de l'agriculture, 1995).

<sup>11</sup> Cf. DG/GRHA : « Analyse des frais d'exploitation et de maintenance dans les ppi en gestion directe par les CRDA pour les années 1992 et 1993 » (Décembre, 1994)

**Tableau 8: Concurrence entre eau publique et eau privée**

Région	Périmètre	Consommation brute moyenne en m <sup>3</sup> /ha
Périmètres de la Tunisie Centrale	Périmètres sur barrages	976 m <sup>3</sup>
	Périmètres sur forages	2620 m <sup>3</sup> dont 874 m <sup>3</sup> sur puits de surface
Périmètres du Cap-Bon	Périmètres agrumicoles	5500 m <sup>3</sup> dont 2800 m <sup>3</sup> sur puits de surface
	Périmètres maraîchers	4870 m <sup>3</sup> dont 2100 m <sup>3</sup> sur puits de surface
	Périmètres d'arboriculture mixte	4910 m <sup>3</sup> dont 470 m <sup>3</sup> sur puits de surface

Source : Ministère de l'agriculture, 1995

### 2-2-2 Efficience des réseaux et des systèmes d'irrigation

La sous-utilisation de l'eau ne doit en aucun cas occulter le gaspillage de la ressource. En effet, aussi bien les réseaux d'adduction que les systèmes d'irrigation occasionnent des pertes plus au moins importantes pour acheminer l'eau à la parcelle. Alors on définit le rendement des réseaux appelé encore efficience par le rapport de la quantité de l'eau qui atteint la parcelle à la quantité de l'eau disponible à la ressource.

En 1995 l'efficience des réseaux est estimée entre 40 et 60% alors qu'elle ne devrait pas tomber en dessous de 70% (Ministère de l'agriculture, 1995). Le rendement des réseaux collectifs dépend souvent de l'âge des infrastructures et des conditions de maintenance des équipements. Face à ces faibles rendements, les pouvoirs publics ont du engager une large opération de réhabilitation et d'entretien d'une infrastructure défailante pour préserver la ressource ce qui a porté les rendements à 60% pour les anciens systèmes et à 90% pour les systèmes encore récents. Un rendement moyen, de l'ordre de 80% est considéré réaliste pour l'ensemble des réseaux collectifs du pays (Hamdane,2002)

La gestion de l'eau à la parcelle révèle encore des faiblesses ressenties aussi bien au niveau des systèmes d'irrigation que des pratiques des agriculteurs. En effet à une époque récente, l'irrigation gravitaire traditionnelle (petits bassins) occupait une part importante des périmètres irrigués. L'introduction à grande échelle de l'irrigation par aspersion de type classique a démarré sur les grands périmètres publics du Nord au début des années 1980. les techniques modernes d'irrigation ont pris un grand essor à partir de 1995 à la suite d'une large formation et information dans ce domaine et à des incitations financières substantielles

accordées par l'Etat pour promouvoir l'économie d'eau d'irrigation (subvention de 40 à 60% des coûts des équipements). Ceci n'empêche qu'en 2000, l'efficacité moyenne de la gestion de la ressource à la parcelle est estimée seulement à 68% (Tableau 9) pour la totalité des superficies irrigables dont 37% sont irriguées par la méthode gravitaire traditionnelle avec une efficacité de moins de 60% (Hamdane, 2002).

**Tableau 9: Importance des systèmes d'irrigation à la parcelle**

Méthodes d'irrigation	Superficie équipée (ha)	% de la superficie irrigable	Efficacité réelle
Gravitaire traditionnel	135000	37	50-60%
Gravitaire amélioré	90000	24	65-75%
Aspersion	88000	24	70-85%
Irrigation localisée	55000	15	80-90%
<b>Total</b>	<b>368000</b>	<b>100</b>	<b>68%</b>

Source : Hamdane, 2002

### 2-2-3 Utilisation et intensification de la terre

L'utilisation et l'intensification du facteur terre constituent les deux indicateurs les plus utilisés pour l'appréciation de la mise en valeur des périmètres irrigués. En effet les planificateurs estiment toujours que la disposition d'une main d'eau incite l'agriculteur à travailler non seulement toute la superficie irrigable, mais aussi à concevoir une rotation des cultures de manière à cultiver certaines parcelles au moins deux fois par campagne. C'est ainsi que les projets d'aménagement des périmètres irrigués projettent toujours un taux d'utilisation<sup>12</sup> de 100% et un taux d'intensification<sup>13</sup> qui dépasse les 100% (généralement fixé à 130%).

Cependant les résultats n'ont jamais été au niveau des attentes. Le tableau 10 montre une sous utilisation et une sous intensification permanente des périmètres publics irrigués. Plusieurs recherches et expertises (Attia, 1977 ; Banque Mondiale, 1984 ; Mansour, 1980 ; Amami, 1986 ; Ministère de l'agriculture, 1994) montrent que la situation est chronique et plus que problématique.

$$^{12} \text{ Taux d'utilisation} = \frac{\text{Superficie physique irriguée}}{\text{Superficie irrigable}}$$

$$^{13} \text{ Taux d'intensification} = \frac{\text{Superficie des cultures irriguées}}{\text{Superficie irrigable}}$$

**Tableau 10: Evolution des superficies irriguées en 1000 ha**

Année	Superficie Irrigable	Superficie physique irriguée	Superficie des cultures irriguées	Taux d'utilisation	Taux d'intensification
1992	301	232	251	83	77
1993	328	251	279	85	77
1994	352	287	310	88	82
1995	361	288	315	87	80
1996	365	274	301	82	75
1997	372	317	337	91	85
1998	376	301	345	92	80
1999	376	301	345	92	80
2000	376	301	345	92	80
2001	381	315	346	91	83
2002	391	330	358	92	84
2003	397	314	348	88	79
2004	402	319	356	89	79

Source: Ministère de l'agriculture, 2005

Selon Amami (1986) la mise en valeur des ppi a été déjà en dessous des attentes avec un taux d'utilisation qui ne dépasse pas les 50% tel qu'il est mentionné par le rapport de la Banque Mondiale en 1980. L'auteur signale que la situation est due à la rigidité de gestion et la lenteur des interventions des offices de mise en valeur provoquant une amplification des problèmes et un désintéressement des irrigants pour la mise en valeur de leurs terres. En analysant la situation des ppi dans la région de Sidi Bouzid le rapport de la Banque mondiale 1984 signale que si les offices de mise en valeur ont réussi le développement de l'infrastructure hydra-agricole, ils n'ont pas réussi autant la gestion.

Contrairement à ce qui est indiqué par le tableau 10, Hamdane (2002) enregistre une amélioration du taux d'intensification global des périmètres irrigués qui passe de 83% à 102% entre 1990 et 2000. Il signale que l'aptitude à l'intensification se différencie en fonction de la nature des périmètres. En l'an 2000 les périmètres publics enregistrent un taux d'intensification de 95%, en effet les grands périmètres du Nord sont caractérisés par une sous-utilisation des ressources en eau disponibles et la dualité agriculture irriguée-agriculture pluviale persiste encore sur ces périmètres. Cependant, les taux d'intensification dans les oasis du Sud atteignent des valeurs élevées de l'ordre de 140%. Dans les périmètres privés, le taux d'intensification est de l'ordre de 110% mais le dynamisme de ces périmètres se réalise au dépend d'une surexploitation parfois massive de certaines nappes phréatiques (Cap-Bon, le Kairouannais, Sidi Bouzid).

### III- L'irrigation et la gestion de la demande

A la limite de mobilisation, le pays se trouve confronté à un défi majeur, celui de l'exploitation rationnelle d'une ressource de plus en plus rare. Plusieurs études ont souligné la gravité du problème et la nécessité d'agir pour gérer la demande en eau par les différents utilisateurs (Ministère de l'agriculture, 1995 et 1996). Selon le Plan Bleu sur l'avenir du bassin méditerranéen, la Tunisie est classée parmi les pays où la pression sur la ressource en eau est forte avec un indice d'exploitation<sup>14</sup> des ressources naturelles et renouvelables se situant à 58% (Benblidia et al., 1998). Les ressources en eau disponibles par personne étaient d'environ 540 m<sup>3</sup> par an en 1990, comparées à 1195 m<sup>3</sup> au Maroc. Selon les estimations du Plan Bleu reportées dans Margat (1992), en 2025, les ressources en eau par habitant seront de 310 m<sup>3</sup>/an en Tunisie et de 600 m<sup>3</sup>/an au Maroc. Pour les deux pays cet indicateur serait inférieur à 1000 m<sup>3</sup>/an, seuil jugé critique par différents experts et signe de pénurie chronique. Sur la base de ce concept, la Tunisie est considérée comme un pays où la rareté des ressources en eau risque de poser une contrainte sérieuse au développement de son économie (Thabet et al., 2005). Face à cette situation alarmante, qui menace l'avenir du pays, les pouvoirs publics n'ont pas cessé de déployer des instruments économiques et institutionnels pour réduire le gaspillage de la ressource et maîtriser la demande. Ainsi nous analysons la politique de tarification de l'eau d'irrigation, la stratégie de renforcement de la gestion communautaire et la mise en œuvre du programme national d'économie d'eau.

#### 3-1 La tarification de l'eau

Les coûts et la tarification de l'eau font partie de la gestion de l'eau et ont une influence directe aussi bien au niveau des gestionnaires de l'eau qu'au niveau des utilisateurs. La tarification est un outil d'orientation et de rationalisation de l'utilisation de l'eau. Elle retient un objectif double : (i) la couverture des charges d'exploitation courante (entretien et fonctionnement), de grosses réparations et de renouvellement et (ii) l'incitation des usagers à adopter certains comportements par rapport à l'utilisation de l'eau (Thabet et al., 2005 ; Hamdi, 1997).

Jusqu'à l'avènement du PASA en 1986, l'eau est fortement subventionnée et le prix payé est dérisoire. La faiblesse des tarifs de l'eau d'irrigation a incité les utilisateurs à considérer la ressource en eau comme étant un « don du ciel », alors qu'elle est bien rare, au

<sup>14</sup>L'indice d'exploitation désigne les quantités d'eau prélevées en pourcentage du total théorique des ressources en eau renouvelables moyennes. Toutefois cet indicateur ne tient pas compte des pénuries locales ou conjoncturelles au sein d'un même pays. Cet indice s'élève à 33% en Algérie, 39% au Maroc 93% en Egypte.

même titre que les autres facteurs de production. Il s'en est suivi des gaspillages de la ressource en eau ainsi que les subventions importantes qui grèvent le budget de l'Etat (Thabet et al, 2005). Plusieurs études montre que l'application d'une tarification basse et unique à tous les systèmes de production pourrait engendrer un gaspillage et une mésallocation des ressources et sanctionne ceux qui sont plus efficaces (Sghaier, 1995).

La politique tarifaire suivie depuis 1987, visant à augmenter le prix de l'eau d'irrigation de 15% par an en valeur nominale (9% en terme réel), a porté le taux de recouvrement global des frais d'exploitation et de maintenance de 70% en 1991 à 115% en 2000. Cependant, le niveau des tarifs varie d'une région à l'autre (Tableau 11) et même d'un périmètre à l'autre dans une même région en fonction du coût de revient réel de l'eau, de la valeur ajoutée des cultures pratiquées, de l'ancienneté du périmètre et de considérations socio-économiques locales en rapport avec la capacité de paiement des irrigants.

**Tableau 11: Evolution des coûts moyens et des tarifs de l'eau d'irrigation**  
(Millime/m<sup>3</sup>)

Région	1991			2000		
	Tarif	Coût	Taux de recouvrement	Tarif	Coût	Taux de recouvrement
Nord	45	59	76%	101	85	119%
Sahel	49	87	56%	116	143	81%
Centre	36	81	44%	68	63	107%
Sud	21	35	60%	35	42	83%
<b>Tunisie</b>	<b>43</b>	<b>61</b>	<b>70%</b>	<b>94</b>	<b>82</b>	<b>115</b>

Source : Hamdane, 2002

Outre cette augmentation du prix de l'eau, les pouvoirs publics tentent de repérer le mode de tarification qui permettra d'atteindre au mieux les objectifs visés. Ainsi la structure tarifaire la plus répandue en Tunisie est du type monôme, elle est proportionnelle au volume d'eau consommé. La tarification forfaitaire est quasi-absente et n'est employée que dans des cas particuliers et d'une façon conjoncturelle. La tarification binôme (en prenant compte à la fois de la superficie irriguée pour le terme fixe et le volume de consommation pour le terme proportionnel) est introduite à titre expérimental dans certains périmètres du Nord où l'intensification agricole par l'irrigation reste encore insuffisante. Ermabli (1995) considère que la tarification binôme constituerait déjà un progrès dans la rationalisation de la gestion des eaux mais une tarification polynôme serait peut être plus efficace quant à l'amélioration de cette gestion. Selon l'auteur il n'y a pas de raison de vendre pratiquement au même prix le

m<sup>3</sup> au « fabriquant » de pastèques de juillet août de Jendouba qu'au « fabriquant » de pommes de terre ou de fraises primeurs du Cap-Bon ou de melon de l'extrême sud. Un prix d'hiver, un prix d'été, un prix pour la pastèque de Jendouba, un autre pour la datte du Jérid... telle devrait être la règle (Ennabli, 1995).

### 3-2 La stratégie de gestion communautaire

La dissolution des offices de mise en valeur en 1989 a nécessité la mise en place d'une nouvelle stratégie de gestion de périmètres publics irrigués. Ainsi, l'Etat s'est orienté vers les communautés locales en réactivant le statut des associations d'intérêt collectif (AIC). Cette structure regroupe les irrigants à partir d'un même point d'eau. Conformément au code des eaux<sup>15</sup>, elle peut être créée soit à la demande des usagers, soit sur l'initiative de l'administration lorsqu'il s'agit de l'exploitation d'un périmètre irrigué. Progressivement, l'administration se déchargera de la gestion des ppi pour engager la responsabilité des irrigants particulièrement dans la gestion du réseau et la distribution de l'eau. En 1999, le gouvernement a fait évoluer le statut d'association vers celui du groupement d'intérêt collectif (GIC)<sup>16</sup>. L'objectif est de consolider l'expérience par un élargissement du champ d'action pour couvrir les activités de services en matière d'approvisionnement en intrants et d'écoulement de produits.

En 2002 le nombre des GIC dans le domaine d'irrigation atteint 982. L'évolution de la création de ces structures (figure 1) montre que le nombre a plus que doublé entre 1993 et 2002. Cette évolution a permis à l'administration de transférer 141347 ha soit environ 62% de la superficie des périmètres publics irrigués. En revanche l'importance de ces réalisations ne peut pas occulter certaines difficultés que vivaient ces structures. Elles sont d'ordre

---

<sup>15</sup> L'article 154 (modifié par la loi 87-35 du 6 juillet 1987) stipule que les associations de propriétaires et d'usagers visées à l'article 153 précité prennent la dénomination d'associations d'intérêt collectif et ont pour objet l'une ou l'ensemble des activités ci-après :

- 1) L'exploitation des eaux du domaine public hydraulique dans leur périmètre d'action,
- 2) L'exécution, l'entretien ou l'utilisation des travaux intéressant les eaux du domaine public hydraulique dont elles ont le droit de disposer,
- 3) L'irrigation ou l'assainissement des terres par le drainage ou par tout autre mode d'assèchement,
- 4) L'exploitation d'un système d'eau potable.

Les associations d'intérêt collectif sont dotées de la personnalité civile.

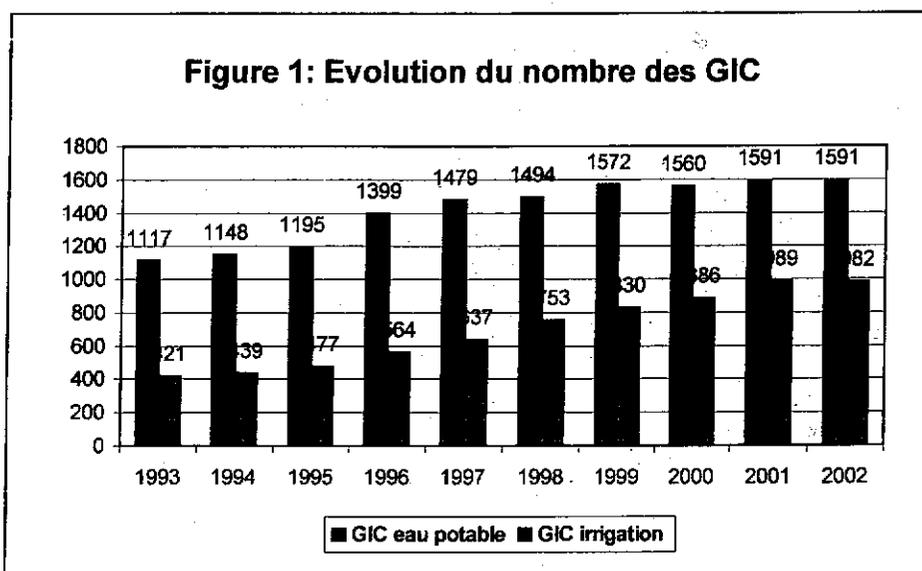
Elle peuvent être créées soit à la demande des usagers, soit à l'initiative de l'administration lorsqu'il s'agit de l'exploitation d'un périmètre irrigué, d'un système d'eau potable ou de zones d'assainissement ou de drainage ou d'assèchement créées ou à créer par l'Etat ou tout autre organisme public ou para-public.

<sup>16</sup> Loi n° 99-43 du 10 mai 1999, relative aux groupements de développement dans le secteur de l'agriculture et de la pêche (Article 6)

organisationnel, relationnel et économique. Selon Ennabli (1995) les difficultés les plus contraignantes se résument à :

- La relation entre AIC et l'autorité locale, entre AIC et service technique
- La composition et le rôle du comité d'AIC (et en particulier celle du président, du secrétaire, du trésorier, du pompiste)
- L'impact de l'AIC sur ses adhérents et leur sensibilisation à ses programmes et à sa gestion

L'analyse du fonctionnement des GIC de la région de Mahdia montre que de telles failles conjuguées aux difficultés financières de certaines structures concourent à la mauvaise exploitation des périmètres irrigués (Chraga et Chemak, 2003). Daoud (1995) constate que la majorité des GIC de la région de Sidi Bouzid manque de dynamisme et ne reflète pas une meilleure gestion de la ressource en eau. En effet il signale que jadis confronté à l'Etat, l'irrigant se trouve aujourd'hui confronté à son GIC: mais l'enjeu est toujours l'eau et son utilisation.



Source: Ministère de l'agriculture (DGGR)

Selon le Ministère de l'agriculture (2001), les tarifs appliqués par les GIC ne permettent pas globalement de couvrir la totalité des coûts d'exploitation. Le coût moyen calculé au m<sup>3</sup> pour l'ensemble des périmètres irrigués gérés par les GIC est de 54 Millimes, par contre les recettes réalisées au m<sup>3</sup> n'atteignent que 49 Millimes, soit un écart négatif de 5 Millimes/m<sup>3</sup>, ce qui pourrait équivaloir à un manque à gagner de l'ordre de 700000 TND par référence aux quantités d'eau servies en 1997. Les GIC qui arrivent à couvrir la totalité de leurs frais d'exploitation représentent 49% des GIC ayant des informations disponibles et seulement 21% des GIC fonctionnelles.

### **3-3 La stratégie d'économie de l'eau**

L'importance du gaspillage de la ressource en eau par irrigation a nécessité la mise en place d'un programme national d'économie en eau (PNEE). Lancé en 1995 ce programme vise : (i) la rationalisation de l'utilisation de l'eau d'irrigation, (ii) une meilleure valorisation économique de celle-ci et (iii) le maintien de la demande en eau à un niveau compatible avec les ressources disponibles.

Ce programme regroupe plusieurs actions d'ordre technique, économique et institutionnelle qui se résument à :

- réhabiliter et entretenir des réseaux d'adduction.
- améliorer les techniques d'irrigation au niveau de l'exploitation.
- améliorer la technicité des ouvriers irrigants et sensibiliser les agriculteurs aux pratiques permettant des économies d'eau
- activer davantage la contribution des GIC à la gestion de la ressource en eau

La mise en œuvre de ce programme est favorisée par un ensemble de mesures d'accompagnement et notamment :

- la décision présidentielle du 12 mai 1995 qui consiste à augmenter le taux de subvention d'investissement (projet en économie d'eau) de 25% à 40, 50 et 60% selon la catégorie de l'agriculteur (respectivement pour les grand, moyen et petit).
- la circulaire ministérielle du 19 septembre 1998 de ne pas tenir compte de l'endettement des agriculteurs pour l'octroi de la subvention.
- l'augmentation, en 1998, de la subvention au profit des GIC de 50 à 60%.
- la décision du conseil ministériel du 21 juin 2001 pour l'octroi d'une subvention de 20 à 30% pour le renouvellement des équipements d'économie d'eau en irrigation.

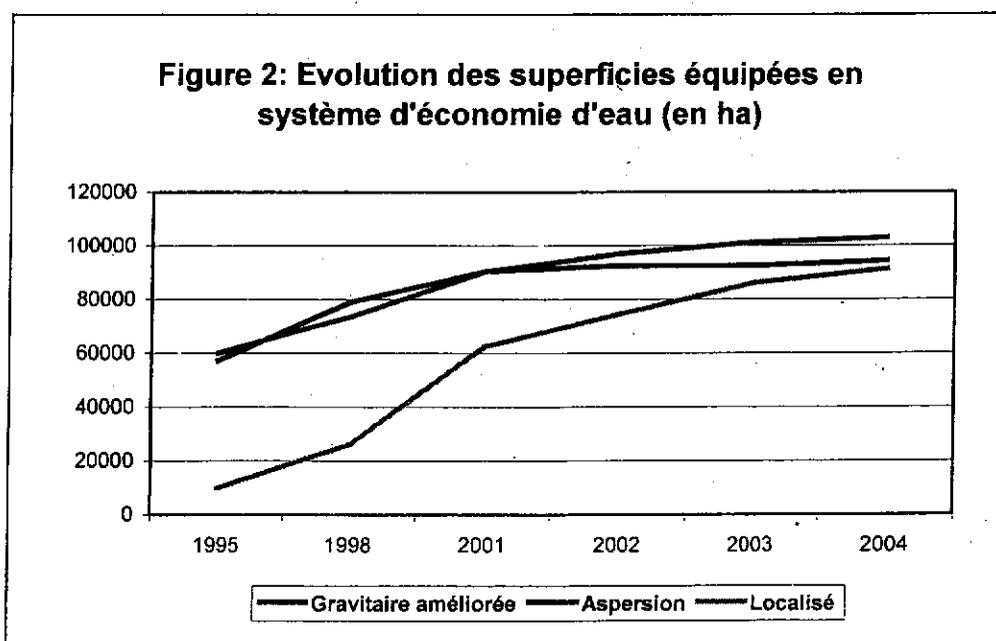
Grâce à ces mesures d'accompagnement l'Etat s'est fixé comme objectif d'équiper, à l'horizon 2009, tous les périmètres irrigués en système d'économie d'eau.

L'irrigation de surface traditionnelle est à l'origine d'un important gaspillage d'eau et consomme près de 75% de l'eau d'irrigation. Après l'introduction de techniques d'économie d'eau, l'irrigation traditionnelle n'occupe plus que 46% de la superficie totale irriguée (Ministère de l'agriculture, 2001). En 2004, les superficies irrigables équipées en système d'économie d'eau atteignent 288000 ha de périmètres publics et privés soit environ 75% des

superficies aménagées (383000 ha). Elles sont réparties entre (i) système en gravitaire amélioré 94000 ha (ii) aspersion 103000 ha et (iii) irrigation localisée 91000 ha.

L'évolution de ces réalisations (figure 2) montre l'importance de l'adoption des systèmes d'irrigation localisés. En effet les superficies équipées passe de 10000 ha en 1995 à 91000 en 2004. Ces réalisations ont nécessité un investissement de 631 Millions TND dont 312 Millions de subventions soit environ 50%. L'évolution de ces investissements montre l'accroissement remarquable du montant de la subvention qui est passée de 14 Millions en 1996 à 49 Millions de TND en 1999 enregistrant un dépassement de 49% des fonds alloués à cette rubrique. Le rapport de l'administration (Ministère de l'agriculture, 2005) montre que cette adhésion massive des agriculteurs a permis d'ores et déjà des économies d'eau estimées entre 15 et 20% au niveau de certains ppi. L'adoption des systèmes d'économie d'eau a permis aussi:

- Une meilleure organisation de la distribution de l'eau au niveau des ppi avec parfois une réduction de la période du tour d'eau qui est passé de 35 à 20 jours au niveau des oasis.
- Une réduction des risques d'engorgement et de salinisation des sols.
- Une extension des superficies des cultures et particulièrement au niveau des exploitations avec des potentialités réduites
- Une amélioration nette de la production tant en quantité qu'en qualité



Source: Ministère de l'agriculture, 2004

## Conclusion

La politique hydraulique et les stratégies de mobilisation de la ressource en eau ont permis d'étendre le potentiel irrigable qui atteint 418 000 ha soit environ 8% de la superficie agricole du pays. L'objectif primordial, recherché par les pouvoirs publics, s'attache à l'accroissement et la diversification de la production. Ainsi le secteur irrigué contribue avec 35% de la production nationale avec une volonté politique d'atteindre les 50% dans les années à venir. Cependant l'effort de mobilisation atteint ses limites et le contexte de la raréfaction de la ressource est posé avec acuité. Désormais, les efforts devraient s'orienter vers la gestion de la demande avec particulièrement la rationalisation de l'usage agricole aussi bien au niveau des périmètres publics que privés.

La gestion des périmètres irrigués constitue une problématique de fonds. Cette problématique tient à la réalité d'usage des facteurs de production et en particulier l'eau et la terre. Alors qu'une sous utilisation et une sous intensification du facteur terre caractérisent toujours les périmètres irrigués, l'usage de l'eau montre une dichotomie d'exploitation préoccupante. En effet on constate une sous utilisation de l'eau d'irrigation au niveau des périmètres publics alors que les périmètres privés surexploitent généralement la ressource (Treyer, 2002). En revanche l'usage de l'eau d'irrigation révèle aussi un gaspillage de la ressource que les pouvoirs publics tentent de réduire par la révision à la hausse de la tarification et la mise en place du programme nationale d'économie d'eau. En vertu de ce constat comment peut on concilier les objectifs d'accroissement de la production et de rationalisation d'usage de l'eau d'irrigation? Quels sont les moyens à mettre en œuvre pour éviter la surexploitation des nappes phréatiques et préserver un usage durable de la ressource ?

Particulièrement concernée par ces questions la région de Sidi Bouzid, ancien territoire pastorale, doit son développement économique et social à l'introduction de l'irrigation. Le secteur irrigué assure déjà 50% de la production agricole de la région mais la question d'usage rationnel et durable de la ressource en eau est pertinemment posée. Alors que Attia (1977) dénote déjà la sous utilisation et le gaspillage de la ressource au niveau des ppi ; Daoud (1995) évoque même un désintéressement des irrigants avec le retrait de l'Etat et le passage à la gestion collective.

La prolifération spectaculaire des puits de surface a provoqué la surexploitation de la nappe phréatique. Depuis 1985 l'Etat a érigé certaines zones en périmètres d'interdiction alors que les agriculteurs poursuivent toujours la création des puits de surface. Abaab (1999) constate que le model de modernisation agricole dans la région atteints ses limites en raison de la pression exaspérée sur les ressources naturelles et particulièrement les effets pervers de l'intensification de l'irrigation (surexploitation des nappes, salinisation des sols). Ainsi nous consacrerons la suite de ce document à l'analyse du fonctionnement de l'activité en irrigué dans cette région dans la perspective d'identifier des éventuelles pistes de rationalisation et de valorisation de l'usage de la ressource.

## Chapitre II

### Analyse du fonctionnement des périmètres irrigués dans la région de Sidi Bouzid

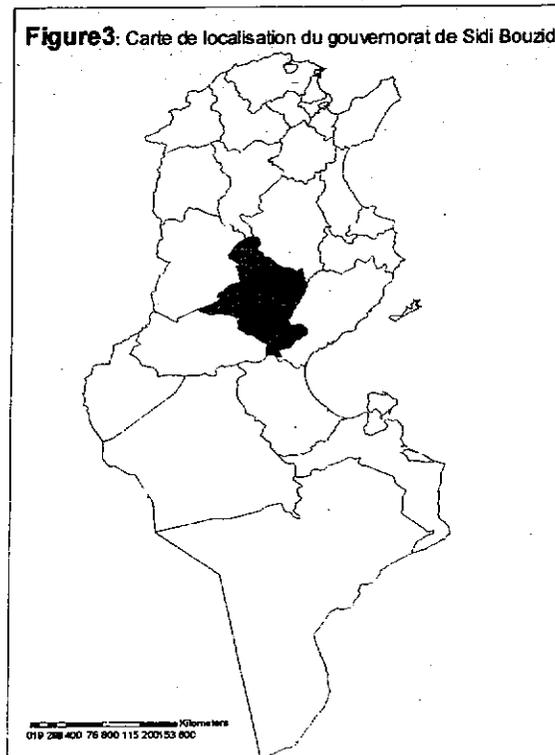
#### I- La problématique du secteur irrigué dans la région de Sidi Bouzid

##### 1-1 Présentation de la région

La région de Sidi Bouzid constitue un vaste territoire situé au Centre du pays (figure 3). La superficie totale de la région compte 740 000 ha soit 4,8% de la superficie du pays. En 2004 la région compte 395 000 habitants soit environ 4% du total de la population tunisienne. La population active agricole s'élève à 138 000 dont 23% permanent. Depuis 1973 la région est érigée en gouvernorat dont le chef lieu se trouve à Sidi Bouzid même.

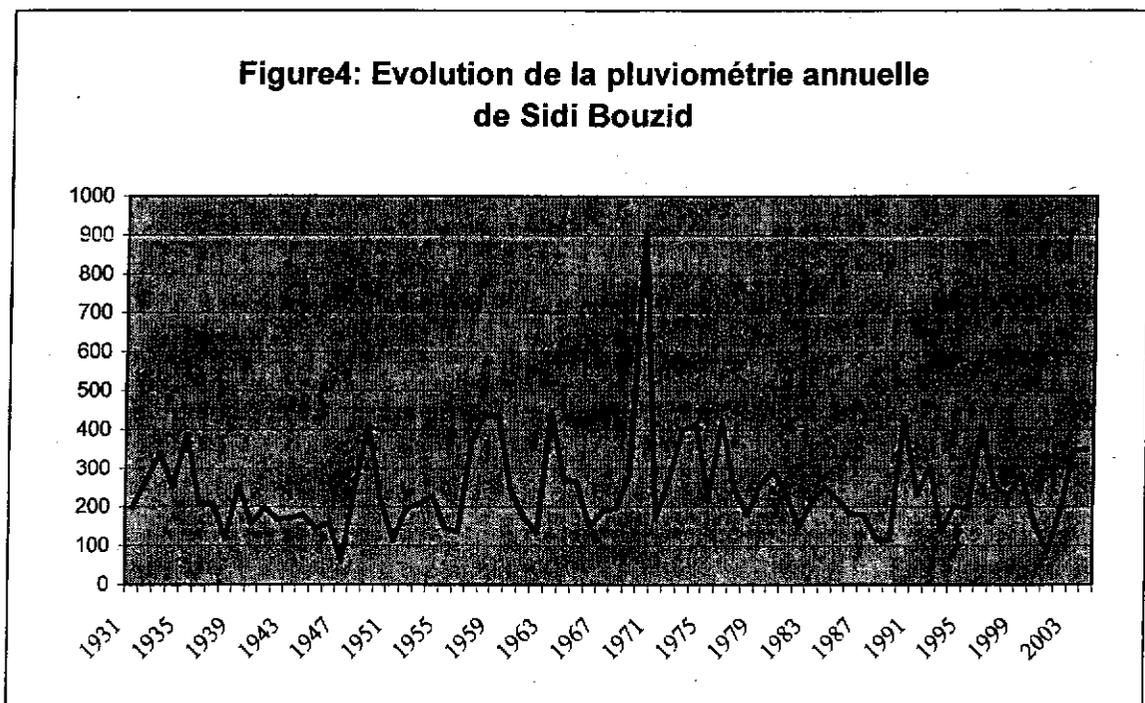
La région constitue une zone de transition et de contact entre la Tunisie méridionale, à bioclimat aride et désertique, et la Tunisie septentrionale où l'aridité cède la place progressivement à un climat plus humide. Sur le plan des unités naturelles, le territoire du gouvernorat constitue la transition entre les hautes steppes situées au Centre-Ouest de la Tunisie et les basses steppes littorales du Centre-Est et Sud-Est. Cet emplacement confère à la région une situation bioclimatique relativement défavorisée mais des ressources naturelles importantes qui vont constituer un atout du développement agricole de la région (Abaab, 1999). Dans ce qui suit nous présenterons le climat de la région, les potentialités hydriques et édaphiques.

Figure3: Carte de localisation du gouvernorat de Sidi Bouzid



### 1-1-1 Le climat

Le gouvernorat de Sidi Bouzid appartient à l'étage bioclimatique semi-aride pour le Nord et aride pour le Sud. La pluviométrie annuelle moyenne dans la région est de l'ordre de 250 mm mise à part les ensembles montagneux où elle peut atteindre des moyennes de 500 à 700 mm/an alors qu'elle tombe à moins de 150 mm dans le sud de la région. Cette pluviométrie est caractérisée aussi par une variabilité inter-annuelle très importante (figure 4). Par exemple la station de Mekkassy a connu des années très sèches comme 1949-50 avec 61,5 mm et des années très pluvieuses comme 1969-70 avec 689 mm. Cette variabilité cause généralement des catastrophes aussi bien en année sèche qu'en année pluvieuse. C'est ainsi que les inondations de janvier 1990 ont engendré des dégâts énormes évalués par une mission de la FAO à 1487 milles dinars soit 79% du total des dégâts du Centre Ouest (Abaab, 1999)



Source: CRDA<sup>17</sup> Sidi Bouzid

La température moyenne mensuelle est de 28°C durant le mois le plus chaud (août) et de 10°C durant le mois le plus froid (février). Cependant cette température atteint souvent des niveaux inférieurs à 0°C pendant les mois de janvier et février et plus de 40°C pendant les mois de juillet et août. Cette variation de température a des grandes conséquences sur l'activité agricole en irrigué. Les températures très basses d'hiver limitent les possibilités de pratiquer les cultures légumières hors saisons alors que celles d'été, très élevées augmentent énormément les pertes d'eau par évapotranspiration. Les vents au niveau de la région sont fréquents et souvent violents. Selon les saisons on constate trois types de vent : (i) les vents

<sup>17</sup> CRDA : Commissariat Régional de Développement Agricole

froids d'hivers venant du Nord et du Nord-Ouest pendant la plus grande partie de l'année, (ii) les vents de sable du printemps soufflant de l'Ouest et (iii) les vents chauds ou le Sirocco de l'été. Ces derniers soufflent pendant 30 à 40 jours par an et surtout durant les mois de juin en août. Les effets du Sirocco sur les apports en eau d'irrigation sont très importants. Ces vents chauds augmentent l'évapotranspiration et causent des dégâts au niveau des cultures (Dhiabi, 1993).

### 1-1-2 Les ressources hydriques

La région de Sidi Bouzid est dotée d'un potentiel en eau mobilisable estimé à 282 Millions de m<sup>3</sup> soit 6% du potentiel national et le tiers des ressources mobilisables au niveau du centre du pays. Ce potentiel est représenté par des eaux de surface à concurrence de 46% alors que le reste est fourni par les eaux souterraines. Le taux d'exploitation atteint seulement 67% (Tableau 12).

Les eaux de surface sont identifiées grâce à un réseau hydrographique relativement dense autour de deux systèmes de drainage représentés dans le Nord par Oued Elfakka et dans le Sud par Oued Leben. Les différents affluents prennent source dans les hautes altitudes de l'Ouest de la région pour alimenter les nappes souterraines et offrir des quantités d'eau pour les zones d'épandage situées principalement autour de l'Oued Elfekka et ses affluents. Les eaux de surface, estimées à 131 millions de m<sup>3</sup>, sont exploitées seulement à concurrence de 46%.

**Tableau 12: Répartition des ressources en eau disponibles en Million de m<sup>3</sup>**

Sources	Ressources mobilisables	Ressources exploitées	%
<b>Eaux de surface</b>	131,1	60	46
<b>Nappes profondes</b>	88,8	55,2	62
<b>Nappes phréatiques</b>	62	73,4	118
<b>Total</b>	<b>281,9</b>	<b>188,6</b>	<b>67</b>

Source: CRDA Sidi Bouzid, 2006

Les eaux souterraines proviennent de 10 nappes phréatiques et de 9 nappes profondes. En matière d'exploitation les nappes profondes atteignent un taux de 62%. Ce taux est variable d'une nappe à l'autre. En effet nous pouvons signaler la surexploitation de la nappe Hajeb-jelma qui atteint un taux de 114% alors que les nappes Horchaine, Oued Elhejel et Sabekhet Ennouel ne sont exploités qu'à concurrence de 16% en raison d'une salinité qui dépasse généralement 4g/l. Cette exploitation des nappes profondes est réalisée grâce à la création de 353 forages.

L'exploitation des nappes phréatiques réalisée par plus de 10000 puits de surface enregistre un taux de 118%. Ce taux est variable selon les nappes. En effet la surexploitation est excessive au niveau de la plaine de Gamouda (Sidi Bouzid Ouest) avec un taux qui atteint 171% pour la nappe de Braga. En revanche certaines nappes sont sous exploitées avec un taux seulement de 38% en raison d'une salinité élevée qui dépasse généralement 4g/l. C'est le cas des nappes Oued Hjel, Sabkhet Nouel, Elmech, Elounassia et Sabkhet Elbhira. La surexploitation de certaines nappes est révélée depuis les années de 1980.

L'exploitation de ces ressources permet de subvenir aux besoins de l'agriculture et à la demande en eau potable dont les usages représentent respectivement 87,8% et 11,9% alors que l'industrie n'utilise que 0,3%. Le Tableau 13 présente la répartition de ces usages selon la nature de la ressource.

**Tableau 13: Répartition de l'usage des ressources en eau dans la région de Sidi Bouzid en Million de m<sup>3</sup>**

Nature de la ressource	Agriculture	Eau potable	Industrie	Total
<b>Eaux de surface</b>	60			60
<b>Nappes profondes</b>	32,2	22,4	0,6	55,2
<b>Nappes phréatiques</b>	73,4			73,4
<b>Total</b>	<b>165,6</b>	<b>22,4</b>	<b>0,6</b>	<b>188,6</b>
<b>%</b>	<b>87,8</b>	<b>11,9</b>	<b>0,3</b>	<b>100</b>

Source: CRDA Sidi Bouzid, 2006

### 1-1-3 Le relief et la nature du sol

Vu son emplacement et sa position de transition entre les hautes et les basses steppes, la région de sidi Bouzid est caractérisée par un milieu naturel diversifié. Son relief est montagneux de basse altitude avec un maximum de 1376 m (Djebel Mghila). Un ensemble de montagnes (Mghila, El Kabar, Melloussi, Zebbeus...) se répartissent sur le territoire de la région et délimitent un certain nombre de bassin qui confèrent à la région une diversité de structure édaphique et de paysage phyto-écologique. Les piémonts des montagnes traversés par les oueds (El fekka, El hejel, El Ghoul...) constituent un potentiel agronomique remarquable.

Les sols de la région qui sont en général des sols peu évolués, dans lesquels prédominent les textures légères, peuvent être caractérisés selon leur morphopédologie. En effet nous trouvons sur les versants montagneux des sols squelettiques où la roche mère affleure souvent. Au niveau des piémonts immédiats qui constituent la transition entre les

versants montagneux et les glaciers, les sols sont peu évolués et reflètent l'importance des phénomènes de transport aussi bien par le vent que par l'eau. La texture de ces sols est sablonneuse. Sur les grands glaciers nous retrouvons les sols bruns steppiques (isohumiques) les plus répandus. Il s'agit de colluvions et d'alluvions ainsi que des dépôts d'origine hydro-éolienne de texture grossière, sableuse, qui deviennent sablo-limoneux ou même limoneux vers l'aval. Ces dépôts sont peu épais et dépassent rarement 5 à 6 mètres. Ils sont les plus recherchés par les agriculteurs de la région pour les plantations arboricoles. L'olivier par exemple s'adapte parfaitement à la structure grossière de ces sols qui favorise l'infiltration des eaux pluviales et la pratique de plusieurs façons culturales par an. En fin au niveau des plaines et des cuvettes les sols sont formés principalement d'alluvions à texture moyenne (sables fins), fine (limon) à très fine (argile) avec souvent une forte dose de gypse liée à des apports hydriques et éoliens (Abaab, 1999 ; Attia 1977).

La région compte 32700 ha de terres salines non exploitées soit environ 4% de la superficie totale. On estime aussi que la fertilité du sol au niveau des périmètres irrigués se dégrade d'une année à l'autre par la salinisation en raison de la salinité élevée de certaines nappes et en absence de toute action de drainage. Par ailleurs nous signalons que les terres de la région de Sidi Bouzid sont menacées par la désertification. On estime que cette menace concerne 44% des terres soit environ 300000 ha dont 110000 ha dans une situation préoccupante et nécessite une intervention immédiate (CRDA Sidi Bouzid, 2006).

## **1-2 Développement de l'agriculture et importance du secteur irrigué**

### **1-2-1 Evolution du potentiel agricole**

Nous rappelons que le processus de développement et de modernisation agricole a misé sur le défrichement des parcours par l'extension des plantations arboricoles et l'introduction de l'irrigation. En effet L'Etat a profité de la conjoncture de sécheresse prolongée au début des années 60 pour engager dès 1962, année de création de l'office de Sidi-Bouzid, une campagne ininterrompue pendant 10 ans de défrichement et de plantations grâce à la mobilisation massive de la population dans des chantiers de mise en valeur dont dépendait leur survie (Attia, 1998). En 1974, et avec la fin de la politique coopérative dont l'action a porté surtout sur les plantations arboricoles et les périmètres publics irrigués, la région de Sidi Bouzid a déjà acquis un potentiel agricole non négligeable composé de 177000 ha de plantations arboricoles, 8700 ha de périmètres irrigués et un élevage extensif à

dominante pastorale composé essentiellement de 305000 têtes ovines et 9750 têtes bovines (Abaab, 1999).

Grâce aux efforts des pouvoirs publics et au développement de l'initiative privée, la mise en valeur de la région a continué durant ces trois dernières décades pour permettre à l'activité agricole d'acquérir un véritable pouvoir marchand par la diversification (figure 5) et l'importance de sa contribution à l'économie régionale voire nationale. Ainsi, en 2004, le potentiel de la région est composé de :

- 271 000 ha de plantations arboricoles dont 200000 ha d'olivier
- 316 000 têtes de brebis mères
- 15 400 têtes de vaches laitières dont 9350 têtes de race améliorée.
- 35 500 ha de superficie irrigable outre 13000 ha en irrigation complémentaire par les eaux d'épandage et lacs collinaires.

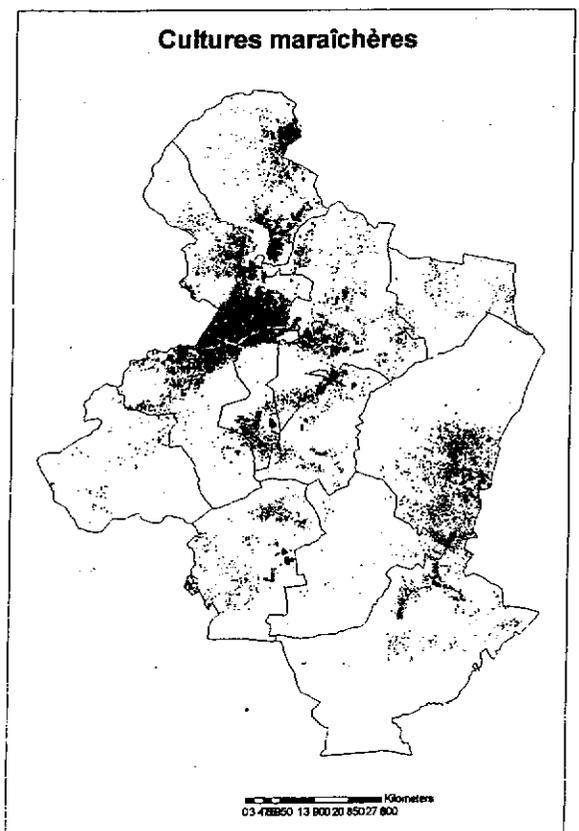
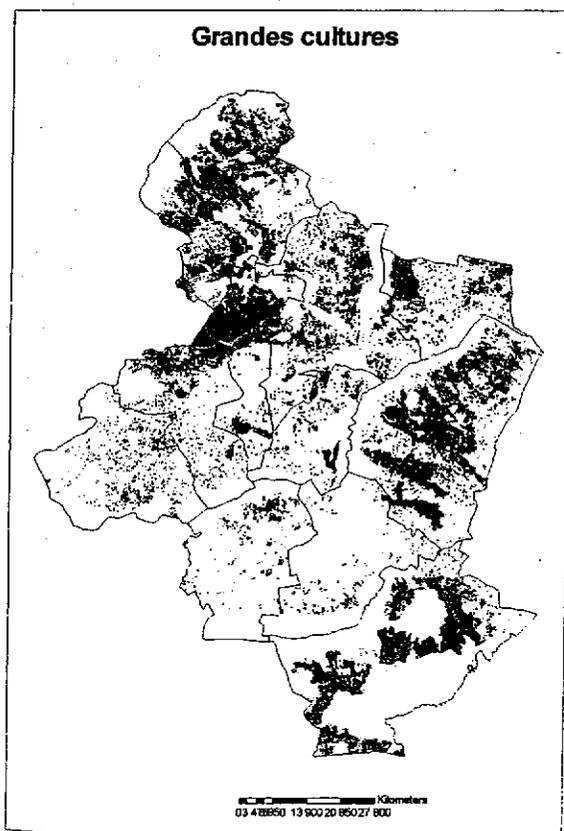
**Tableau 14: Evolution de la moyenne des emblavures et de la production végétale**

	Superficie (ha)			Production (T)		
	80-89	90-99	2000-04	80-89	90-99	2000-04
<b>Arboriculture</b>	250000	282000	268000	36000	54000	64000
<b>Olivier</b>	153000	173000	194000	28000	40000	53000
<b>Cultures céréalières</b>	79000	85000	69000	21000	79500	61200
<b>Cultures maraîchères</b>	9500	13800	14300	188000	312000	351000
<b>Cultures fourragères</b>	2100	7000	9700	57000	100000	246000

Source: Nos calculs à partir de l'annexe 1

L'analyse de l'évolution des emblavures et de la production afférente (annexe1) montre des fluctuations importantes principalement dues à l'irrégularité pluviométrique. Ainsi nous avons calculé des moyennes pour les décennies 1980-1989, 1990-1999 et le quinquana 2000-2004 (Tableau 14). L'analyse de ce résultat montre tout d'abord que la sécheresse prolongé des années 1999-2002 a été marquée par la réduction des superficies de l'arboriculture suite à la destruction des centaines de milliers de plantations (1,2 millions d'amandier). Cette sécheresse a eu aussi un impact négatif sur l'activité céréalière dont la moyenne de superficie a baissé à 69000 ha contre 79000 ha durant les années 80 et 85000 ha durant les années 90. Mais globalement nous pouvons signaler un développement certains de l'activité agricole qui a permis en l'espace de deux décennies d'accroître en moyenne la production arboricole de 77%, la production d'olive de 89%, la production céréalière de 190% et la production maraîchère de 87%.

**Figure 5 : Occupation du sol du gouvernorat de Sidi Bouzid**



Source: Carte agricole, 2005

L'activité fourragère est nettement améliorée en raison du développement de l'élevage bovin laitier qui a permis à la région de s'affirmer comme l'un des bassins laitiers de la Tunisie avec une production laitière de 54000 tonnes en 2004 soit 6% de la production nationale.

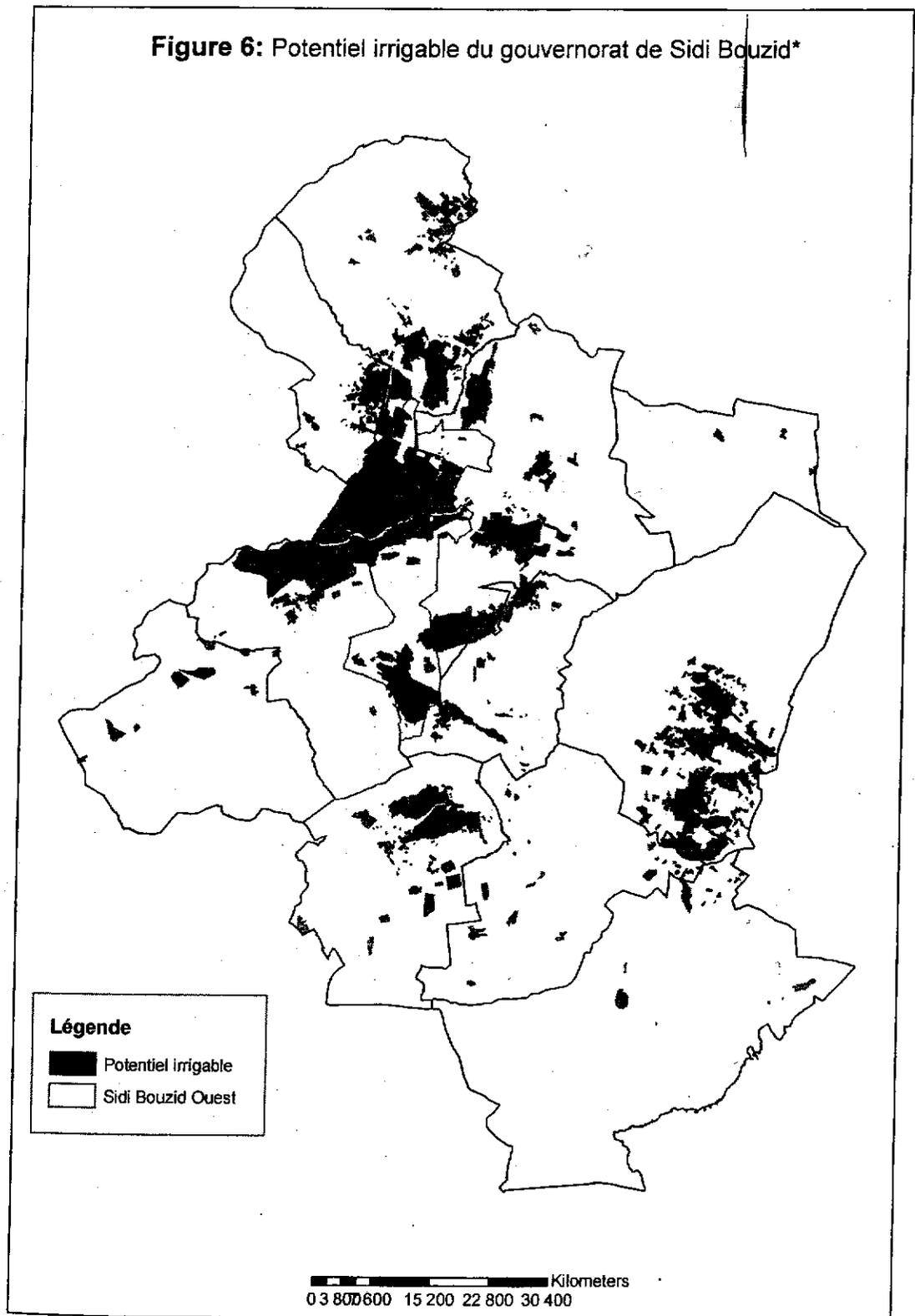
Le développement du potentiel agricole a permis à la région d'occuper une place importante à l'échelle nationale. En effet elle contribue avec 18% de la production maraîchères alors qu'elle vient en tête des régions productrices de pastèque et du melon et occupe la deuxième place pour la production de la tomate et des amandes.

### **1-2-2 Importance de l'agriculture irriguée**

Comme nous venons de l'expliquer, l'activité agricole dans la région de Sidi Bouzid a connu des mutations profondes. Face aux conditions climatiques défavorables les pouvoirs publics ont misé sur le développement du secteur irrigué grâce à la mobilisation des eaux souterraines. C'est ainsi qu'à partir de 1958 fut créés les premiers périmètres publics irrigués (ppi). Durant trois décades la mise en valeur des ppi a été largement soutenue par la politique d'incitation. Jusqu'au début des années 80, la distribution de l'eau était gratuite et la majorité des intrants était offerte par les services publics. L'objectif primordial de cette politique reste la sédentarisation de la population et l'amélioration de leurs conditions socio-économiques. Au fil des années, la politique d'incitation a touché le secteur privé qui s'est engagé massivement dans la création des puits de surface et l'extension des superficies irriguées. Le développement du secteur irrigué a permis à la région un développement socio-économique remarquable avec un positionnement indéniable à l'échelle nationale.

Au moment de la création du gouvernorat de Sidi Bouzid en 1974, la région comptait seulement 10 ppi totalisant 1800 ha et 1800 puits de surface permettant d'irriguer environ 4000 ha. En 2004, le nombre de ppi est passé à 48 portant la superficie irrigable à 4926 ha alors que le nombre de puits de surface atteint plus de 10000 puits permettant l'irrigation d'une superficie estimée à 27000 ha. Outre, la région comptait des périmètres privés à partir de 149 forages ainsi que 2300 ha de superficie irrigable gérée par le secteur organisé (office des terres domaniales et sociétés de mise en valeur). Ainsi le potentiel irrigable de la région atteint 35426 ha (Tableau 15). Nous signalons aussi que la région disposait des périmètres d'épandage dont l'irrigation est étroitement liée aux eaux des crues des oueds (principalement oued El fakka). Ces périmètres s'étalent sur une superficie estimée à 12000 ha.

**Figure 6: Potentiel irrigable du gouvernorat de Sidi Bouzid\***



\*y compris les périmètres d'épandage

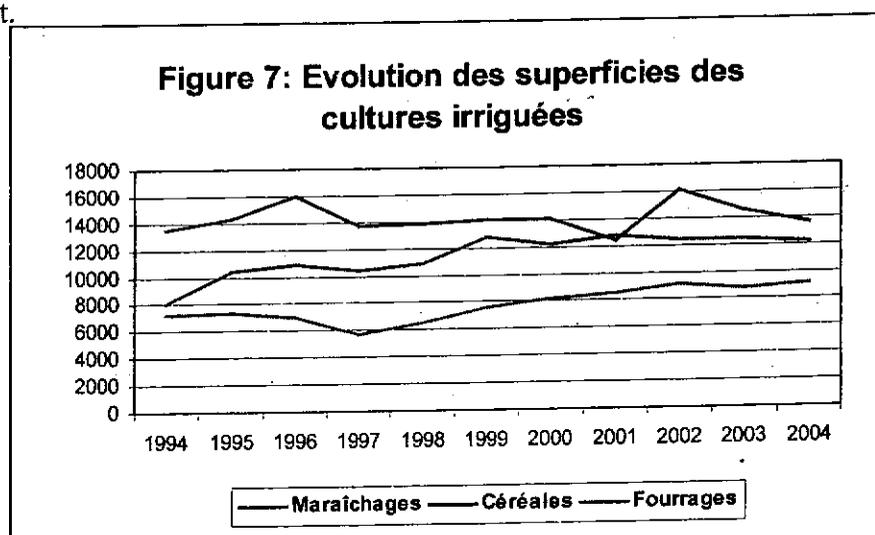
Source : Carte agricole, 2005

**Tableau 15: Répartition du potentiel irrigable du 2004  
selon la source d'irrigation**

Désignation	Nombre	Superficie irrigable	%
Périmètres publics irrigués	48	4962	14
Périmètres privés		28200	80
Puits de surface	9542	27000	
Forages	149	1200	
Secteur organisé		2300	6
<b>Total</b>		<b>35426</b>	<b>100</b>

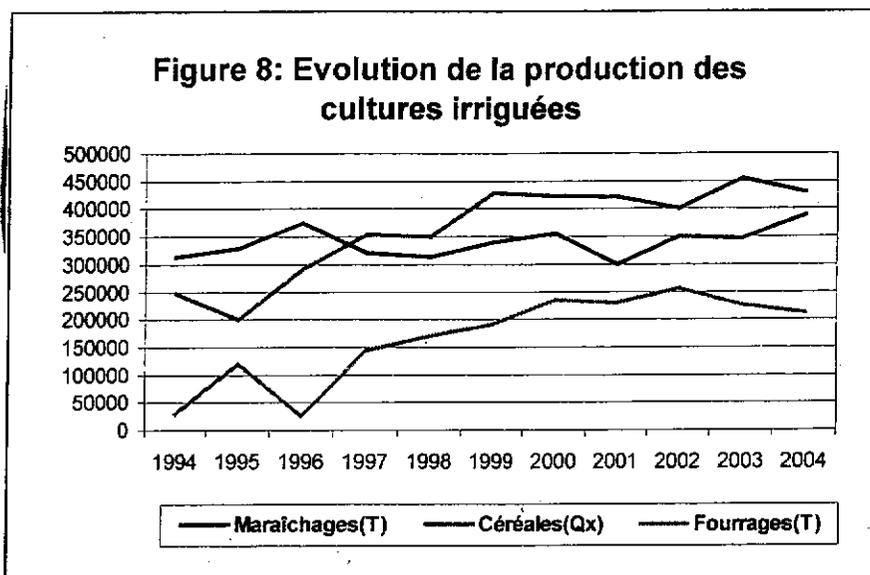
Source: CRDA Sidi Bouzid, 2006

Ce potentiel irrigable a favorisé le développement des cultures irriguées qui occupaient en 2004 une superficie d'environ 35000 ha répartis entre cultures maraîchères (39%) cultures céréalières (35%) et cultures fourragères (26%). Le secteur irrigué contribue avec environ 50% de la production de la région en assurant la totalité de la production maraîchère et fourragère et environ les deux tiers de la production céréalière. Avec 12000 ha de cultures céréalières irriguées, la région occupe la quatrième place à l'échelle nationale. Le rendement des cultures céréalières atteint 30 qx/ha contre seulement 10 qx/ha en cultures pluviales<sup>18</sup>. L'importance de la production maraîchère a permis à la région d'occuper la troisième place à l'échelle nationale et de contribuer avec 15% à 18% de la production du pays. Le gouvernorat de Sidi Bouzid est en tête des régions productrices du pastèque et du melon et occupe la deuxième place pour la production de la tomate stimulée par trois unités de transformation qui mettent à la disposition des irrigants des contrats de culture tout en proposant des crédits en nature (intrants et matériels d'irrigation) ainsi que des services d'encadrement.



Source: CRDA Sidi Bouzid (voir annexe 2)

<sup>18</sup> Le rendement de 10 qx/ha est réalisée grâce à une bonne pluviométrie enregistrée durant la campagne 2003 alors que les statistiques montre que la moyenne des rendements au cours des 20 dernières années ne dépasse pas 2,8 qx/ha.



Source: CRDA Sidi Bouzid (voir annexe 2)

### 1-3 Problématique de recherche

La volonté des pouvoirs publics conjuguée à l'initiative et l'engagement massif des paysans ont stimulé la mise en valeur et le développement agricole dans la région de Sidi Bouzid. La mobilisation des ressources en eau et l'expansion des superficies irrigables ont favorisé un dynamisme socio-économique remarquable. Les premiers périmètres publics irrigués, créés dès l'indépendance du pays en 1956, étaient conçus comme des « pôles de développement agricole » qui devaient permettre la diversification et l'accroissement de la production et de l'élevage ovin. Parallèlement aux objectifs économiques, l'Etat visait la structuration et la formation d'une paysannerie moyenne, afin d'enrayer la paupérisation d'une société pastorale en pleine désagrégation (Attia, 1985). Ainsi l'impulsion étatique du développement agricole dans la région a été rapidement prise en charge par cette paysannerie largement fragilisée par les conditions climatiques défavorables. Un effet d'entraînement s'est déclenché avec la multiplication rapide des exploitations familiales sur puits de surface qui détiennent aujourd'hui 80% du potentiel irrigable.

Certes, l'introduction de l'irrigation a permis la modernisation de l'activité agricole et l'amélioration des conditions socio-économiques des paysans mais les réalisations restent toujours en dessous des attentes avec parfois des effets négatifs. Abaab (1999) constate que parallèlement aux effets positifs sur la production agricole régionale, la modernisation du secteur agricole s'est traduite aussi par des externalités négatives au niveau des ressources naturelles : rabattement des nappes, salinisation et perte de fertilité des sols et affaiblissement

du couvert végétal naturel. En 1984, un rapport de l'office de mise valeur des périmètres irrigués de Sidi Bouzid signale que la multiplication rapide des puits de surface de 1980 (2500 puits) à 1984 (5000 puits environ) a posé le problème de la surexploitation de certaines nappes phréatiques avec une baisse conséquente du niveau pizométrique. Le même rapport dénote que 30% des puits existants en 1984 ont un teneur en sel supérieur à 3g/l. Conscient de la gravité du problème l'Etat a décrété<sup>19</sup>, depuis 1982, certaines zones en périmètres de sauvegarde et d'interdiction.

Alors que les exploitations familiales sur puits de surface connaissent un essor sans précédent le fonctionnement des ppi n'a jamais satisfait les prévisions. Attia (1985) signale que depuis trois décennies les ppi ne cessent de se heurter à des difficultés multiples; en particulier l'incapacité de l'administration de maîtriser et d'assurer la maintenance et le fonctionnement de l'infrastructure hydraulique par des ruptures multiples dans le cycle de l'irrigation avec des conséquences désastreuses sur les rendements. Elle se traduit aussi par les frais des réparations et de «réhabilitations» répétées qui démultiplient les coûts de production de l'eau et mettent en cause la viabilité économique de ces périmètres irrigués.

En outre plusieurs travaux de recherche aussi bien au niveau régional que national montrent que l'exploitation des périmètres irrigués –publics et privés- est toujours entravée par des difficultés structurelles (Attia 1977 et 1985; Dargouth, 1979; Mansour, 1980, Guesmi 1991; Daoud 1995; CRDA Sidi Bouzid 1998). L'exiguïté des superficies aggravée par les partages successoraux n'offre pas les conditions adéquates de mise en œuvre des technologies de production. Le manque de moyens financiers et les difficultés d'accès aux crédits bloquent les investissements et limitent les choix culturels. L'absentéisme et la pluri-activité stimulent la sous utilisation des ressources et la faible valorisation des investissements.

Par ailleurs l'avènement du PASA en 1986 a démantelé progressivement le soutien dont bénéficient les irrigants. La nouvelle politique s'est traduite par une hausse des coûts de production et des difficultés de financement. Si, lors de la mise en place des ppi, le facteur social a prévalu (sédentarisation des nomades, amélioration du cadre de vie, etc...), aujourd'hui c'est l'économique qui prévaut (Daoud, 1995). La gestion de la ressource est,

<sup>19</sup> En 1982 la zone de Sadaguia-Om Laadham (Sidi Bouzid Ouest) est déclarée périmètre de sauvegarde (Décret n°82-1461 du 19 novembre 1982) mais ceci n'a pas empêché l'évolution de la surexploitation vers une situation alarmante qui a nécessité de déclarer la zone en périmètre d'interdiction (décret n°85-250 du 7 février 1985)

désormais, transférée à la communauté des irrigants dont l'adhésion à une action collective ne semble pas systématique. En effet des conflits d'intérêt conjugués aux difficultés de fonctionnement des GIC vont créer parfois un désintéressement total de la pratique d'irrigation au sein du périmètre.

Face à ce nouveau contexte économique et institutionnel les irrigants ont développé différentes stratégies pour maintenir un éventuel équilibre financier. Certains irrigants vont déployer des revenus extra agricoles pour assurer leurs besoins en financement. Les choix cultureux des irrigants vont se concentrer sur les spéculations les plus rentables pour faire face à l'augmentation progressive des prix des intrants. Eu égard de la disponibilité de la ressource en eau, des irrigants seront contraint parfois à réduire les superficies ou à créer<sup>20</sup> des puits de surface pour satisfaire leur demande (Daoud, 1995).

La stratégie de création de puits de surface parfois à l'intérieur même du PPI a été déjà constaté par Attia (1985) en raison du faible revenu et des difficultés de l'exercice de l'activité irriguée au sein des ppi. Aujourd'hui le recours à une telle stratégie est un phénomène plus au moins répandu dans la région de Sidi Bouzid. Mais en dépit des justifications apportées pour la création de cette deuxième source d'irrigation, nous signalons que son usage ouvre le débat quant à la complémentarité ou la rivalité des ressources. Dans un contexte comme dans l'autre la question de valorisation et d'usage rationnel de la ressource constitue toujours une interrogation cruciale. La mission d'évaluation du projet irrigué FIDA (1984-1993) dénote déjà que la rentabilité de l'activité agricole au sein des périmètres privés ne devrait pas occulter l'importance des périmètres publics qui constituent, à long terme, un potentiel de compétitivité bien supérieur aux puits de surface (FIDA, 1996). Ainsi un ensemble de questions, quant à la réalité de fonctionnement des exploitations et aux différentes stratégies des pratiques méritent d'être abordées:

---

<sup>20</sup> Grâce encore à l'autofinancement, l'irrigant creuse et équipe des puits de surface, à l'intérieur du PPI ou à sa périphérie, soit pour faire face au grand espacement des tours d'eau et aux pannes fréquentes de la station de pompage, soit pour disposer d'une quantité d'eau supplémentaire, nécessaire à de nouvelles spéculations. Près du PPI du Bir Badra par exemple, la nappe phréatique peut être captée entre 20 et 25 m. Etant donné que le faible débit du forage du PPI ne suffit pas à satisfaire toutes les demandes, les agriculteurs ont procédé au creusement et à l'équipement de puits de surface. Le même phénomène se trouve dans le PPI d'Ouled Asker où les de piment de saison, exigeantes en eau, et qui passent pour être la spécialité de ce PPI, ont entraîné la prolifération des puits de surface, à l'intérieur même du périmètre. De même, les PPI de M'zara et Hajeb 7 se sont spécialisés dans la culture de pastèque, pour suivre un créneau porteur permettant de parer l'augmentation des prix (Daoud, 1995).

- 1- Quels sont les intérêts et les limites d'usage des ressources publiques et privées et les éventuelles répercussions sur le fonctionnement de l'exploitation?
- 2- Quelles sont les principales raisons qui incitent à la création de puits de surface comme deuxième source d'irrigation ?
- 3- Quelles est l'impact de l'adoption d'une telle stratégie sur l'usage de la ressource en eau ?
- 4- Quels sont les facteurs qui expliquent les différences de valorisation économique de l'eau dans les différents systèmes de production?

Ces interrogations rappellent une question centrale quant à la performance des systèmes de production selon la nature d'accès à la ressource d'irrigation. Au niveau des ppi le système cultural est basé sur l'olivier en irrigué avec la pratique des cultures en intercalaire. La céréaliculture et les cultures fourragères dominent les espèces cultivées alors que l'importance des cultures maraîchères est tributaire de la disponibilité des ressources en eau. Ces dernières, considérées comme cultures de rente, sont caractérisées par des besoins en eau plus élevés mais aussi par un niveau de risque plus important. Ainsi, compte tenu des conditions de l'exercice de l'activité en irrigué, la stratégie de choix des cultures de rente pour assurer un équilibre financier ne semble pas constituer la bonne alternative au niveau des ppi. En revanche au niveau des périmètres privés, la disposition d'un puits de surface permet à l'irrigant une liberté absolue d'usage de la ressource. Donc cette disponibilité incite l'irrigant à pratiquer les cultures maraîchères alors que le problème de la surexploitation de la nappe reste posé.

Sans nul doute la pratique de l'irrigation nécessite un minimum de savoir-faire<sup>21</sup> pour maîtriser le processus de production (CONAC, 1978; Darghouth, 1979). La pratique des cultures irrigués est toujours révélatrice d'un besoin d'encadrement. La conduite des cultures

<sup>21</sup>L'adoption de l'irrigation par les agriculteurs des périmètres irrigués est généralement lente car elle dépend non seulement de la volonté des exploitants agricoles mais aussi et surtout d'un effort de restructuration qui est nécessaire à tous les niveaux. En effet, contrairement à la pratique des cultures en milieu sec, la mise en irrigation entraîne :

- de profondes modifications de l'appareil de production des exploitations anciennement cultivées en sec
- de grands changements dans les relations de ces exploitations avec leur environnement économique.

Les modifications des assolements qu'implique l'irrigation bouleversent les plans de travail traditionnels des exploitations en sec. Le passage au système de polyculture exige une présence et une surveillance continues du chef de l'exploitation. Par ailleurs, les besoins en main-d'œuvre, notamment en main d'œuvre qualifiée, augmentent très sensiblement et des modifications importantes apparaissent dans les périodes de pointe.

Le mode d'exploitation en irrigué fait apparaître des besoins spécifiques en facteurs de production adaptés à la fois aux dimensions de l'exploitation irriguée et à des cultures nombreuses et diversifiées. Parmi ces facteurs, rappelons ceux liés à la préparation du sol qui exige, outre les multiples façons culturales, des opérations spéciales pour la conduite des irrigations : nivellement en cas d'irrigation gravitaire, confection de billons, de bassins, de planches ou de calants etc... (Darghouth, 1979).

marais demandent des soins particuliers au niveau des différentes opérations engagées durant tout le cycle végétatif de la culture. Le travail du sol, les techniques de plantation et de fertilisation ne sont pas les mêmes qu'en culture sèche et influencent énormément les apports d'eau à la culture (Dhiabi, 1993). Jusqu'à 1989, les offices de mise en valeur ont mis en place des structures d'encadrement des ppi pour apporter le soutien nécessaire aux paysans alors que les périmètres privés sont livrés à eux-mêmes. Certes, au fil des années les paysans acquièrent de l'expérience mais en vertu des résultats mitigés des périmètres irrigués les paramètres des technologies de production sont loin d'être maîtrisés par tous les irrigants. Toute chose égale par ailleurs, nous estimons qu'une disparité de performance technique pourrait être révélée entre les exploitations des périmètres publics et celles des périmètres privés. Dans cette optique, Guesmi (1991) signale que la disparité des rendements réalisés par les deux types d'exploitation peut être expliquée par l'inégalité de maîtrise des techniques d'intensification. Ainsi nous posons les questions suivantes :

- 1) Quelles sont les exploitations les plus performantes?
- 2) Quels sont les niveaux respectifs de maîtrise de la technologie de production?
- 3) Quels sont les facteurs déterminants d'une éventuelle différence de performance?

## **II- Choix du terrain de recherche et méthodologie d'enquête**

En vertu du constat du développement de l'activité en irrigué dans la région de Sidi Bouzid et pour pouvoir aborder notre problématique de recherche, nous avons besoin de mobiliser l'information quant à la mise en œuvre de la technologie de production ainsi que les principaux éléments qui peuvent caractériser l'usage de la ressource en eau selon le mode d'accès. Pour ce faire nous avons délimité un terrain de recherche qui répondra pertinemment à notre questionnement. La région de Sidi Bouzid Ouest est un potentiel indéniable d'irrigation (figure 6) avec un développement remarquable des périmètres publics et privés. Le duel d'usage entre la ressource publique et la ressource privée constitue une question centrale de notre problématique de recherche. Ainsi nous nous sommes intéressés au fonctionnement des exploitations des périmètres publics des périmètres privés mais aussi des exploitations ayant accès aux deux sources d'irrigation. Ces trois catégories d'exploitation constitueront le fil conducteur de notre travail d'enquête.

Une phase de prospection de terrain était utile pour relever certains critères de fonctionnement de base des exploitations tel que la taille moyenne, les systèmes d'irrigation adoptés, les principales spéculations pratiquées ainsi que les rapports sociaux, économiques et

institutionnels qui caractérisent l'activité agricole dans la région. Cette phase a été aussi utile pour cibler une diversité de système de production et élaborer le questionnaire approprié. Lors des enquêtes nous nous sommes adressés directement aux chefs exploitants. Les déclarations et les données recueillis constitueront notre matière première pour établir des analyses statistiques et caractériser les différents systèmes de production en mettant l'accent sur l'importance de la nature de la source d'irrigation. Ainsi nous allons pouvoir caractériser la structure des ménages et de l'appareil de production. Nous analyserons certains indicateurs techniques tel que les emblavures, l'usage des facteurs, les rendements et les consommations en eau ainsi que des indicateurs économiques tel que les produits, les coûts, les marges à l'hectare et notamment la productivité de l'eau d'irrigation. En fin nous recueillerons les appréciations des irrigants sur le développement de l'activité en irrigué dans la région et l'état actuel des rapports avec leur environnement économique et institutionnel.

## **2-1 Justification de choix du terrain de recherche**

La région de Sidi Bouzid Ouest est l'une des 11 délégations du gouvernorat (figure 6) qui couvre une superficie totale de 42700 ha soit seulement 6% de la superficie totale de la région de Sidi Bouzid. Malgré une urbanisation poussée (chef lieu du gouvernorat) cette région abrite toujours un potentiel agricole très important (Tableau 16). En effet 41 000 ha sont des terres agricoles. Les terres agricoles labourables totalisent 34 000 ha réparties entre 3300 exploitations soit environ 9% du total des exploitations du Gouvernorat. L'occupation du sol est dominée par l'arboriculture qui s'étale sur 16500 ha dont 14500 ha de l'olivier à huile.

Cette région est aussi un potentiel irrigable indéniable qui atteint, en 2004, 11 400 ha soit environ le tiers du potentiel de la région. Les périmètres publics sont au nombre de 8 dont le plus ancien date de 1958 (Om Laadham) et le plus récent est créé en 2004 (Braga). La région connaît aussi la plus forte concentration des puits de surface dont le nombre atteint 2750 soit 27% des créations régionales. L'importance de ce potentiel irrigable se traduit par le développement de l'activité en irrigué avec une superficie des cultures maraîchères qui atteint 5000 ha soit 37% des réalisations au niveau du gouvernorat, ainsi qu'une concentration remarquable de l'élevage bovin laitier dont l'effectif du troupeau atteint 4600 têtes de vaches laitières.

**Tableau 16: Importance des potentialités agricoles de la région de Sidi Bouzid Ouest (2004)**

Désignation	Potentiel	% par rapport au Gouvernorat
<b>Superficie totale</b>	42700 ha	6
<b>Superficie agricole labourable</b>	34000 ha	5
<b>Périmètres publics irrigués</b>	1250 ha	25
<b>Périmètres privés irrigués</b>	10150 ha	37
<b>Arboriculture</b>	16500 ha	6
<b>Grandes cultures</b>	6300 ha	6
<b>Cultures Maraîchères</b>	4600 ha	35
<b>Brebis</b>	26000 têtes	8
<b>Vaches laitières</b>	4600 têtes	29

Source : CRDA Sidi Bouzid

## 2-2 Prospection du terrain de recherche

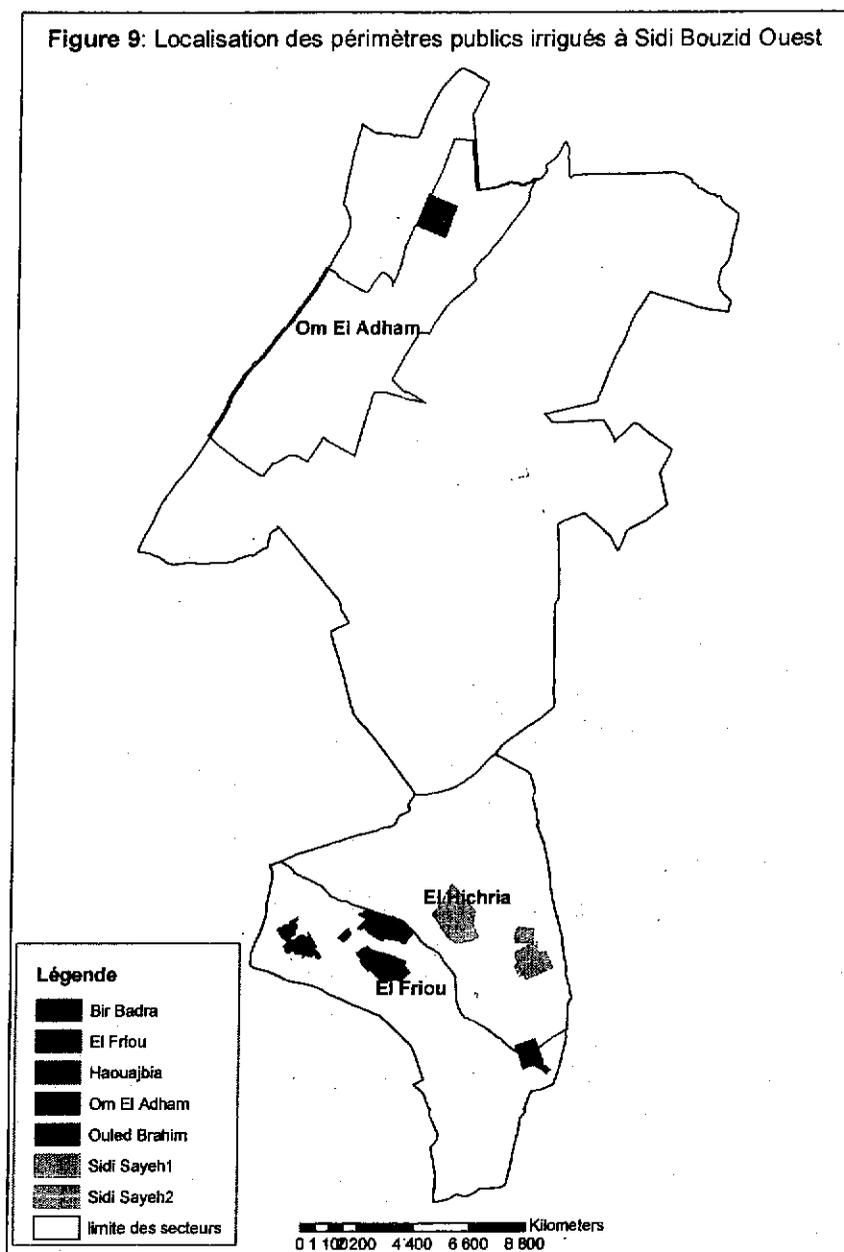
En 2003 et en étroite collaboration avec les techniciens vulgarisateurs<sup>22</sup> de la région nous avons entrepris un travail de prospection de terrain. Nous avons entamé cette phase par des visites de terrain des sept ppi (figure 9) au cours desquelles nous avons pris connaissance de leur emplacement, de l'état des infrastructures en place (piste d'accès, station de pompage, réseau d'adduction) et de la nature de l'activité agricole. Nous avons eu l'occasion de discuter, avec des irrigants, de l'état de fonctionnement des périmètres et des conditions de l'exercice de leurs activités. Lors de nos rencontres nous avons essayé d'explicitier le contexte de notre visite tout en exposant l'objectif et l'intérêt de nos travaux de recherche. Outre, nous avons organisé des visites aux GIC au cours desquelles nous avons discuté avec les responsables, de leurs prérogatives, de l'état du fonctionnement des périmètres et des principales difficultés qui peuvent entraver la bonne gestion de l'institution.

A la lumière de ces visites nous pouvons d'ores et déjà signaler les remarques suivantes:

- Le paysage agricole est dominé par l'olivier avec la pratique des cultures intercalaires. La céréaliculture occupe une place importante et les cultures maraîchères diffèrent d'un ppi à l'autre en superficie et en espèce.
- La submersion est le système d'irrigation dominant au niveau de tous les périmètres. Ce système occasionne d'importantes pertes d'eau allant jusqu'à 60%. Quelques agriculteurs utilisent des systèmes d'économie d'eau comme l'aspersion et la goutte à goutte.

<sup>22</sup> Ces techniciens sont connus par leur contact de proximité et par leur parfaite connaissance du milieu. Ils assurent le suivi de la campagne agricole et la mise en œuvre des programmes de vulgarisation. Certains ont vécu toute la métamorphose de l'activité en irrigué dans la région.

Figure 9: Localisation des périmètres publics irrigués à Sidi Bouzid Ouest



Source: Carte agricole. 2005

- Généralement la superficie irrigable n'est qu'une partie d'une exploitation dont la taille et le nombre de parcelle sont variables et par conséquent nous retrouvons une activité pluviale dont l'importance varie d'une exploitation à l'autre.
- Il s'agit bien d'une irrigation partielle qui ne tient pas compte des besoins réels de la plante mais conçue, plutôt, pour faire face au manque de pluviométrie.

- Au niveau des ppi la règle générale de distribution de l'eau est le tour d'eau dont la fréquence est variable d'une saison à l'autre mais peut constituer une contrainte sérieuse pour la pratique des cultures à risque de stress hydrique et particulièrement la pratique des cultures maraîchères.
- Le manque des moyens financiers constitue une contrainte majeure pour la majorité des exploitants qui ne parviennent pas à développer l'investissement et diversifier le système de culture. Des agriculteurs profitent d'un revenu extra-agricole pour surmonter les difficultés familiales et éventuellement constituer un fonds de roulement.
- Malgré l'effort déployé dans certains cas, le fonctionnement des GIC montre des difficultés de gestion aggravées par une situation de surendettement. Parfois des conflits d'intérêts et des tensions sociales entre les irrigants émergent et peuvent compromettre la bonne gestion de la ressource.
- Pour une raison ou une autre des exploitations ayant accès à la ressource publique ont créé des puits de surfaces comme deuxième source d'irrigation.

Cette dernière constatation était extrêmement importante pour mener la suite de nos travaux de recherche. En effet nous avons enquêté sur l'importance de ce phénomène pour chacun des ppi. Le tableau 17 montre qu'au total 18% des exploitations sont concernées mais l'importance du phénomène varie d'un périmètre à l'autre. Ainsi 44% des exploitations du ppi Bir Badra possèdent des puits de surface alors que les exploitations du ppi Frayou, créée en 2002, n'ont pas encore tenté cette expérience.

**Tableau 17: Répartition des exploitations bénéficiaires de l'eau du réseau et disposants d'un puits de surface**

PPI	Exploitations	Exploitations disposants d'un puits de surface	%
<b>Sidi Sayeh I</b>	101	9	9
<b>Sidi Sayeh II</b>	200	26	13
<b>Ouled Brahim</b>	180	37	20
<b>Bir Badra</b>	84	37	44
<b>El Houajbia</b>	63	3	5
<b>El Frayou</b>	79	0	0
<b>Om Laadham II</b>	209	51	25
<b>Total</b>	907	163	18

Source: Nos enquêtes, 2003

Nous avons eu aussi des entretiens avec des irrigants de ce groupe pour constituer une première idée sur le mode de fonctionnement de cette catégorie d'exploitation et les principales raisons qui ont poussé à l'adoption de ce choix. Mais à cette phase de notre travail nous ne pouvons avancer qu'une seule réponse à ce phénomène: Il s'agit d'une stratégie pour étendre le potentiel irrigable qui pourrait révéler différentes pratiques d'irrigation avec l'enjeu de compromettre l'usage durable et la valorisation de la ressource en eau. En effet nous estimons que le recours à une telle stratégie alourdit la charge de l'irrigant et ne pourra pas montrer un usage raisonné.

Un tel constat nous a incité à constituer un échantillon d'exploitations et réaliser des enquêtes de terrain pour saisir les pratiques d'irrigation et décortiquer en profondeur leur mode de fonctionnement selon la nature de la source d'irrigation mobilisée.

### 2-3 Echantillonnage et réalisation des enquêtes

A la lumière de notre travail de prospection du terrain nous avons retenu, comme principal critère d'échantillonnage, le pourcentage des exploitations d'un ppi ayant accès à une ressource privée comme deuxième source d'irrigation. Pour chacun des ppi, nous avons retenu le tiers des exploitations soit au total 52 exploitations qui disposent de deux ressources en eau (l'eau du réseau public et l'eau de puits de surface). Pour avoir une meilleure représentation de la diversité des systèmes de production et pouvoir les analyser selon la nature de la source d'irrigation nous avons choisi d'élargir notre échantillon en ajoutant autant d'exploitations ayant accès uniquement à l'eau du réseau public et autant d'exploitations disposant uniquement de l'eau de puits de surface. Ainsi nous obtiendrons un échantillon de 156 exploitations dont la répartition est donnée par le tableau 18:

**Tableau 18: Répartition des exploitations de l'échantillon selon la nature de la ressource en eau**

Secteur	Nature de la ressource d'irrigation			Total
	Publique&Privée	Publique	Privée	
<b>Sidi Sayeh I</b>	3	3	3	9
<b>Sidi Sayeh II</b>	8	8	8	24
<b>Ouled Brahim</b>	12	12	12	36
<b>Bir Badra</b>	12	12	12	36
<b>El Houajbia</b>	1	1	1	3
<b>Om Laadham II</b>	16	16	16	48
<b>Total</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>156</b>

La réalisation des enquêtes a nécessité la préparation au préalable d'un questionnaire d'enquête. Le questionnaire regroupe un ensemble de questions concernant le ménage, la structure de l'exploitation, l'appareille de production, le système cultural, les données technico-économiques d'exploitation et les rapports de l'exploitation avec son environnement économique et institutionnel. Nous avons réservé une attention particulière à la gestion des cultures irriguées et à l'usage de l'eau d'irrigation selon la nature de la ressource ce qui nous permettra de cerner les différentes pratiques et les adaptations stratégiques des irrigants. A deux reprises nous avons testé le questionnaire ce qui nous a permis de reformuler certaines questions que nous trouvons source d'ambiguïté ou dont les réponses sont difficiles à saisir. Ce questionnaire recueille toutes les données relatives au fonctionnement de l'exploitation durant la campagne 2003. Les enquêtes ont été réalisées courant le deuxième trimestre 2004.

En raison d'une diversité limitée des systèmes de production, la non-disponibilité des agriculteurs et parfois les difficultés<sup>23</sup> de trouver des exploitations qui répondent à nos critères de sélection, notamment la disposition d'un puits de surface comme deuxième ressource d'irrigation aux à l'entour du ppi, nous n'avons pas pu enquêter le nombre prévu d'agriculteurs. En effet les enquêtes réalisées concernent seulement 150 exploitations réparties selon le tableau 19:

**Tableau 19: Répartition des exploitations enquêtées**

Secteur	Nature de la ressource d'irrigation			Total
	Publique&Privée	Publique	Privée	
<b>Sidi Sayeh I</b>	3	3	3	<b>9</b>
<b>Sidi Sayeh II</b>	9	8	7	<b>24</b>
<b>Ouled Brahim</b>	12	12	12	<b>36</b>
<b>Bir Badra</b>	13	11	12	<b>36</b>
<b>El Houajbia</b>	1	1	0	<b>2</b>
<b>Om Laadham II</b>	16	11	16	<b>43</b>
<b>Total</b>	<b>54</b>	<b>46</b>	<b>50</b>	<b>150</b>

<sup>23</sup> L'exemple des irrigants du ppi de Bir Badra dont environ 30% appartiennent à la communauté de Braga éloignée d'environ 5km et qui disposent de puits de surface hors secteur du Bir Badra. d'ailleurs nous estimons que la création d'un nouveau ppi (Braga) au profit de cette communauté va aggraver l'absentéisme de cette communauté au niveau de ppi Bir Badra voire l'abondant total de la parcelle. Dans le cas du ppi Om Laadham la sélection des exploitations ne disposaient que de l'eau du réseau n'a pas permis d'atteindre le nombre prévu en raison de la diversité limité du système de production.

Les 150 exploitations enquêtées représentent 170 ha de superficie irrigable à partir de l'eau du réseau, 486 ha de superficie irrigable à partir des puits de surface et 380 ha d'olivier en irrigué. Ce résultat permet d'apprécier la représentativité de notre échantillon comme le montre le tableau 20.

**Tableau 20: Représentativité de l'échantillon par rapport à la région d'étude**

Secteur	Superficie irrigable		Superficie d'olivier en irrigué
	Publique	Privé	
Héchrria <sup>24</sup>	402	660	319
Frayou <sup>25</sup>	510	599	830
Om Laadham II	160	1480	912
<b>Total</b>	<b>1072</b>	<b>2739</b>	<b>2061</b>
<b>Echantillon</b>	<b>170</b>	<b>486</b>	<b>380</b>
<b>%</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>18</b>

Le choix des exploitations est complètement aléatoire. Pour la réalisation de ce travail nous étions assistés par les techniciens vulgarisateurs des secteurs. Ils nous ont bien aidés dans l'accès aux exploitations et la communication avec les agriculteurs qui se sont montrés parfois méfiants de ce type d'enquête. Mais en explicitant l'intérêt de notre travail pour une meilleure gestion de la ressource en eau nous avons pu gagner leur confiance. Ainsi nous avons pu recueillir le maximum d'information en engageant parfois le débat sur le développement et le fonctionnement de l'activité en irrigué d'une manière globale.

### III- Analyse du fonctionnement des périmètres irrigués

L'ensemble des informations recueillies auprès des exploitants de notre échantillon ont été dépouillées selon une grille de variables qui décrivent la structure du ménage, la structure de l'exploitation, les pratiques techniques, les données économiques ainsi que le rapport de l'exploitation avec son environnement économique et institutionnel. Cette phase de dépouillement a été accompagnée par des allé-retours sur terrain et des réunions de travail avec les techniciens responsables des secteurs pour contrôler la fiabilité des déclarations des irrigants interrogés en procédant, éventuellement, à leur correction. Ainsi nous avons pu construire une base de données dont nous présentons dans ce qui suit les statistiques descriptives afin de pouvoir caractériser le fonctionnement des exploitations. Notre travail

<sup>24</sup> Regroupe les périmètres de Sidi Sayeh I et Sidi Sayeh II (voir carte page 49).

<sup>25</sup> Regroupe les périmètres de Bir Badra, Ouled Brahim, Houajbia et Frayou (voir carte page 49).

d'analyse tiendra compte de la nature de la source d'irrigation en considérant la typologie d'exploitation suivante:

- 46 exploitations ayant seulement accès à l'eau du réseau (**TypeR**)
- 50 exploitations ayant seulement accès à l'eau du puits de surface (**TypeP**)
- 54 exploitations ayant accès aux deux sources d'irrigation (**TypeM**)

### 3-1 Analyse de la structure des ménages et des exploitations

#### 3-1-1 Structure des ménages

Malgré les efforts de modernisation, le caractère familial constitue une donnée de base de l'activité agricole tunisienne. Dans la région de Sidi Bouzid le contexte historique et le paysage rural qui dominent toujours font de l'exploitation familiale le mode exclusif de la prise en charge de l'activité agricole pluviale et en irrigué. Ainsi le passage à l'irrigation ne fait qu'alourdir l'engagement de la famille. Pour cela nous avons analysé la structure des ménages pour appréhender son importance dans le mode de fonctionnement des exploitations et notamment par rapport à la pratique des cultures en irrigué. Pour ce faire nous avons analysé les données recueillies auprès des exploitations enquêtées en considérant d'un côté le chef exploitant et sa qualification dans la pratique agricole et en particulier l'irrigation et d'un autre côté la famille et ses attributions dans le mode de fonctionnement.

##### 3-1-1-1 Le chef exploitant

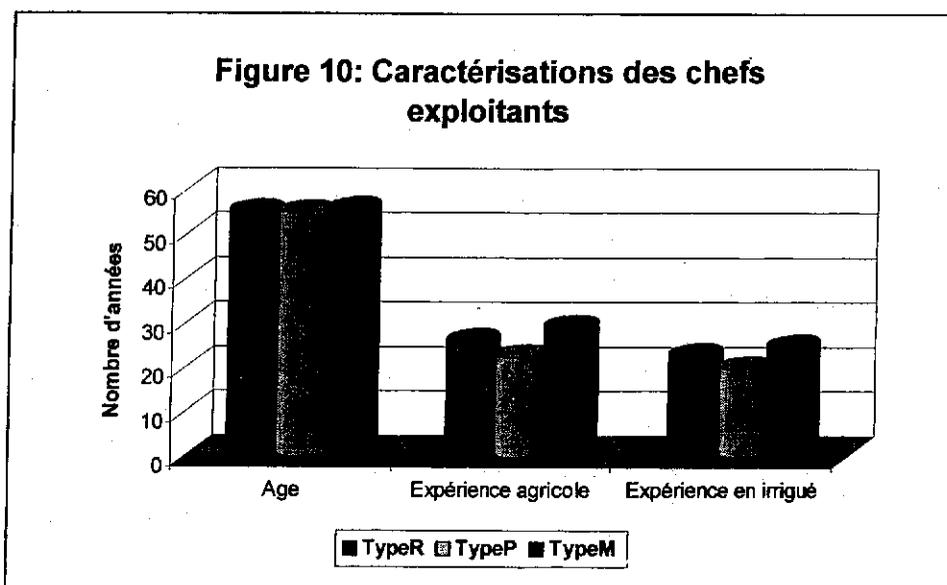
Avant de présenter et analyser les résultats de notre enquête nous rappelons que la mise en valeur de notre région d'étude et l'introduction de l'irrigation ont été conçues par les pouvoirs publics pour venir à l'aide d'une population pastorale qui vivait à la merci des calamités naturelles. L'objectif d'amélioration du niveau de vie des ménages est retenu en priorité à fin de stimuler la motivation des chefs exploitants pour l'introduction de l'irrigation. A travers les différentes générations cette motivation ne semble pas garder la même intensité en raison des mutations économiques et de certaines difficultés de prise en charge de l'activité en irrigué. Selon nos enquêtes nous pouvons noter la vieillesse de la population des chefs exploitants dont l'âge moyen atteint 55 ans avec un maximum très élevé de 89 ans.

**Tableau 21: Caractérisation du chef exploitant**

	Observations	Moyenne	Min	Max	Ecart Type
<b>Age</b>	150	55,2	23	89	12,83
<b>Expérience agricole</b>	150	26,1	4	61	13,22
<b>Expérience en irrigué</b>	150	22,7	2	61	10,35

Source: Nos enquêtes

Seulement 19 exploitants (12%) ont un âge inférieur à 40<sup>26</sup> ans alors que 71 exploitants (47%) dépassent la moyenne. L'analyse de l'âge moyen, selon les types d'exploitation ne montre pas une grande différence (figure 10). En revanche cette vieillesse se traduit par une expérience agricole solide qui atteint en moyenne 26 ans avec un minimum de 4 ans et un maximum de 61 ans. Seulement 11 exploitants (7%) présentent une expérience moins de 10 ans et 64 exploitants (43%) en dessus de la moyenne. L'expérience dans la pratique de l'irrigation est aussi assez solide et atteint en moyenne 23 ans avec un minimum de 2 ans. L'analyse de ce résultat selon les types d'exploitation (figure 10) montre que les exploitants ayant accès à deux sources d'irrigation (TypeM) devancent légèrement les autres en matière d'expérience agricole et de pratique d'irrigation avec une moyenne respective de 29 et 25 ans.



En revanche nos agriculteurs montrent un niveau d'éducation faible. En effet 73 exploitants (49%) n'ont jamais été à l'école dont 45 exploitants (30%) sont analphabètes. Seulement 20 exploitants (13%) sont d'un niveau scolaire secondaire. De même la formation agricole<sup>27</sup>, n'a concerné que 39 exploitants (26%). Par rapport à la nature de la source d'irrigation nous signalons que 19 irrigants, ayant reçus une formation, sont du TypeR alors

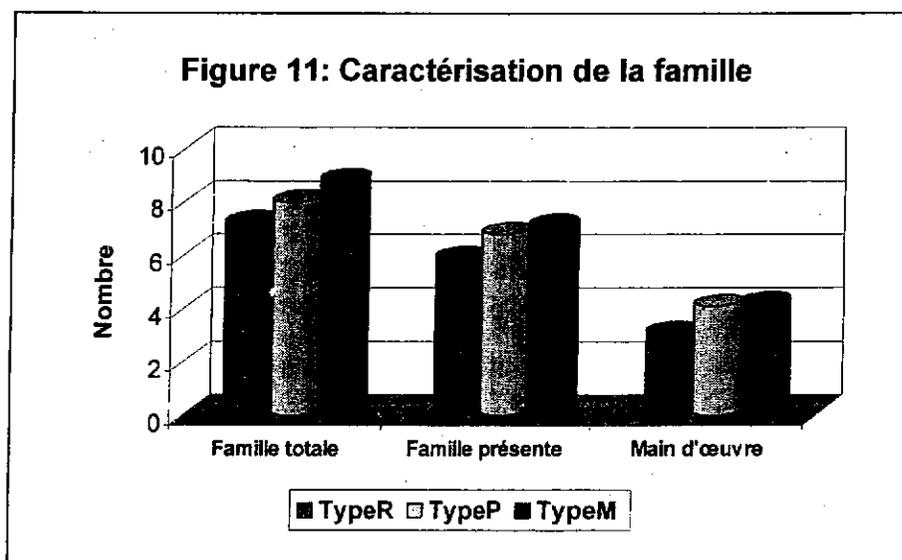
<sup>26</sup> C'est la limite d'âge pour considérer le chef exploitant comme jeune agriculteur selon le code d'investissement.

<sup>27</sup> Généralement c'est l'administration qui organise des sessions de formation de courte durée. Selon l'objet de la formation un formateur (pris en charge par l'Etat ou le projet du développement) va faire apprendre à un groupe d'agriculteurs inscrits quelques éléments de base pour pouvoir introduire ou améliorer la gestion de l'activité en question. Dans le cas de notre enquête nous révélons des formations dans la taille, la sericulture, l'apiculture et récemment l'élevage bovin laitier.

que les exploitants du TypeP ne sont que 10. Ceci prouve que l'administration réserve une attention particulière à la mise en valeur des périmètres publics irrigués. Cette formation se fait généralement dans le cadre d'un projet de développement intégré qui va orienter le thème de la formation selon la nature de l'activité agricole à promouvoir. Malgré l'importance de l'activité en irrigué nous ne retrouvons pas des formations ciblées dans cette perspective ce qui prouve que le savoir-faire de nos exploitants est acquis principalement sur le tas. L'expérience en pratique d'irrigation montre que nos agriculteurs ont profité largement du soutien et de l'assistance technique apportés par les techniciens de l'administration avant la dissolution des offices de mise en valeur en 1989.

### 3-1-1-2 Structure familiale, force de travail et activité extra agricole.

La taille moyenne d'une famille atteint 8 membres soit un nombre moyen de six enfants par ménage dont 2 ne sont plus à la charge de l'exploitation et ne contribuent plus à la force du travail familial. En moyenne 2/3 des membres de la famille présente sur l'exploitation contribue à la force du travail. En excluant les parents nous remarquons qu'en moyenne deux membres sur quatre ne sont pas concernés par le travail familial. Le plus souvent, ils exercent une activité extra agricole. Par rapport au type d'exploitation (figure 11) nous signalons que la famille du TypeR semble moins nombreuse. Ceci fait qu'elle dispose moins de force du travail familial. Concernant le sexe nous signalons que les exploitations du TypeP et du TypeM engagent plus de main d'œuvre masculine que féminine. En effet, l'exploitation des puits de surface et la pratique d'irrigation à partir de cette source font l'objet de certaines tâches qui sont généralement pris en charge par l'homme.



Cette structure familiale offre la possibilité d'étendre et de diversifier les cultures en irrigué mais tout de même nous pouvons signaler qu'elle ne détermine pas réellement le système de production de l'exploitation. En effet le mode de fonctionnement actuel de l'exploitation ne montre pas un réel développement de l'activité en irrigué en raison de plusieurs difficultés notamment financières que nous décrirons plus loin.

**Tableau 22: Caractérisation de la famille**

	Observations	Moyenne	Min	Max	Ecart Type
<b>Famille totale</b>	150	8	1	18	2,76
<b>Famille présente</b>	150	6,6	1	14	2,52
<b>Main d'œuvre</b>	150	3,9	1	10	1,86

Source : Nos enquêtes

La tendance figée du système cultural et les différentes contraintes qui dissuadent certains irrigants face à l'attraction des activités non agricoles fait que l'engagement de la famille dans l'activité est partiel. Ceci fait que certaines familles ont choisi délibérément qu'une partie de la force de travail se consacre à une activité extra agricole sans se rendre compte des besoins de l'exploitation ou de la prise en charge de la continuité de l'activité en irrigué sur l'exploitation par les générations futures.

Selon nos enquêtes 82 exploitations (55%) profitent d'un revenu extra agricole dont la moyenne atteint 2100 TND par an et par exploitation. Les activités entreprises dans ce contexte peuvent aller du simple ouvrier salarié chez les voisins à une vraie consécration dans le commerce ou les services agricoles. Nous pouvons signaler que certains membres des ménages ont migré en ville<sup>28</sup> pour occuper des emplois en textile et maçonnerie. Ce phénomène concerne les trois types d'exploitation mais d'un degré d'importance variable. En effet les 82 exploitations se répartissent entre 33 exploitations (71%) du TypeR, 21 exploitations (42%) du TypeP et 28 exploitations (52%) du TypeM.

### 3-1-2 Structure de l'exploitation et statut foncier

Nous rappelons que les exploitations enquêtées ont été choisies d'une manière aléatoire mais tout de même nous avons essayé de représenter toutes les tailles en matière de superficie irrigable pour pouvoir cerner la diversité des pratiques d'irrigation. Au niveau des ppi les superficies irrigables par exploitation sont fixées par le projet de création en fonction

<sup>28</sup> Notamment à Sfax et Sousse qui se trouvent respectivement à 140 et 180 Km de Sidi Bouzid

des potentialités en eau et tout en respectant les principes de la réforme agraire. Ceci n'empêche qu'au fil des années ces parcelles irrigables font l'objet de partage entre héritiers ainsi que de transactions foncières multiples. Les anciens ppi (Bir Badra et Om Laadham II) sont touchés par un morcellement excessif jusqu'à des superficies de 0,25 ha par ayant droit ce qui correspond parfois à une propriété de quatre oliviers. Au niveau des périmètres privés, en principe c'est le débit de puits qui détermine la superficie irrigable. Mais vu que les agriculteurs pratiquent les cultures intercalaires, et optent pour une irrigation d'appoint plutôt qu'une irrigation pure et dure, les superficies irrigables sont variables d'une exploitation à l'autre indépendamment du potentiel en eau existant.

Concernant le statut foncier, nous signalons que les terres de notre région d'étude sont d'origine collective ou domaniale (Chemak, 2000). L'apurement des terres collectives est achevé ce qui a permis aux ayants droit de se prévaloir d'un titre d'attribution. La réforme agraire dans les ppi devrait aboutir à des titres fonciers individuels par ayant droit mais le rythme des travaux accuse beaucoup de retard. Au niveau des périmètres privés nous signalons que certains agriculteurs ont pris en charge la procédure d'immatriculation et ont obtenu des titres fonciers.

A la lumière de nos enquêtes nous décrivons la structure de l'exploitation en taille, nombre de parcelles et le statut foncier (origine de la terre, mode de faire valoir et titre foncier)

### 3-1-2-1 La taille des exploitations

Les résultats de nos enquêtes montrent que l'exploitation en irrigué dispose d'une superficie agricole utile (SAU) moyenne d'environ 7,7 ha avec un minimum de 0,4 ha et un maximum de 35 ha. Cependant 96 exploitations (64%) détiennent des superficies en dessous de la moyenne. Le nombre de parcelle par exploitation atteint une moyenne de 3 soit une superficie moyenne par parcelle d'environ 2,4 ha. Deux parcelles sur trois sont éloignées du domicile de l'exploitant d'environ 2 km.

**Tableau 23: Statistiques de la dotation en terre**

	Moyenne	Min	Max	Ecart type
Superficie totale –SAU- (ha)	7,7	0,4	35	5,98
Superficie plantée (ha)	5,9	0,4	30	4,7
Superficie irrigable (ha)	4,7	0,25	20	3,8
Total des parcelles	3,3	1	11	2
Parcelles irrigables	1,99	1,00	6,00	1,06
Superficie par parcelle (ha)	2,40	0,40	9,00	1,52
Superficie par parcelle irrigable (ha)	2,46	0,13	9,00	1,74

Les types d'exploitation montrent une disparité de structure (Tableau 24). En effet nous remarquons bien la supériorité des exploitations du TypeM qui disposent d'une SAU moyenne de 11 ha contre 5 ha et 6,6 ha respectivement pour les exploitations du TypeR et du TypeP. Concernant le nombre de parcelle, les exploitations du TypeR et du TypeM sont avec une moyenne de 4 parcelles contre seulement deux parcelles pour les exploitations du TypeP. Ceci fait que les exploitations du TypeR sont les plus morcelées avec une superficie moyenne par parcelle d'environ 1,5 ha contre 2,7 ha pour les exploitations du TypeM et 2,9 ha pour les exploitations du TypeP.

**Tableau 24: Dotation en terre par type d'exploitation**

	TypeR	TypeP	TypeM
<b>Superficie totale -SAU- (ha)</b>	5,2	6,6	10,9
<b>Superficie plantée (ha)</b>	3,7	5	8,7
<b>Superficie irrigable (ha)</b>	1,7	5,1	6,9
<b>Total des parcelles</b>	3,7	2,1	4
<b>Parcelles irrigables</b>	1,52	1,68	2,69
<b>Superficie par parcelle (ha)</b>	1,50	2,93	2,68
<b>Superficie par parcelle irrigable (ha)</b>	1,10	3,44	2,72

Source : Nos enquêtes, 2004

La superficie irrigable par exploitation atteint une moyenne de 4,7 ha ce qui représente en moyenne 64% de l'SAU. 48 exploitations (32%) sont entièrement irrigables dont la moitié sont du TypeP. Les superficies moyennes irrigables sont de 1,7 ; 5,1 et 6,9 ha respectivement pour les exploitations du TypeR, du TypeP et du TypeM soit respectivement 33%, 77% et 63% de l'SAU moyenne. Ainsi nous pouvons remarquer que les exploitations du TypeP sont engagées d'avantage dans la pratique de l'irrigation.

### 3-1-2-2 Appareil de production et investissement

Le développement de l'irrigation a suscité la modernisation de l'appareil de production et un engagement financier plus intense. Certains paysans n'ont pas épargné leurs efforts pour vivre l'expérience. Souvent cette volonté est stimulée par des objectifs sociaux-économiques intrinsèques aux ménages. Les trois principales raisons que nous avons pu saisir auprès des agriculteurs et qui justifient leur engagement pour la pratique de l'irrigation se résument à:

(i) Le redéploiement d'un revenu extra agricole

En effet nous rappelons que la prolifération des puits de surface a commencé avec le redéploiement des revenus des immigrés en Libye et notamment avec leur retour massif au début des années 80 (Abaab, 1999).

(ii) L'effet d'entraînement du développement de l'activité en irrigué

Certes le développement de l'irrigation dans la région de Sidi Bouzid a bien amélioré les conditions socio-économiques des paysans (Attia, 1977 et 1985). L'accroissement de la production et la pratique de certaines cultures de rente comme la tomate, la pastèque, l'ail et l'oignon ont permis aux irrigants de bénéficier parfois de grosses marges avec un impact indéniable sur leur bien être. C'est ainsi que plusieurs agriculteurs ont opté pour la création de puits de surface en engageant parfois tous les membres de la famille (femme, fils et filles) pour le creusage. Leur objectif est d'introduire ces cultures de rente avec l'espoir de capter cette rente.

(iii) L'installation d'un fils

En raison d'un échec scolaire le plus souvent à l'âge de l'école primaire, les enfants sont généralement engagés dans la force du travail familial. Soucieux de leur succession, certains exploitants cherchent à préparer les meilleures conditions pour l'installation de leurs enfants. Mais en raison des conditions climatiques défavorables pour exercer en agriculture, l'irrigation constitue le seul issu pour attirer les descendants. C'est dans cette perspective que les agriculteurs vont créer ou multiplier les puits de surface afin d'inciter un ou plusieurs fils à s'installer pour leur propre compte.

Au niveau des ppi l'aménagement du réseau d'adduction est pris en charge par l'administration. L'irrigant est appelé à investir et adopter le système d'irrigation approprié. Mais selon nos enquêtes nous pouvons signaler l'absence d'un réel engagement de nos irrigants. En effet la submersion est le système d'irrigation le plus adopté. Les irrigants acheminent l'eau jusqu'à la planche à travers des rigoles en terre. Parfois l'eau parcourt des centaines de mètre dans ces rigoles avant d'arriver à la parcelle même (voir photo1). Depuis 1995 le gouvernement a lancé le projet d'économie de l'eau pour inciter les irrigants à pratiquer l'irrigation localisée et rationaliser leur consommation. Certains irrigants des ppi Om Laadham et Ouled Brahim ont bénéficié de ces incitations. En revanche nos enquêtes

révèlent que l'expérience est vouée à l'échec. 6 agriculteurs du TypeR ont introduit un système d'économie de l'eau mais tous déclarent non satisfait de l'expérience. En effet les bénéficiaires interrogés ont délaissé ce système pour revenir à l'irrigation gravitaire. Ils ont même vendu le matériel (moteur, asperseur, tuyaux...) tout en abandonnant les bassins. Par conséquent ils ont bénéficié de la subvention sans adopter la technique d'irrigation. Ils justifient leur attitude par la non-adaptation de cette technique au système de culture. Ils considèrent aussi que la pratique de l'irrigation localisée nécessite plus de force de travail pour la mise en place et le déplacement du matériel (tuyaux et asperseurs) d'autant plus que ce type de manipulation est incompatible en présence d'un sol lourd comme à Om Laadham.



**L'eau parcourt parfois des centaines de mètres avant d'arriver à la parcelle**  
(Photo 1: PPI Ouled Brahim, Sidi Bouzid, 2004)

Au niveau des périmètres privés les irrigants sont beaucoup plus incités à développer leur appareil de production. L'investissement commence par le creusage du puits de surface. Cette opération est, le plus souvent, un engagement personnel du paysan. En effet, sur 134 puits recensés, aucune création n'a bénéficié d'un crédit et seulement six ont bénéficié d'une aide sous forme de chantier payé par l'administration. En revanche 66 agriculteurs déclarent bénéficier d'un crédit au profit de l'exercice de l'activité en irrigué. Les crédits sont destinés pour l'achat des équipements et notamment l'acquisition d'une motopompe. Selon le système d'irrigation adopté, les irrigants disposent d'un minimum d'équipement notamment les tuyaux en PVC pour acheminer l'eau à la parcelle (photo 2). Face au faible débit de la ressource, certains irrigants créent des bassins (en dure ou en plastique) comme réservoir.



**Utilisation des tuyaux PVC pour acheminer l'eau du puits à la parcelle**  
(Photo 2: PIP Om Laadham, Sidi Bouzid, 2004)

En matière d'équipement agricole nous relevons que 11 agriculteurs seulement disposaient d'un tracteur avec les attelages nécessaires pour réaliser les travaux de mécanisation. Tous appartiennent au TypeP et au TypeM. Ce matériel est utilisé aussi pour offrir aux voisins des services rémunérés. Les exploitations de TypeR ne disposaient même pas du matériel d'irrigation en raison de la nature du système d'irrigation adopté.

### **3-1-2-3 Système foncier**

En matière d'origine de la terre, nos enquêtes révèlent que l'héritage constitue le mode d'appropriation dominant et concerne la totalité des exploitations de notre échantillon. En moyenne 5,2 ha par exploitation ont été hérités soit 67% de la SAU moyenne. Certains agriculteurs ont pu étendre la taille de leur exploitation en procédant à des achats. 61 exploitants (41%) se sont appropriés, par achat, une partie de leur exploitation qui atteint en moyenne 1,6 ha. Nous signalons que l'achat concerne les trois types d'exploitation. La moyenne de la superficie achetée atteint 2 ha, 1,5 ha et 1 ha respectivement pour les exploitations du TypeM, du TypeP et du TypeR.

Le mode de faire valoir direct caractérise la totalité des exploitations enquêtées. Toutefois la pratique des cultures maraîchères et particulièrement la culture de pastèque<sup>29</sup> révèlent le besoin de recours à la location. Seulement 10 exploitants, dont sept du TypeP et trois du TypeM font recours à la location d'une superficie limitée pour des besoins imminents notamment pour la pratique des cultures maraîchères et particulièrement la culture de pastèque. La pratique de métayage est aussi rare. Nous avons relevé uniquement sept cas de métayage justifié par le besoin d'étendre les cultures en irrigué. Ils prennent différentes formes comme l'exploitation de la terre contre l'irrigation des plantations.

Concernant la possession d'un titre foncier, 55 exploitants (37%), dont 22 appartiennent au TypeP, déclarent se prévaloir d'un titre pour la totalité ou pour une partie de l'exploitation. En terme de marché foncier nous pouvons noter aussi que certains exploitants ont procédé à des ventes d'une partie de leur exploitation. En réalité cette transaction est généralement réalisée par obligation comme la vente pour le creusage d'un puits ou le remboursement d'une dette bancaire.

### **3-2 Analyse du système de culture et des pratiques d'irrigation**

Comme nous l'avons déjà signalé, l'arboriculture et principalement l'olivier a constitué une composante principale de la mise en valeur de la région de Sidi Bouzid. C'est ainsi que tous les projets d'aménagement des ppi ont retenu cette espèce à la base de l'occupation du sol avec la pratique des cultures intercalaires<sup>30</sup>. A lumière de nos enquêtes nous pouvons d'ores et déjà signaler que ce mode de fonctionnement est adopté par la totalité des exploitations de notre échantillon. En revanche l'aptitude au développement de l'activité en irrigué et la valorisation de la ressource en eau ne seraient pas les mêmes pour toutes les exploitations et ce en raison de la disparité structurelle décrite auparavant, des conditions d'accès et de la disponibilité de la ressource en eau.

<sup>29</sup> Cette culture épuise le sol et par conséquent les irrigants sont toujours à la recherche des sols vierges.

<sup>30</sup> 60% des agriculteurs interrogés déclarent non favorables à la pratique des cultures intercalaires mais en raison de l'exiguïté de leur exploitation et de leurs besoins imminents pour certains produits et particulièrement les céréales ils se trouvent obligés de les cultiver en intercalaire. D'ailleurs 50% des agriculteurs déclarent que cette pratique est non rentable notamment vis à vis des performances productives de l'olivier qui se dégradent nettement avec la céréaliculture. De toute façon 95% des agriculteurs déclarent que les services techniques de l'administration n'ont jamais conseillé cette pratique. Mais les projets de création des ppi le prévoient systématiquement sans qu'il y ait, à notre connaissance, une réponse claire quant à la faisabilité technique et la rentabilité économique de cette pratique.

Malgré l'effort de modernisation de l'activité agricole et particulièrement l'activité en irrigué, notamment en matière d'améliorations technologiques (mécanisation, fertilisation, système d'irrigation) nous pouvons signaler que ce mode de fonctionnement ne permet pas une grande diversité des cultures en irrigué et ne permet pas aux irrigants de varier leur assolement. En raison de l'exiguïté des superficies les irrigants pratiquent les cultures intercalaires. Les principales espèces cultivées sont le blé, l'orge, l'avoine, la tomate, le piment, l'oignon et l'ail. La culture de pastèque qui s'est bien développée durant les années 90 s'estompe petit à petit en raison de l'épuisement du sol. La question sur l'évolution du système cultural et l'éventuelle adoption ou abandon de cultures révèle une occupation du sol relativement figée. La céréaliculture en irrigué domine les autres cultures en intercalaire en raison des besoins inhérents de la famille et éventuellement des animaux.

Concernant l'activité animale nous constatons que la taille du troupeau est réduite à quelques brebis comme provision de fonds de roulement ou des besoins imminents de la famille. 53 irrigants (35%) ne disposaient même pas de l'élevage ovin. La taille moyenne est de 9 brebis par exploitation. Elle n'est que de 6 chez les exploitations du TypeR. En moyenne, la taille maximale atteinte est de 29 brebis par exploitation. Selon les déclarations des irrigants les principales raisons de la réduction des effectifs sont : (i) les besoins familiaux, (ii) les besoins en fonds de roulement et (iii) la mise en place d'une activité en irrigué (creusage et équipement de puits de surface). Certains irrigants ont introduit l'élevage bovin laitier et d'autres le projettent. En effet, l'Etat encourage les petits irrigants à intégrer cette spéculation en leur offrant des micro-crédits avec des subventions. 38 agriculteurs font déjà de l'élevage bovin dont 9 appartiennent au TypeR. 25 agriculteurs disposaient seulement de 1 à 2 vaches et 27 agriculteurs l'ont introduit à partir de l'an 2000.

Pour analyser le système cultural et les pratiques d'irrigation nous allons établir l'occupation du sol chez les exploitations enquêtées et mettre en exergue l'aptitude des exploitants à la mécanisation et la fertilisation. Nous analyserons aussi les systèmes d'irrigation observés et les consommations en eau selon la ressource d'irrigation mobilisée.

### 3-2-1 Irrigation et dynamique culturelle

Le système cultural est fortement imprégné par la politique de mise en valeur de l'espace pastoral à travers la plantation de l'olivier en raison de son adaptation aux conditions édapho-climatiques de la région. En effet tous les projets de création de ppi font de l'olivier une composante principale. Selon la vocation culturelle du sol, la qualité et la disponibilité de la ressource en eau, ces projets prévoient la pratique des cultures intercalaires. Ce mode de fonctionnement est largement imité par les périmètres privés

Au niveau des ppi, la définition au préalable du programme cultural n'a pas empêché les paysans de continuer, selon la disponibilité de la terre, la pratique des céréales en sec (orge et blé) destiné exclusivement pour la subsistance de la famille. L'intensification de l'activité en irrigué au niveau de ces périmètres nécessite la mobilisation des moyens financiers qui dépassent le plus souvent la capacité des paysans. Ceci justifie, en partie, le soutien massif apporté par l'Etat pour encourager les paysans à mettre en oeuvre le programme de mise en valeur. Face aux effets pervers de la sécheresse les paysans vont profiter de l'irrigation pour garantir la subsistance de la famille. C'est ainsi que certains vont orienter leur plan cultural en fonction de leurs besoins. Par ailleurs nous signalons que la réduction de l'effectif des ovins, causée par l'extension des oliveraies, a entraîné des difficultés de fonds de roulement plus importantes. Ceci a été aggravé par le démantèlement du soutien de l'Etat ce qui fait que le programme cultural au niveau des ppi est librement fixé aujourd'hui par les irrigants en privilégiant deux objectifs : (i) subvenir aux besoins de la famille (ii) Adopter des cultures moins exigeantes et/ou pratiquées par la majorité des paysans.

Ceci a entraîné une plus grande importance accordée à la céréaliculture et une spécialisation vis à vis de la pratique de certaines cultures comme le piment, l'oignon et la carotte. En effet en interrogeant les irrigants sur leur plan d'occupation durant les deux dernières décades et les éventuelles cultures adoptées ou abandonnées, nous ne remarquons pas une réelle dynamique des systèmes culturaux à l'exception de l'abandon petit à petit de la culture de pastèque par épuisement du sol et l'introduction des cultures fourragères à l'occasion de l'introduction récente de l'élevage bovin qui touche tous les périmètres. La spécialisation en culture irriguée est très contrastée entre la zone El Héchia et Om Laadham. Au niveau de la première zone la culture la plus pratiquée et le piment alors que la deuxième est caractérisée principalement par les cultures d'oignon et de carotte.

### 3-2-2 Gestion collective versus privée de la ressource en eau.

Au niveau des ppi la gestion de la ressource en eau est confiée à des GIC. Ces groupements qui agissent au nom des irrigants planifient la distribution de la ressource en eau en fonction de la demande et de la disponibilité. En revanche cette institution n'intervient pas au niveau de l'occupation du sol qui relève uniquement des choix des irrigants. Ceci est confirmé par la totalité des exploitants interrogés.

Les périodes de forte demande diffèrent d'un GIC à l'autre en fonction des espèces cultivées et des disponibilités. La règle générale de distribution est le tour d'eau dont la fréquence diffère aussi d'un GIC à l'autre avec une période d'espacement de trois jours au minimum. En plus du tour d'eau et en cas de forte demande, le GIC Sidi Sayeh II impose aussi un maximum de trois heures d'irrigation par ha de propriété irrigable. Cette règle est fortement contestée par les petits irrigants qui la trouvent non équitable et se sentent pénaliser. En raison du faible débit et des problèmes de pannes fréquentes, la forte demande au niveau des ppi est enregistrée généralement avec les cultures d'hiver car sont rares les agriculteurs qui pratiquent les cultures d'été considérées comme trop risquées. Certains agriculteurs évitent même de pratiquer les cultures intercalaires<sup>31</sup>. En effet il suffit qu'une panne survienne (et perdure) en pleine campagne d'irrigation pour que l'irrigant perde confiance et s'abstienne de cultiver durant la campagne suivante. La focalisation sur les cultures d'hiver - moins risquées que les cultures d'été- engendre donc une forte demande qui se traduit naturellement par des périodes d'espacement du tour d'eau plus longues. Selon les déclarations des irrigants en hiver globalement la période séparant deux irrigations est multipliée par deux par rapport à celle en été. Des irrigants du ppi Sidi Sayeh II déclarent qu'ils n'ont bénéficié que d'une seule irrigation durant l'hiver 2003.

Cette règle de distribution de l'eau ainsi que les problèmes de pannes fréquentes créent chez les irrigants un comportement de méfiance qui va se traduire par des pratiques d'irrigation que nous avons pu observer et saisir lors de la réalisation de nos enquêtes. Ainsi certains irrigants vont essayer d'atteindre un nombre d'heure d'irrigation sans tenir compte de la répartition des besoins de la plante alors que d'autres vont essayer de capturer les périodes vacantes pour bénéficier d'une irrigation même s'il s'agit au milieu de la journée et sous une chaleur excessive. Ce comportement inadéquat engendre certainement un gaspillage de la

<sup>31</sup> 50% agriculteurs interrogés n'ont pas pratiqué les cultures intercalaires à l'intérieur des ppi.

ressource mais nos agriculteurs le justifient par le risque imminent de perdre la culture en raison d'une forte demande et parfois de la gestion non équitable de la ressource.

En revanche au niveau des périmètres privés les irrigants n'encourent aucun risque de disponibilité de la ressource. En effet ils vont pouvoir choisir les espèces à cultiver et décider de leur superficie en fonction des potentialités existantes. D'ailleurs 82 irrigants (79%) confirment cette attitude. Une fois la culture est en place les irrigants n'épargnent aucun effort pour subvenir à ses besoins en eau. En effet toute panne survenue va être réparée rapidement et les besoins en carburant sont toujours satisfaits même en dépit des difficultés financières. 75 irrigants (72%) estiment que le manque de fonds de roulement ne constitue en aucun cas une entrave pour fournir la dose d'irrigation quitte à vendre une brebis mère ou même certains biens de la famille.

A la lumière de ces résultats nous pouvons noter l'importance du mode de gestion de la ressource en eau dans le fonctionnement de l'exploitation agricole. En effet la liberté d'accès et la disponibilité constituent des éléments décisifs dans le choix des cultures. Selon nos enquêtes, les irrigants sont conscients de cette importance mais les avis sont plutôt partagés quant à un éventuel arbitrage de choix entre la source publique et la source privée. Ainsi 77 irrigants interrogés, dont 26 du TypeP et 27 du TypeM, préfèrent l'usage de l'eau du réseau à l'eau du puits de surface principalement pour trois raisons :

- (i) Le débit de l'eau du réseau est tellement fort que les irrigants estiment que ça leur permet d'accomplir plus vite la tâche d'irrigation.
- (ii) La facilité d'accès ou plutôt l'absence des difficultés de pompage. En effet l'obtention de la main d'eau nécessite seulement le règlement de la redevance.
- (iii) L'eau du réseau revient moins chère que l'eau du puits de surface.

En revanche 71 irrigants, dont 21 du TypeR et 27 du TypeM préfèrent l'usage de l'eau du puits de surface à l'eau du réseau principalement pour trois raisons :

- (i) En disposant d'un puits de surface les irrigants estiment qu'ils sont maîtres de leur décision vis à vis de la pratique de l'irrigation.
- (ii) La disponibilité de la ressource en temps et en volume permet à l'irrigant de planifier mieux ses cultures en irrigué (choix des espèces et des superficies) et d'éviter tout risque de stress hydrique.
- (iii) Certains estiment que l'eau de puits de surface revient moins chère que l'eau du réseau.

### 3-2-3 Occupation du sol et intensification du facteur terre

En terme d'occupation du sol nous rappelons que l'olivier occupe une place prépondérante dans le système de culture. Les autres espèces comme l'abricotier ou le grenadier se trouvent uniquement au niveau du ppi Sidi Sayeh I en interligne avec l'olivier. Pour établir nos analyses nous avons opter pour l'agrégation des superficies utilisées en atelier de production : Arboriculture<sup>32</sup> (ARB), céréaliculture<sup>33</sup> (CCR), fourrages<sup>34</sup> (CFR), maraîchage d'été<sup>35</sup> (MRE) et maraîchage d'hiver<sup>36</sup> (MRH).

**Tableau 25: Répartition du nombre des exploitations par atelier de production**

Source	Atelier	TypeR	TypeP	TypeM	Total
Réseau public	ARB	45	0	54	99
	CCR	17	0	14	31
	CFR	15	0	14	29
	MRE	5	0	3	8
	MRH	3	0	3	6
Puits de surface	ARB	0	50	51	101
	CCR	0	40	32	72
	CFR	0	14	13	27
	MRE	0	29	23	52
	MRH	0	23	19	42

L'analyse des activités des exploitations (Tableau 25) montre que l'olivier est pratiqué par la quasi-totalité des exploitations enquêtées et ce indépendamment de la nature de la source d'irrigation. Les cultures céréalières sont pratiquées d'avantage lorsqu'on dispose d'un puits de surface. D'ailleurs 40 exploitations (80%) du TypeP font la céréaliculture contre uniquement 17 exploitations (37%) ayant accès à l'eau du réseau seulement. Ce résultat est confirmé pour les exploitations du TypeM dont 37 exploitations (68 %) pratiquent la céréaliculture avec 23 exploitations (62%) l'irriguent à partir de puits de surface et 5 exploitations (13%) l'irriguent à partir de l'eau du réseau. Les cultures fourragères sont pratiquées à peu près par le même nombre d'exploitation indépendamment de la nature de la source d'irrigation. En effet les cultures fourragères sont généralement pratiquées par

<sup>32</sup> L'arboriculture regroupe les plantations d'olivier, de grenadier, d'abricotier et de pistachier.

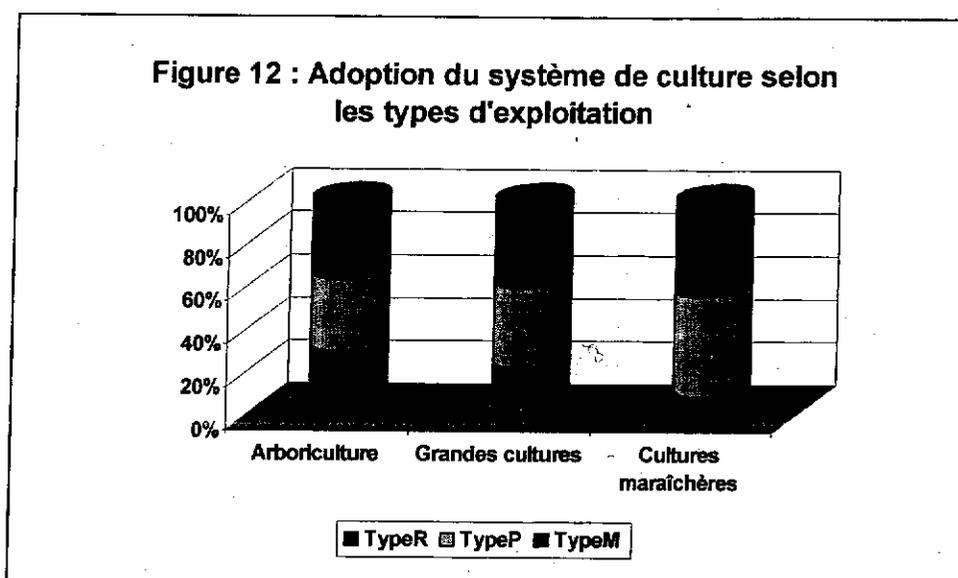
<sup>33</sup> La céréaliculture regroupe les cultures de blé dur, de blé tendre et de l'orge.

<sup>34</sup> Les cultures fourragères regroupent les cultures de sorgho, de luzerne et d'avoine.

<sup>35</sup> Le maraîchage d'été regroupe les cultures de piment, de tomate, de pastèque, de melon, d'oignon d'été, de concombre et de courge.

<sup>36</sup> Le maraîchage d'hiver regroupe les cultures de carotte, d'oignon d'hiver, d'ail, de pomme de terre d'arrière saison, de navet, de fève et de fenouille.

nécessité pour subvenir aux besoins des animaux<sup>37</sup>. Les cultures maraîchères sont très peu pratiquées au niveau des ppi. Seulement huit exploitations (17%) du TypeR pratiquent le maraîchage et 13 exploitations (13%) ayant accès à l'eau du réseau. En revanche 38 exploitations (76%) du TypeP pratiquent le maraîchage et 73 exploitations (70%) disposant de puits de surface pratiquent des cultures maraîchères. En effet les irrigants des ppi semblent entièrement découragés par les problèmes de tour d'eau, de pannes fréquentes et de l'exigence technique de ces cultures notamment par rapport à un débit fort de l'eau du réseau.

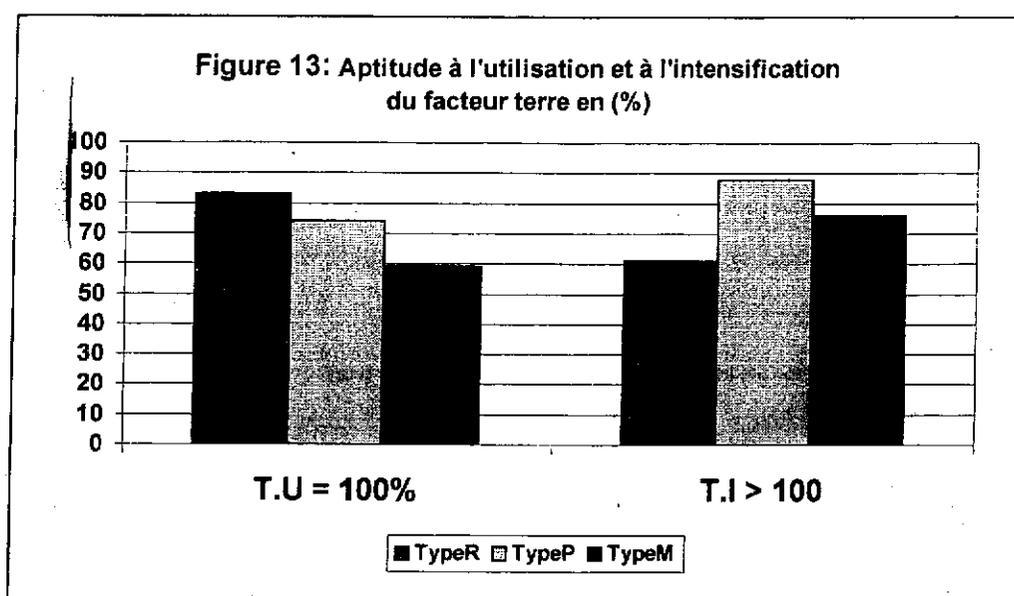


En terme d'utilisation de la terre nous signalons que sur une superficie moyenne irrigable de 4,75 ha les agriculteurs utilisent 4,25 ha avec un taux d'utilisation<sup>38</sup> moyen de l'ordre de 90%. Il atteint 93% pour les exploitations du TypeR et du TypeP alors qu'il baisse à 87% pour les exploitations du TypeM. Nous signalons aussi que 83% des exploitations du TypeR montrent un taux d'utilisation de 100% contre 74% pour les exploitations du TypeP et uniquement 59% pour les exploitations du TypeM (figure 13).

<sup>37</sup> Il s'agit soit d'un petit troupeau d'ovin que l'exploitant le préserve pour les besoins familiaux ou pour des besoins de fonds de roulement, soit de l'élevage bovin de 1 à 2 vaches laitières récemment introduit et que l'Etat l'encourage par des crédits (projet présidentiel) ou par l'approvisionnement (subventionné ou gratuit) en semences fourragères notamment la luzerne.

<sup>38</sup>  $Taux\ d'utilisation = \frac{Superficie\ physique\ totale\ irriguée}{Superficie\ irrigable}$

Pour le calcul de ce ratio toutes les superficies des cultures en intercalaire ne sont pas prises en compte.



En terme d'intensification, la pratique des cultures intercalaires rend le calcul et l'interprétation de l'indicateur un peu confuse. Mais vu qu'il s'agit d'une pratique commune à tous les agriculteurs de la région, nous avons pris en compte le double usage du facteur terre aussi bien pour les plantations que les cultures. Ainsi la mise en culture d'une superficie plantée est considérée comme une volonté d'intensification. Les résultats de nos calculs révèlent un taux d'intensification<sup>39</sup> moyen de 142%. Ce taux est légèrement supérieur chez les exploitations du TypeP atteignant une moyenne de 150% alors qu'il n'est que de 133 % pour les exploitations du TypeM. Comparé à la réalité d'intensification des périmètres publics irrigués comme nous l'avons décrit plus haut à l'échelle nationale et particulièrement au niveau de la région de Sidi Bouzid<sup>40</sup> ce résultat semble être surestimé. En effet si nous considérons que l'objectif de la pratique des cultures intercalaires est de faire bénéficier les plantations des irrigations de ces cultures, le numérateur du ratio d'intensification est réduit uniquement à la somme des superficies de cultures pratiquées et des plantations irriguées non cultivées en intercalaire. Ainsi le taux d'intensification moyen chute à 84%. Le taux le plus élevé est enregistré chez les exploitations du TypeR en atteignant 96% contre 79% chez les exploitations du TypeP. Alors que les exploitations du TypeM enregistrent le taux moyen le

<sup>39</sup>  $Taux\ d'intensification = \frac{Superficie\ des\ cultures\ irriguées}{Superficie\ irrigable}$

<sup>40</sup> Taux d'utilisation et d'intensification des périmètres irrigués – Campagne 2003-

	Taux d'utilisation (%)			Taux d'intensification (%)		
	Public	Privé	Total	Public	Privé	Total
National	73	86	79	77	98	88
Sidi Bouzid	89	94	94	90	95	95

Source : Enquête périmètres irrigués, Ministère de l'agriculture 2003.

plus faible avec 77%. Ce résultat confirme que le problème de sous utilisation et de sous intensification reste réellement posé et peut s'aggraver avec l'usage de deux ressources d'irrigation.

### **3-2-4 Pratiques d'irrigation et consommation en eau**

Le développement de l'irrigation n'a pas permis le développement des techniques d'irrigation et la maîtrise de la consommation en eau. Les systèmes d'irrigation sont essentiellement gravitaire aussi bien au niveau du secteur public que privé avec une efficacité à la parcelle de 40 à 60% seulement. La totalité des irrigants interrogés pratiquent la submersion (voir photo3). Seulement 10% ont introduit des systèmes d'économie d'eau pour irriguer certaines cultures à partir de puits de surface.



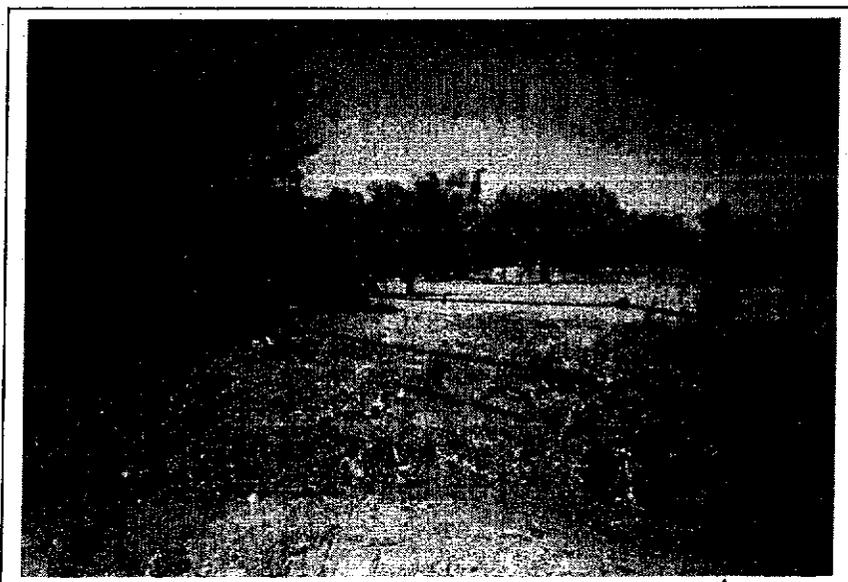
**Irrigation par Submersion**  
(Photo 3: PPI Ouled Brahim, Sidi Bouzid, 2004)

Ainsi au niveau des ppi les irrigants adoptent la submersion en acheminant l'eau par rigole ce qui engendre des grandes pertes notamment lorsque la parcelle se trouve éloignée de la source de l'eau. Les réseaux d'adduction à ciel ouvert n'ont pas permis la mise en oeuvre de techniques d'irrigation améliorées et même le passage à des réseaux sous pression ne semble pas très motivant pour l'adoption de nouvelle technique. Selon nos enquêtes nous signalons bien que l'échec de l'expérience du projet d'économie d'eau au niveau des ppi témoigne d'un désintéressement des irrigants de l'adoption de nouvelles techniques malgré qu'ils justifient leur attitude par la non-compatibilité de la technique elle-même. Il faut signaler aussi la faible capacité financière des irrigants à investir dans l'amélioration des

techniques d'irrigation. Malgré le dispositif d'incitation mis en place par l'Etat les irrigants évoquent la complexité de la démarche administrative et les problèmes d'accès au crédit.

Parfois l'exiguïté des parcelles et la nature de l'occupation du sol (pratique des cultures intercalaires) elle-même ne se prêtent pas à l'introduction de techniques d'irrigation améliorées ce qui a été signalé par certains agriculteurs.

Au niveau des périmètres privés nous retrouvons une situation vraisemblable avec les mêmes raisons sauf que la nature de la ressource (pompage avec faible débit) et la détermination morale des irrigants à se servir mieux de cette ressource les incitent à améliorer leur technique d'irrigation en utilisant juste des tuyaux en PVC pour acheminer l'eau à la parcelle (voir photo2). Plus de 50% des irrigants interrogés utilisent ces tuyaux pour acheminer l'eau jusqu'à la planche des cultures. Ceci permet de réduire les pertes d'eau et de maîtriser au mieux la consommation en eau. Certains agriculteurs pratiquent occasionnellement la technique d'irrigation par aspersion ou l'irrigation goutte à goutte. L'analyse de nos enquêtes montre que 12 agriculteurs font de l'aspersion (voir photo 4) mais seulement quatre agriculteurs pratiquent l'irrigation goutte à goutte. Par ailleurs nous signalons qu'au total 25 irrigants dont 17 du TypeM ont introduit un système d'économie d'eau mais 11 d'entre eux déclarent non satisfait de l'expérience. Les raisons évoquées se résument à la non-adéquation de la pédologie du sol et au faible débit de la ressource.



**Irrigation par Aspersion**  
(Photo 4: PIP Bir Badra, Sidi Bouzid, 2004)

Ce résultat montre que malgré les années d'expérience écoulées le système d'irrigation adopté reste rudimentaire et occasionne des pertes d'eau considérables. La réticence que manifestent les irrigants quant à l'amélioration de leur système d'irrigation se justifie essentiellement par le manque de moyens financiers. En effet 70 irrigants appartenant aux TypeP et TypeM envisagent l'introduction d'un système d'économie d'eau mais 53 d'entre eux évoquent la contrainte financière.

Concernant la consommation en eau par ha, le résultat révèle une moyenne globale de l'ordre de  $2100\text{m}^3/\text{ha}$ . Ce résultat est nettement inférieur que soit par rapport à la norme projetée par les planificateurs ( $6000$  à  $7000\text{m}^3/\text{ha}$ )<sup>41</sup> ou par rapport au volume réalisé au niveau national ( $5500\text{m}^3/\text{ha}$ )<sup>42</sup>. Les exploitations du TypeR et du TypeP consomment un peu plus avec  $2300\text{m}^3$  contre  $1750$  pour les exploitations du TypeM qui donnent un peu plus d'eau en ppi qu'en périmètre privé avec des quantités respectives de  $1932\text{m}^3$  et  $1791\text{m}^3$ . En revanche si nous poussons les analyses par rapport à la nature de la source d'irrigation nous remarquons que la consommation, à partir des puits de surface, est plus importante avec  $3367\text{m}^3$  contre  $2198\text{m}^3$  pour les périmètres publics irrigués. Cette consommation au niveau des périmètres publics s'approche de celle enregistrée à l'échelle nationale ( $2400\text{m}^3/\text{ha}$ ) alors que celle des périmètres privés reste faible. Mais ce résultat ne permet pas de conclure quant à l'intensification du facteur eau en raison de la diversité des espèces prises en compte et de la disparité des pratiques des agriculteurs en terme d'irrigation et de techniques culturales. L'analyse des consommations pour les espèces les plus pratiquées montre que les agriculteurs donnent plus d'eau à l'olivier en ppi qu'en périmètre privé avec  $1870\text{m}^3$  contre  $687\text{m}^3$ . Ceci peut être expliqué par deux principales raisons: La première concerne le débit fort de l'eau du réseau et le système d'irrigation qui occasionnent beaucoup de perte. La deuxième est relative à la pratique des cultures intercalaires qui est plus importante dans les périmètres privés que publics et par conséquent l'irrigant tient compte des consommations des autres cultures qui selon lui profitent à l'olivier. Pour les autres espèces tel que le blé dur, l'orge et l'avoine nous estimons qu'il n'y a pas de différence significative entre les consommations en ppi et celles en périmètres privés.

---

<sup>41</sup> Guesmi, 1991

<sup>42</sup> Hemdane, 2002

### 3-3 Analyse économique du fonctionnement des exploitations en irrigué

Nous rappelons que l'introduction de l'irrigation a réduit de manière remarquable l'élevage ovin. En effet l'incompatibilité de cette activité avec les plantations arboricoles qui se sont étendue d'une année à l'autre a obligé les paysans à réduire au minimum leur troupeau voire en abandonner totalement l'activité. En revanche l'introduction de l'élevage bovin est récente et ne concerne qu'un nombre limité d'exploitation. Pour cela nous allons focaliser nos analyses économiques sur les résultats de la spéculation végétale et plus particulièrement l'activité en irrigué. Comme nous l'avons déjà signalé, nous avons recueilli les données relatives au déroulement de la campagne 2003. Ces données concernent les produits et les charges des cultures pratiquées durant cette campagne. Ceci nous a permis de calculer les marges dégagées et de saisir certains indicateurs économiques. Ainsi nous allons discuter les aptitudes des irrigants à gérer leurs produits et leurs charges et analyser les résultats dégagés. Nous signalons que les prix utilisés sont ceux déclarés par les irrigants qui nous ont servi pour calculer des prix moyens que nous avons utilisés pour des éventuelles estimations. Par ailleurs les prix de l'eau sont ceux pratiqués par les GIC au niveau des ppi alors qu'au niveau des périmètres privés nous avons calculé les coûts<sup>43</sup> d'exhaure par m<sup>3</sup> pour chaque exploitation.

#### 3-3-1 Facteurs de production: Dépenses et financement

Analyse d'auteurs

En interrogeant les irrigants sur la nature des facteurs de production par espèce pratiquée nous avons constaté trois postes clefs dans la gestion des dépenses. Il s'agit de la mécanisation, la fertilisation et l'irrigation. Les autres postes que nous avons répertoriés concernent les semences, la main d'œuvre et tout autre dépense comme le transport, le battage de la récolte et le pressage d'olive. Selon nos enquêtes ces derniers postes ne constituent pas des dépenses imminentes pour nos irrigants. En effet la majorité des exploitants utilisent leurs propres semences<sup>44</sup> et emploient en priorité la main d'œuvre familiale alors que le transport, le battage et le pressage sont conditionnés par l'importance de la production. En tenant compte de l'estimation de la valeur des semences auto-produites, ces postes ne représentent que le tiers des charges engagées par l'exploitation.

<sup>43</sup> Ces coûts concernent seulement les frais de fonctionnement (carburant et charges d'entretien et de réparation du motopompe)

<sup>44</sup> A l'exception du maraîchage d'hiver dont les semences sont le plus souvent achetées au marché.

En analysant la moyenne des charges par hectare de superficie irriguée (Tableau 26) nous signalons l'importance des dépenses d'irrigation qui totalisent à elles seules 39% du total des charges. Ce taux varie de 35% chez les exploitations du TypeP à 44% chez les exploitations du TypeR. La mécanisation et la fertilisation représentent respectivement 15 et 8% des charges mais ces taux sont variables selon les types d'exploitation. En effet nous pouvons signaler l'importance des charges de mécanisation chez les exploitations du TypeR avec 19% et l'importance des charges de fertilisation chez les exploitations du TypeP avec 10%. Ce résultat est relativement confirmé en analysant la répartition des charges selon la nature de la source d'irrigation (Tableau 27). En effet les charges d'irrigation atteignent 38% aussi bien au niveau des périmètres publics que privés. Cependant les charges de mécanisation sont plus importantes au niveau des périmètres publics alors que les charges de fertilisation sont plus importantes au niveau des périmètres privés. Nous analyserons en profondeur cet usage lorsque nous aborderons l'efficacité des facteurs de production au niveau de la deuxième partie de ce document.

**Tableau 26: Répartition de la moyenne des charges à l'hectare selon les types d'exploitation en TND**

	TypeR		TypeP		TypeM		Total	
	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%	Valeur	%
<b>Irrigation</b>	162	44	202	35	154	40	172	39
<b>Mécanisation</b>	81	19	64	11	59	15	68	15
<b>Fertilisation</b>	27	9	57	10	27	7	37	8
<b>Sous total</b>	<b>270</b>	<b>74</b>	<b>323</b>	<b>56</b>	<b>240</b>	<b>63</b>	<b>277</b>	<b>63</b>
<b>Autres</b>	97	26	253	44	144	37	166	37
<b>Total des charges</b>	<b>367</b>	<b>100</b>	<b>576</b>	<b>100</b>	<b>384</b>	<b>100</b>	<b>443</b>	<b>100</b>

Globalement la moyenne des charges par hectare s'élève à 443 TND. Cette moyenne diffère selon les types d'exploitation et la nature de la source d'irrigation. En effet nous signalons que les exploitations du TypeP dépensent 50% de plus que les autres types. Cette différence est confirmée selon la nature de la source d'irrigation. Au niveau des périmètres privés, les dépenses à l'hectare s'élèvent à 486 TND contre seulement 391 TND au niveau des périmètres publics soit une différence d'environ 25%. Cette différence est due essentiellement à la différence des systèmes de production en matière d'occupation du sol et des espèces cultivées comme nous l'avons expliqué.

**Tableau 27: Répartition des charges à l'hectare selon la nature de la source d'irrigation en TND**

	Réseau public		Puits de surface	
	Valeur	%	Valeur	%
<b>Irrigation</b>	150	38	186	38
<b>Mécanisation</b>	88	23	60	12
<b>Fertilisation</b>	28	7	42	9
<b>Sous total</b>	<b>265</b>	<b>68</b>	<b>288</b>	<b>59</b>
<b>Autres</b>	126	32	198	41
<b>Total des charges</b>	<b>391</b>	<b>100</b>	<b>486</b>	<b>100</b>

Selon nos enquêtes les fonds propres restent la source de financement exclusive de ces dépenses. Ceci constitue une contrainte majeure pour la majorité des irrigants qui déclarent parfois avoir recours à la vente d'une brebis mère ou des biens de la famille pour financer ces charges. Les irrigants ne bénéficient pas de crédits pour financer leur campagne agricole. Le seul soutien fournis par l'Etat consiste à une subvention du carburant au niveau des périmètres privés alors que les irrigants tentent de réduire au maximum ces dépenses en utilisant un mélange de pétrole<sup>45</sup> et de gasoil voire seulement du pétrole. En revanche la majorité des irrigants (85%) ne déclarent aucun problème d'approvisionnement des facteurs de production alors que le reste signalent certaines difficultés relatives à:

- la réalisation des travaux de mécanisation notamment en période de pointe,
- l'accroissement des prix des facteurs,
- et la qualité des semences.

### **3-3-2 Importance et gestion de la production**

Avant d'analyser le niveau de la production nous rappelons certains circonstances du déroulement de la campagne agricole 2003. En effet de point de vue pluviométrie la région a bénéficié d'une pluviométrie relative ment bonne durant la campagne 2002-2003 (347 mm) ce qui a constitué de conditions favorables pour une bonne production notamment pour l'olivier. En 2003 les irrigants ont profité aussi d'une campagne exceptionnelle de la culture d'oignon d'hiver qui a bénéficié d'un prix de vente un peu exorbitant (jusqu'à 10 fois le prix habituel) et ce en raison de la chute<sup>46</sup> de l'offre du produit sur le marché. Cependant, en raison de la difficulté de recueillir des informations précises sur le niveau de production nous avons essayé d'approcher en valeur tous les résultats en recoupant toutes les déclarations des

<sup>45</sup> En 2003 le prix du litre de pétrole est homologué à 0,235 TND contre 0,415 TND pour le Gasoil.

<sup>46</sup> Cette chute est causée par une importante réduction des superficies réservées à cette cultures et ce en raison des inondations survenues au Nord de pays

irrigants sur les quantités produites, les quantités auto-consommées, les valeurs des ventes et les prix pratiqués.

Selon nos enquêtes la valeur de la production par exploitation s'élève en moyenne à 819 TND/ha. Ce résultat ne montre pas une grande disparité selon les types d'exploitation (Tableau 28). En effet nous signalons juste que les exploitations du TypeP et du TypeR réalisent un peu plus que cette moyenne avec respectivement 868 TND/ha et 842 TND/ha alors que les exploitations du TypeM réalisent juste 754 TND/ha. En moyenne le tiers de cette production est destinée à l'autoconsommation. Seulement les exploitations du TypeR sont moins intégrées au marché avec une moyenne de 42% de la production destinée à l'autoconsommation

Selon la nature de la source d'irrigation (Tableau 29) nous pouvons dire que le résultat est le même malgré une légère différence en faveur de l'activité dans les périmètres publics qui réalisent une moyenne de production de 887 TND/ha contre 814 TND/ha pour les périmètres privés.

**Tableau 28: Importance et destination de la production selon les types d'exploitation**

	TypeR	TypeP	TypeM	Total
<b>Production (TND/ha)</b>	842	868	754	819
<b>% de la vente</b>	58	70	71	67

**Tableau 29: Importance et destination de la production selon la nature de la source d'irrigation**

	Périmètre public	Périmètre privé
<b>Production (TND/ha)</b>	887	814
<b>% de la vente</b>	61	69

Concernant l'importance de la production selon la nature des espèces pratiquées (Tableau 30) nous pouvons remarquer que globalement l'arboriculture qui s'étend sur 62% de la superficie irriguée assure 45% de la production. En revanche les cultures maraîchères avec seulement 13% de la superficie irriguée assurent 29% de la production alors que les grandes cultures occupent le cinquième de la superficie et assure le cinquième de la production. L'importance de l'arboriculture se confirme davantage chez les exploitations du TypeR en rapportant 62% de la valeur de production alors que chez les exploitants du TypeP, même si la

superficie irriguée dépasse toujours les 50% elle ne contribue qu'avec 31% de la valeur de la production. Ceci est du principalement à l'importance des cultures maraîchères. En effet chez les exploitations du TypeR ces cultures occupent 8% des superficies irriguées et contribuent avec 10% de la valeur de production alors que chez les exploitations du TypeP elles occupent 18% des superficies irriguées et contribuent avec 42% de la valeur de production. Les exploitations du TypeM se trouvent dans une situation intermédiaire.

**Tableau 30 : Importance moyenne des ateliers de production selon les types d'exploitation**

<b>Echantillon</b>						
	<b>ARB</b>	<b>CCR</b>	<b>CFR</b>	<b>MRE</b>	<b>MRH</b>	<b>Total</b>
<b>% Superficie</b>	62	18	7	6	7	100
<b>% Production</b>	45	16	10	12	17	100
<b>Exploitation du TypeR</b>						
	<b>ARB</b>	<b>CCR</b>	<b>CFR</b>	<b>MRE</b>	<b>MRH</b>	<b>Total</b>
<b>% Superficie</b>	68	14	10	4	4	100
<b>% Production</b>	62	13	15	5	5	100
<b>Exploitation du TypeP</b>						
	<b>ARB</b>	<b>CCR</b>	<b>CFR</b>	<b>MRE</b>	<b>MRH</b>	<b>Total</b>
<b>% Superficie</b>	56	23	3	8	10	100
<b>% Production</b>	31	22	5	18	24	100
<b>Exploitation du TypeM</b>						
	<b>ARB</b>	<b>CCR</b>	<b>CFR</b>	<b>MRE</b>	<b>MRH</b>	<b>Total</b>
<b>% Superficie</b>	63	16	7	7	7	100
<b>% Production</b>	45	13	10	12	20	100

### 3-3-3 Analyse des marges et de la productivité des facteurs

A la lumière des analyses des charges et des produits de l'activité en irrigué nous allons analyser le résultat en matière de marge et de valorisation de la ressource en eau. Nous signalons tout d'abord que 40 exploitations (27%) enregistrent une marge négative. Seulement 13 exploitations vont compter sur l'activité en sec pour arriver à une marge globale positive. La marge de l'activité pluviale ne représente en moyenne que 15% de la marge totale. Elle ne représente que 4% chez les exploitations du TypeP alors qu'elle atteint 25% chez les exploitations du TypeM.

**Tableau 31: Importance économique de l'activité en irrigué selon les types d'exploitation**

	TypeR	TypeP	TypeM	Total
Marge Brute (Irrigué)/MB totale	85	96	75	85
Marge Brute/ ha irrigué (1)	486	291	369	379
Marge Brute/ ha irrigable (2)	635	462	480	522
Valeur Ajoutée = (2)-(1)	135	171	111	143
M. Brute (Arboriculture)/ha	374	197	223	260
M. Brute (Grandes cultures)/ha	300	153	187	201
M. Brute (Cultures maraîchères)/ha	1150	1024	915	986

La marge brute réalisée par hectare irrigué atteint une moyenne de 379 TND pour la totalité de l'échantillon. Les exploitations de TypeR réalisent une moyenne plus importante que les autres types atteignant 486 TND/ha. Cette Marge Brute par hectare s'améliore nettement si on considère la superficie irrigable. En effet elle atteint pour l'ensemble des exploitations une moyenne de 522 TND par hectare de potentiel irrigable soit une différence de 143 TND/ha. Ceci prouve l'intérêt de l'introduction de l'irrigation qui permet d'intensifier le facteur terre en cultivant la même parcelle plus d'une fois durant la campagne agricole. Alors si on considère cette différence comme une valeur ajoutée de l'irrigation (Tableau 31) nous remarquons que les exploitations du TypeM enregistrent la plus faible valeur avec seulement 111TND/ha et les exploitations du TypeP réalise la plus grande valeur atteignant 171TND/ha.

L'analyse des marges brutes selon les ateliers de production montre l'importance de la contribution des cultures maraîchères<sup>47</sup> dont la marge moyenne atteint 986 TND/ha contre 260 TND/ha et 201TND/ha respectivement pour l'olivier et les grandes cultures<sup>48</sup>. Cette importance de contribution est bien prouvée chez les trois types d'exploitation.

**Tableau 32: Analyse des Marges Brutes en TND par hectare irrigué**

	Périmètre public	Périmètre privé
Arboriculture	476	142
Grandes cultures	297	172
Cultures maraîchères	1767	924
Marge Brute globale	503	328

*hors arboriculture et  
pour rappel  
Pour la exp avec  
les arbor.*

<sup>47</sup> Regroupent les cultures maraîchères d'été et d'hiver

<sup>48</sup> Regroupent les cultures céréalières et les cultures fourragères.

*MB /ha.  
≡*

L'analyse des marges brutes selon la nature de la source d'irrigation (Tableau 32) confirme que les activités irriguées à partir du réseau public réalisent des marges bien supérieures à celles irriguées à partir de puits de surface. Ceci est vrai pour tous les ateliers de production.

**Tableau 33: Valorisation du facteur eau selon les types d'exploitation**

	TypeR	TypeP	TypeM	Total
<b>Production (TND/m<sup>3</sup>)</b>	0,426	0,430	0,541	0,469
<b>Marge Brute (TND/m<sup>3</sup>)</b>	0,245	0,145	0,274	0,222

En matière de productivité du facteur eau (Tableau 33) nous signalons qu'en moyenne nos exploitations réalisent 0,469 TND par mètre cube d'eau consommée et nous remarquons que les exploitations du TypeM réalisent beaucoup mieux avec 0,541 TND contre 0,430 et 0,426 respectivement pour les exploitations du TypeP et du TypeR. Ce résultat permet aussi aux exploitations du TypeM de dégager la meilleure marge par mètre cube d'eau consommée avec 0,274 contre 0,245 TND et 0,145 TND respectivement pour les exploitations du TypeR et les exploitations du TypeP. Alors si nous analysons cette productivité selon la nature de la source d'irrigation (Tableau 34) nous remarquons que les périmètres privés valorisent mieux l'eau consommée.

**Tableau 34: Valorisation du facteur eau selon la source d'irrigation**

	Périmètre public	Périmètre privé
<b>Production (TND/ m<sup>3</sup>)</b>	0,536	0,646
<b>Marge Brute (TND/ m<sup>3</sup>)</b>	0,294	0,336

La consommation en eau relative au déroulement de la campagne 2003 reste faible avec une moyenne de 2100 m<sup>3</sup>/ha. Cette consommation est plus importante au niveau des périmètres privés que les périmètres publics alors que les quantités réservées à l'irrigation de l'olivier, principale composante du système cultural, apparaissent plus importantes au niveau des périmètres publics.

Les charges d'irrigation représentent en moyenne 39% du total des dépenses et atteignent même 44% chez les exploitations du TypeR. La productivité moyenne du m<sup>3</sup> d'eau est de 0,469 TND. Cette productivité est plus grande au niveau des périmètres privés qui réalisent en moyenne 0,646 TND contre 0,536 TND au niveau des périmètres publics. En revanche les exploitations du TypeR réalisent une marge moyenne par hectare plus importante. Ce résultat est particulièrement confirmé en analysant les marges selon la source d'irrigation qui montre que l'activité en irrigué au niveau des périmètres publics réalise des marges bien supérieures à celles réalisées au niveau des périmètres privés.

A la lumière de ces résultats, un ensemble d'interrogation sont toujours posées: Cette consommation en eau traduit elle un niveau optimal d'usage de la ressource? L'importance de la productivité de l'eau réalisée par les périmètres privées peut elle justifier le niveau actuel d'usage et l'éventuelle création de puits de surface comme deuxième source d'irrigation? Deux hypothèses sont à vérifier:

**Hypothèse 1:** La faible consommation en eau ne peut pas exclure un éventuel gaspillage de la ressource.

**Hypothèse 2:** L'importance de la productivité de l'eau dans les périmètres privés stimule la surexploitation de la ressource.

Pour pouvoir affirmer ou infirmer ces hypothèses et apporter des éléments de réponse à nos questions nous allons analyser l'aptitude des producteurs à maîtriser la technologie de production. Ainsi nous consacrerons la deuxième partie de ce document à l'évaluation des performances des exploitations et l'identification des principaux facteurs susceptibles d'affecter l'usage optimale de la ressource.

## **Partie II:**

**Analyse des performances des systèmes de production et  
des déterminants des pratiques d'irrigation**

## Introduction

L'analyse des pratiques d'irrigation et le calcul économique que nous avons pu effectuer auparavant permet d'apprécier le mode de fonctionnement des trois types d'exploitation et les résultats relatifs au déroulement de la campagne 2003 sans pouvoir se prononcer sur la rationalité des irrigants. La productivité de la terre fait apparaître les exploitations de TypeP comme plus productives, suivies des exploitations de TypeR alors que la productivité de l'eau d'irrigation montre que les exploitations du TypeM sont plus productives suivies des exploitations du TypeP. Ce résultat montre déjà la difficulté de pouvoir comparer les systèmes de production d'autant plus que nous ne disposons pas de référentiel réel pour juger ces indicateurs.

A ce niveau d'analyse, la question de la maîtrise de la technologie de production reste aussi crucialement posée. Pour analyser l'allocation des facteurs et saisir un éventuel gaspillage, nous avons besoin d'évaluer l'efficacité de leur usage. De point de vue technique le concept d'efficacité désigne une allocation optimale des ressources. Dans un raisonnement néoclassique, l'efficacité technique de la production peut être définie comme l'aptitude à capter le «surplus» de productivité. Schématiquement, l'entreprise passe à une fonction de production supérieure, sans se déplacer nécessairement sur cette fonction, lorsque son efficacité augmente. Cette dernière est donc l'aptitude à tirer un plus ou moins grand produit physique d'une quantité globale de facteurs de production (Bureau, 1983).

Depuis les travaux de Farrell (1957) ce concept a beaucoup évolué aussi bien sur le plan théorique qu'au niveau des études empiriques. Nous distinguons deux approches de mesure. La première approche, dite paramétrique, utilise une fonction de production connue au préalable (Cobb-Douglas, Translog, CES...) alors que la deuxième, dite non paramétrique, ne fait aucune restriction sur la fonction de production et utilise la programmation linéaire pour établir la relation fonctionnelle entre les inputs et les outputs.

Ainsi nous consacrerons le premier chapitre pour définir ce concept et présenter le principe de mesure selon la démarche de Farrell (section I). Nous montrerons l'importance de ce concept par rapport à d'autre indicateur de performance comme la productivité, la rentabilité et l'intensification (section II). Dans une troisième section nous développerons l'approche non paramétrique ou Data Envelopment Analysis (DEA) que nous retiendrons pour analyser les performances techniques et économiques de nos exploitations en irrigué.

Dans un deuxième chapitre nous allons identifier la fonction de production appropriée et analyser les mesures de l'efficacité de technique (section I). Nous consacrerons la deuxième section à l'évaluation des performances économiques des systèmes de production aussi bien à l'échelle exploitation que parcelle. En fin nous allons identifier les principaux facteurs susceptibles d'affecter les performances techniques et économiques des exploitations dans les conditions d'exercice de l'activité en irrigué de notre région d'étude (section III)

## Chapitre I

### Approche théorique pour l'analyse des performances des entreprises

Durant les trois dernières décades, l'approche efficacité s'est imposée comme outil privilégié pour des analyses de productivité globale. Dans ce sens les études empiriques se sont multipliées mettant en exergue la pertinence de la méthode et l'importance des résultats obtenus (Battese, 1992 ; Bravo-Ureta et Pinheiro, 1993; Seiford, 1996). Ce développement empirique incarne aussi un développement théorique de l'approche et ce depuis les travaux de Farrell (1957) qui fut le premier à expliciter une mesure de l'efficacité. En effet, cette approche frontière est mise en œuvre sous forme paramétrique, non paramétrique, déterministe et stochastique (Thiam et al., 2001; Amara et Romain, 2000). Ce développement théorique et empirique est reflété aussi par une littérature en croissance exponentielle, non seulement dans les revues d'économie mais aussi dans celles de management ou de recherche opérationnelle (Simioni, 1994).

Malgré ce développement, la définition de l'efficacité est loin d'être univoque en raison de l'étendue du champ d'application et d'un usage du terme parfois non explicite. Pour cela la définition du terme efficacité et notamment la signification du concept du côté de la théorie économique (section I) permet de mieux cerner les idées et saisir la pertinence de son usage notamment par rapport à d'autres indicateurs de performance comme la productivité, la rentabilité et l'intensification.

Depuis les travaux pionniers de Farrell (1957) la mesure de l'efficacité s'est développée de manière spectaculaire sous deux approches : l'une paramétrique et l'autre non paramétrique. Pour cela nous explicitons les fondements de base de l'une et de l'autre tout en dressant les avantages et les limites de chacune (section II).

L'approche non paramétrique correspond au modèle Data Envelopment Analysis (DEA) qui a connu le développement de plusieurs variantes permettant de répondre à des situations très diverses. Dans cette perspective nous présenterons à la section III le perfectionnement théorique qui a accompagné la méthode et nous synthétisons des études empiriques qui prouvent la large utilisation du modèle.

## I- Le concept efficacité en théorie économique

L'une des hypothèses forte de la théorie économique consiste à considérer qu'un producteur est parfaitement rationnel dans la mise en œuvre de son processus de production et par conséquent son comportement ne peut traduire qu'une situation de fonctionnement optimale. A l'issue de cette hypothèse une fonction de production, représentant la technologie adoptée, offre la possibilité de caractériser toutes les combinaisons des inputs<sup>49</sup>  $X$  qui donnent lieu à des outputs<sup>50</sup>  $Y$  tel que  $Y=f(X)$ . Dans ce contexte la possibilité que des producteurs soient inefficaces a souvent été ignorée ou occasionnellement reconnue dans la théorie de la production néoclassique. Cité par Piot (1994), Samuelson (1965) suppose que le producteur alloue avec succès toutes ses ressources d'une manière efficace et privée.

Selon Piot (1994), « la production, les coûts de production et les profits peuvent être différents d'une entreprise à l'autre, et même entre des firmes ayant des processus de production similaires. Au-delà des caractéristiques physiques et technologiques, des différences peuvent exister dans l'utilisation des facteurs et la mise en œuvre du processus productif et largement influencer le niveau de performance des entreprises ». Cité par Bureau (1983), Bergmann (1981) écrit « à l'intérieur de certaines exploitations suivies en France par les centres de comptabilité et de gestion, il apparaît des différences considérables entre les meilleures et les moins bonnes. Elles sont donc largement attribuables à des différences de compétences entre agriculteurs ».

C'est à partir de ce constat qu'on admet l'inefficacité de certaines situations. En réalité un agriculteur maîtrisant parfaitement la technologie est incapable de contrôler d'autres facteurs comme les aléas climatiques et son environnement économique qui affectent énormément le processus de production et aboutissent à des résultats non espérés. Un ensemble d'agriculteurs qui disposent des mêmes conditions de production peuvent ne pas aboutir au même résultat pour des différences -intrinsèques à l'agriculteur- dans la mise en œuvre de ses pratiques agricoles. Ray (2004) considère que dans une situation comme dans l'autre toute combinaison input-output observée est efficace et les inefficacités révélées sont dues à des variables exogènes. Donc comment définir ce concept d'efficacité et quelle est sa pertinence par rapport aux autres indicateurs de performance (productivité, rentabilité et intensification)?

<sup>49</sup> Il s'agit d'un vecteur de  $m$  inputs représenté par  $(x_1, x_2, \dots, x_m)$

<sup>50</sup> Il s'agit d'un vecteur de  $s$  outputs représenté par  $(y_1, y_2, \dots, y_s)$

## 1-1 Définition de l'efficacité

En se référant au petit Robert le terme efficacité signifie « la capacité de produire le maximum de résultat avec le minimum d'effort de dépense ». Cette définition exprime bien l'attitude d'un agent économique à la recherche d'une situation optimale considérée par la théorie économique comme impérative sous l'hypothèse d'une rationalité parfaite.

*« Les premières études de l'efficacité, dite technique, des producteurs ont été réalisées par Koopmans (1951) et Debreu (1951). Koopmans propose une définition de l'efficacité dans une logique parétienne : s'il est technologiquement impossible d'augmenter un output et/ou réduire un input sans simultanément réduire au moins un autre output et/ou augmenter au moins un autre input, le plan de production choisi par la firme est techniquement efficace »* (Piot, 1994). Cette définition est reprise par tous les auteurs intéressés à l'approche de l'efficacité et certains parlent même de l'efficacité Pareto-Koopmans (Thanassoulis, 2001 ; Ray, 2004) ou tout court de l'efficacité au sens de Pareto (Varian, 1994). Ceci n'a pas empêché les auteurs d'avancer des définitions adaptées au contexte d'analyse<sup>51</sup> tout en se référant implicitement à l'optimum de Pareto. En effet, Varian (1994) rappelle même que « l'efficacité au sens de Pareto est en science économique un concept très important qui apparaît sous des déguisements divers. Une allocation efficace au sens de Pareto peut être définie comme une allocation présentant la propriété suivante :

- 1- il n'est pas possible d'accroître la satisfaction de toutes les personnes impliquées; ou
- 2- il n'est pas possible d'accroître le niveau de satisfaction d'un individu sans réduire le niveau de satisfaction de quelqu'un d'autre; ou
- 3- tous les gains d'échanges ont été exploités; ou
- 4- il n'est pas possible d'effectuer des échanges mutuellement avantageux; etc »

---

<sup>51</sup> Varian (1994) utilise le terme efficacité et à chaque contexte d'analyse donne une définition:

1- « une situation économique est efficace au sens de Pareto s'il n'existe aucune façon d'accroître la satisfaction d'un groupe de personnes sans diminuer celle d'un autre groupe. Le concept d'efficacité au sens de Pareto peut être utilisé pour évaluer les différents modes d'affectation des ressources » (Varian, 1994, p.23)

2- En terme microéconomique « quand les biens sont produits de la façon la plus efficace possible, le taux marginal de transformation entre deux biens indique le nombre d'unités d'un bien auquel l'économie doit renoncer pour obtenir des unités supplémentaires de l'autre bien » (Varian, 1994, p.572).

3- « l'efficacité au sens Pareto implique que le taux marginal de substitution de chaque individu doit être égal aux taux marginaux de transformation » (Varian, 1994, p.572).

Marsal (1982) rappelle qu'en économie le concept efficacité fait référence à la notion d'optimum de Pareto et suggère qu'un processus de production est efficace si :

*«-dans le cas d'un producteur, il n'est pas possible de modifier la combinaison des productions et des facteurs de production, sans diminuer le niveau d'au moins une production.*

*-dans le cas d'un ensemble de productions, il n'est pas possible de modifier la combinaison des productions et des facteurs de production, sans diminuer le niveau de production d'au moins un producteur » (Marsal, 1982).*

Bureau (1983) évoque certaines ambiguïtés pour définir le terme efficacité qui peut prendre un sens large synonyme du produit ou du revenu le plus grand étant donné le niveau d'input. Alors qu'un sens « pur » de l'efficacité signifie l'aptitude des firmes à intégrer le progrès technique qui se traduit par un déplacement de l'isoquante vers l'origine au sens de la théorie de production.

Thanassoulis (2001) reprend la définition de Koopmans (1951) et définit une efficacité portée sur l'output et une efficacité portée sur l'input :

➤ *Output orientation : A Decision Making Unit (DMU) is Pareto-efficient if it is not possible to raise anyone of its output levels without lowering at least another one of its output levels and/or without increasing at least one of its input levels.*

➤ *Input orientation : A Decision Making Unit (DMU) is Pareto-efficient if it is not possible to lower anyone of its input levels without increasing at least another one of its input levels and/or without lowering at least one of its output levels.*

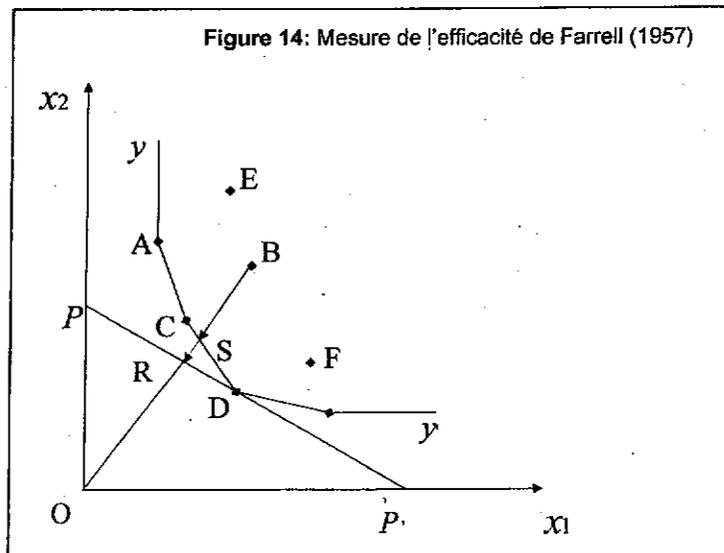
Cette proposition semble plus cohérente en raison de sa compatibilité avec le développement de deux variantes du modèle d'efficacité en adoptant la méthode DEA (section III) : l'une porte sur les inputs (Input-oriented envelopment model) et l'autre porte sur les outputs (Output-oriented envelopment model)

## 1-2 Démarche de Farrell pour la mesure de l'efficacité

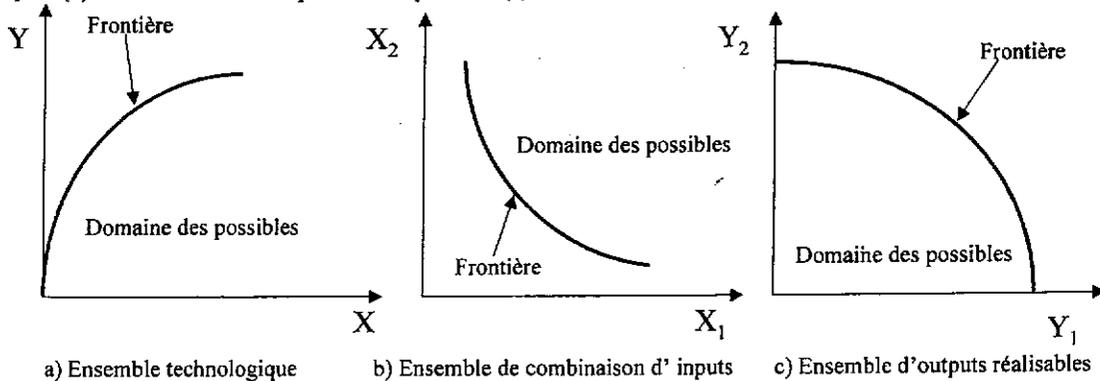
Pour mieux saisir la définition de l'efficacité nous présenterons la démarche de Farrell (1957) tel quelle est explicitée par plusieurs auteurs (Marsal, 1982, Piot et Vermersch, 1993, Piot, 1994 ; Amara et Romain, 2000). Elle consiste à considérer une firme qui produit un seul output  $y$  à partir de deux inputs  $x_1$  et  $x_2$ , ainsi la frontière de production<sup>52</sup> -qui traduit les différentes combinaisons des deux inputs qu'une firme parfaitement efficace peut utiliser pour produire une unité d'output- est représentée par l'isoquante  $yy'$ .

La firme B, située dans le domaine du possible comme l'illustre la figure 14, est dite techniquement inefficace. En effet sa projection radiale sur la frontière de production, soit en S, montre qu'elle est en mesure de réduire ses inputs  $x_1$  et  $x_2$  tout en conservant le même niveau de production. Ainsi Farrell suggère de mesurer l'efficacité de la firme B par le ratio

$\frac{OS}{OB}$ . Cette efficacité est comprise entre 0 et 1.



<sup>52</sup> Nous signalons que la frontière de production est différente du domaine des possibles et les deux concepts sont représenté différemment selon qu'on s'intéresse à la performance de la technologie (a), à la substituabilité des inputs (b) ou à la combinaison possible de produits (c) :



Nous supposons maintenant que les marchés des facteurs sont compétitifs, les prix relatifs des inputs  $x_1$  et  $x_2$ , peuvent être représentés par la droite d'isocoût  $PP'$ . Cette dernière indique le coût minimum de production d'une unité d'output au point de tangence entre la droite  $PP'$  et l'isoquante  $yy'$ , soit le point D sur la figure 14. Ainsi en S, même si la firme est techniquement efficace, l'utilisation des ressources est plus coûteuse qu'en R. Cependant la projection radiale de la firme B sur  $PP'$  le situe en R et le segment RS représente donc la mesure de l'inefficacité prix, c'est à dire le surplus du coût résultant d'une utilisation des facteurs dans des proportions non optimales pour le système des prix observés. Ainsi Farrell suggère de mesurer l'efficacité-prix de la firme B (appelé encore efficacité allocative) par le ratio  $\frac{OR}{OS}$ .

Cette décomposition de la mesure de l'efficacité permet d'évaluer l'efficacité économique d'une firme B mesurée par le ratio  $\frac{OR}{OB}$  qui n'est autre que le produit de l'efficacité technique et de l'efficacité allocative.

$$\frac{OR}{OB} = \frac{OS}{OB} * \frac{OR}{OS}$$

### 1-3 L'efficacité: Indicateur global de mesure des performances

Certains indicateurs comme la productivité ou la rentabilité sont utilisés parfois pour analyser l'efficacité des firmes. Bureau (1983) souligne qu'en « économie, on peut être amené à considérer l'efficacité au sens large comme une productivité, comme une rentabilité, comme l'optimisation de la combinaison des ressources disponibles, ou comme le choix d'une bonne technique de production ». Carles (1979) analyse l'efficacité économique des exploitations agricoles françaises produisant des céréales, du lait ou des porcins en employant des indicateurs comme la productivité et la rentabilité. En analysant les relations entre l'intensification et l'efficacité en agriculture Jacquet et Flichman (1988) emploient le terme efficacité par référence au coût de production. Selon les auteurs « l'efficacité maximale est atteinte, lorsque le coût de production par unité de produit est minimal ».

Mais de toute manière, ces considérations ne peuvent pas traduire l'efficacité de Farrell qui incarne l'équilibre parétien comme principe de base. Ainsi nous allons chercher en quoi cette efficacité se distingue des autres indicateurs usuels de performance des entreprises. Nous analysons particulièrement les notions de productivité, de rentabilité et d'intensification.

### 1-1-3-1 La productivité

Une utilisation efficace des ressources suppose que la firme incarne un double objectif : (i) produire la plus grande quantité d'output à partir d'un niveau donné d'input (ii) produire une quantité déterminée d'output avec une quantité minimum possible d'input. Une analyse de productivité permet de saisir la réalisation de tel objectif. Cette productivité est mesurée par le rapport output/input. Elle est partielle lorsqu'on s'intéresse à la productivité d'un seul input et globale lorsqu'on a affaire à la totalité des inputs (Ray, 2004).

Soit une firme qui produit un output  $y$  en utilisant deux inputs  $x_1$  et  $x_2$ , à des prix respectifs  $p_1$  et  $p_2$

La productivité partielle ( $PP$ ) du facteur  $x_1$  est mesurée par le rapport:  $PP = \frac{y}{x_1}$

La productivité globale ( $PG$ ) des facteurs est mesurée par le rapport :  $PG = \frac{y}{p_1x_1 + p_2x_2}$

Cette productivité, mesurée pour caractériser les performances d'usage des ressources, est souvent interprétée comme équivalente à l'efficacité dans le sens où une firme plus productive serait synonyme de plus efficace. Mais ceci n'est pas toujours vrai car même si les deux concepts sont étroitement liés, ils sont fondamentalement différents. En effet la productivité est une mesure descriptive des performances alors que l'efficacité est une mesure normative (Ray, 2004).

Pour mieux expliciter cette différence nous analysons le cas deux firmes A et B produisant l'output  $y$  en employant l'input  $x$ .

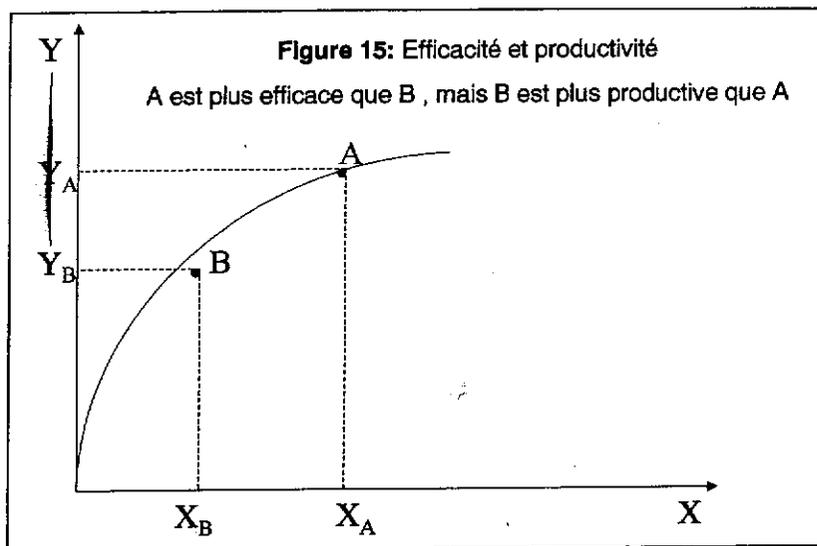
La productivité de la firme A est donnée par  $P_A = \frac{y_A}{x_A}$

La productivité de la firme B est donnée par  $P_B = \frac{y_B}{x_B}$

La différence entre la productivité et l'efficacité s'observe sur la figure 15 qui montre que A est plus efficace mais moins productive que B.

De même on peut calculer l'indice de la productivité ( $IP$ )° de la firme A par rapport à la firme B comme suit :

$$IP_{A,B} = \frac{P_A}{P_B} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B}$$



Considérons maintenant qu'on est en mesure d'identifier la technologie qui peut être décrite par la fonction de production suivante :  $y=f(x)$

Ainsi  $y_B^* = f(x_B)$  est la quantité d'output maximale que peut produire la firme B à partir de la quantité d'input  $x_B$ . Par conséquent nous pouvons calculer l'efficacité technique (ET) portée sur l'output de la firme B en rapportant son output observé  $y_B$  à la quantité d'output maximale  $y_B^*$  : Ainsi  $ET_B = \frac{y_B}{y_B^*}$  et nous pouvons noter que  $ET_B < 1$

En revanche si la firme B arrive à produire le maximum d'output  $y_B^*$  à partir de la quantité d'input  $x_B$  ; sa productivité s'écrirait  $P_B^* = \frac{y_B^*}{x_B}$

En revenant sur son efficacité ET nous pouvons formuler l'égalité suivante :

$$ET_B = \frac{y_B}{y_B^*} = \frac{y_B/x_B}{y_B^*/x_B} = \frac{P_B}{P_B^*} = IP_{B,B}$$

Ainsi l'efficacité technique de la firme est égale à son indice de productivité relative à la firme hypothétique produisant le maximum d'output à partir de la même quantité d'input.

### 1-1-3-2 La rentabilité

La rentabilité est aussi un indicateur de jugement de performance d'une firme. Elle est synonyme de profit quand elle est définie comme le solde entre la valeur de la production et le coût de revient (Carles, 1979 ; cité par Bureau 1983). Ainsi une activité est dite rentable s'il elle permet de réaliser un profit. Dans ce cas la firme décide de produire la quantité qui maximise son profit en fonction du prix du marché (Varian, 1994).

Considérons une firme qui produit la quantité  $y$  d'output avec des coûts totaux évalués à  $C(y)$ . Soit  $p$  le prix de vente de  $y$  alors le profit  $\Pi$  est donné par l'équation suivante :

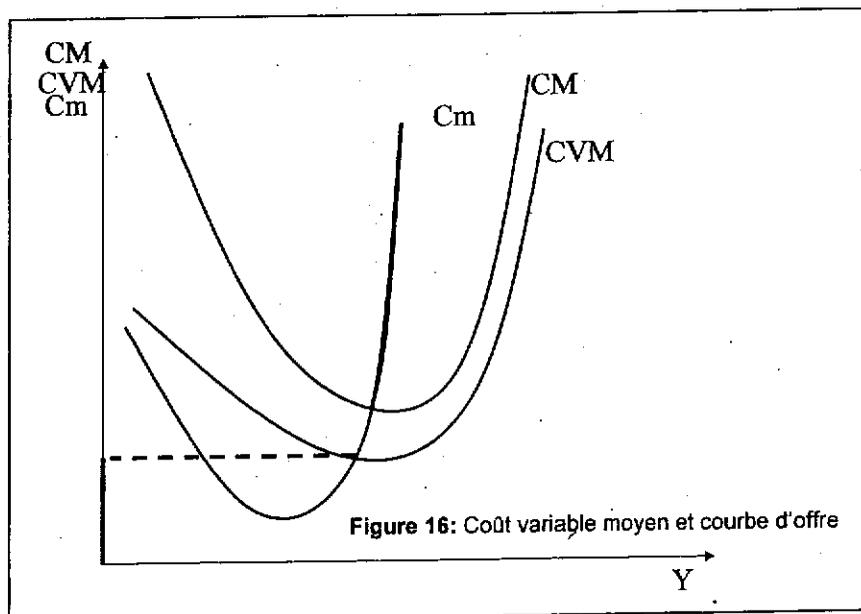
$$\Pi = py - C(y)$$

La maximisation du profit implique que la firme produira la quantité  $y$  pour la quelle la recette marginale égale le coût marginal soit  $p = Cm(y)$  tout en se plaçant sur la partie croissante de la courbe de coût marginal (voir figure 16). Sauf que cette égalité est une condition nécessaire mais non suffisante pour la maximisation du profit. En effet les coûts supportés par la firme se décomposent en coûts fixes ( $CF$ ) et coûts variables ( $CV(y)$ ). Par conséquent si  $py - CV(y) < 0$ , la firme devrait cesser son activité même si le prix égalise le coût marginal. En réarrangeant cette dernière inégalité, Varian (1994) signale la condition de fermeture:

$$CVM(y) = \frac{CV(y)}{y} > p$$

Avec  $CVM(y)$  est le coût variable moyen

Par conséquent tant que cette condition est vérifiée, la firme est dite non rentable et a intérêt à quitter le marché.



Il faut noter tout d'abord que cette rentabilité ne correspond pas à la notion de productivité pour la simple raison que l'une est une différence (produit-charge) et l'autre est un rapport (produit/charge). Cette rentabilité ne traduit pas non plus la même signification que l'efficacité.

Marsal (1982) précise qu'il faut distinguer entre :

- *Recherche de l'efficacité maximale : elle doit se faire pour chaque valeur de  $x$  (ou sur une plage dimensionnelle restreinte) en recherchant la combinaison  $(Y,X)$  qui maximise  $Y/X$ . il s'agit donc de situer le producteur le plus près possible de la fonction de production potentielle (ou sur une autre fonction de production d'un niveau plus élevé).*
- *Recherche de la rentabilité maximale : c'est la détermination du point de la fonction qui maximise le revenu compte-tenu des rapports de prix envisagés.*

Du point de vue conceptuel en se limitant à l'efficacité technique la différence est claire du fait que la rentabilité intègre les prix du marché aussi bien des inputs que de l'output et du coup la firme peut être efficace mais non rentable et vice versa. La notion d'efficacité demeure aussi une notion relative dont la valeur est calculée en comparant les unités de production entre elles. Alors que la rentabilité est un indicateur qui détermine plus au moins l'existence de la firme sur le marché. Par conséquent une firme rentable peut continuer à être présente sur le marché et fonctionner dans une situation d'inefficacité allocative car elle n'arrive pas à minimiser ses coûts.

En revanche une firme qui révèle une efficacité économique parfaite ne peut être que rentable car, par rapport aux autres firmes sur le marché, elle présente les meilleures performances techniques au niveau de la production et l'usage d'inputs ainsi que la réalisation des meilleurs prix.

### **1-1-3-3 L'intensification**

L'intensification est un indicateur de performance technique qui nous renseigne sur l'usage des facteurs dans une perspective d'accroître la production. En agriculture, on est intéressé le plus souvent par l'accroissement des rendements. « *En micro-économie, le concept d'intensification fait référence à une modification de l'utilisation relative des facteurs de production. Selon le facteur, par rapport auquel on mesure l'augmentation des autres*

*facteurs, on parlera généralement d'intensification du travail ou d'intensification de la terre ...l'intensification est mesurée comme le rapport entre l'ensemble du capital et du travail, exprimé en unités monétaires, et la terre, en unités physiques» (Jacquet et Flichman, 1988).* Selon les auteurs on ne parle d'intensification que si l'augmentation de la production par unité de terre est accompagnée d'une augmentation du rapport capital-travail par unité de terre. En revanche si ce dernier rapport est constant voire décroissant, on parle plutôt du progrès technique que d'intensification.

Mais on sait qu'une évolution du progrès technique au sens « pur » ne peut induire qu'une évolution positive de l'efficacité de l'agriculture du fait d'un déplacement de la fonction de production. Par conséquent dans le cas d'augmentation des rendements il faut distinguer entre ce qui est imputé au progrès technique de ce qui provient d'une intensification au sens « strict » (Jacquet et Flichman, 1988).

L'intensification est un concept qui intéresse surtout les politiques agricoles qui cherchent à accroître la production agricole. Le cas typique fait référence à la politique agricole commune qui a fonctionné avec ce principe jusqu'au milieu des années 80 et on n'imagine mal à l'époque qu'un agriculteur cherche l'efficacité d'usage des engrais ou du concentré alors que les primes sont touchés en fonction de la quantité produite. De même la politique volontariste tunisienne de soutien des agriculteurs avant la mise en œuvre du programme PASA en 1986 a permis aux agriculteurs de bénéficier des intrants à des prix largement subventionnés pour les inciter à intensifier leur agriculture et produire d'avantage. Mais en dépit de la diversification et de l'accroissement de la production, l'usage des facteurs ne semble pas être raisonné de manière à éviter aujourd'hui la surexploitation des eaux et la dégradation de leur qualité ainsi que la qualité des sols. Ces deux exemples montrent bien que l'intensification des facteurs peut prendre une allure au détriment d'un usage efficace des ressources.

## II- Les approches de mesure de l'efficacité

Il faut rappeler que la prise en compte du concept efficacité a été saisie par des économistes bien avant les travaux de Farrell (1957). En abordant la question d'allocation des ressources pour l'ensemble de l'économie, Debreu (1951) fut le premier à offrir une mesure de l'efficacité par le «coefficient d'utilisation des ressources ». En 1953, Shephard introduit la fonction de distance comme une caractérisation alternative de la technologie, qui traduit plus au moins la même chose que l'efficacité technique de Farrell (Ray, 2004). La démarche de Farrell (1957) telle que nous l'avons présentée ci dessus constitue le fondement de base de tous les travaux de recherche postérieurs qui tentent d'explicitier une meilleure mesure de l'efficacité. Ces travaux se sont développés sur la base de deux approches : l'une paramétrique est basée sur le calcul économétrique et l'autre non paramétrique est basée sur la programmation linéaire. Avant de présenter ces deux approches, il faut noter que la distinction entre paramétrique et non paramétrique tend à s'estomper avec l'introduction d'une nouvelle approche dite semi paramétrique qui comprend deux étapes : «*D'abord, l'efficacité des observations de l'échantillon est caractérisé au moyen d'une méthode non paramétrique, puis sur le sous ensemble des firmes efficaces un modèle est estimé à l'aide des méthodes paramétriques* » (Piot, 1994).

### 2-1 Approche paramétrique

L'approche paramétrique est basée sur le calcul économétrique qui permet d'estimer la frontière de production. A fin de pouvoir la comparer à l'approche non paramétrique en dressant éventuellement les avantages et les limites de l'une et de l'autre nous allons expliciter son principe de fonctionnement dans ce qui suit.

Soit un ensemble de  $j$  firmes ( $j=1...N$ ) qui produisent l'output  $y$  à partir d'un ensemble d'inputs  $x$  ( $i=1...m$ ). Ce processus de production peut être représenté par la relation fonctionnelle suivante :

$$y = f(\beta, x_1, x_2, \dots, x_m) + \eta$$

$\beta$  est un vecteur de paramètres inconnus à estimer.

Le terme  $\eta$  représente des résidus aléatoires dans le sens que la transformation des inputs par le modèle à estimer peut ne pas reproduire exactement l'output  $y$  observé en raison de l'existence d'autres facteurs aléatoires non contrôlés par le processus de production.  $\eta$  est

supposé distribué normalement avec une moyenne nulle et indépendamment des variables  $x$ . Soit  $y$  le niveau de l'output estimé alors l'efficacité technique est donnée par le ratio  $y^*/y$ .

Farrell (1957) fut le premier à appliquer cette approche en utilisant la forme fonctionnelle Cobb-Douglas pour analyser des données agricoles de 48 Etats américains tout en imposant des rendements d'échelle constants. Aigner et Chu (1968) ont continué sur la même voie en utilisant également la forme fonctionnelle Cobb-Douglas pour estimer une fonction de production frontière à partir des firmes manufacturières américaines.

Cette approche est dite paramétrique déterministe car tout écart des valeurs observées par rapport à celles estimées est attribué à des inefficacités. Ceci fait que certains facteurs aléatoires tel que les aléas climatiques, les pénuries des intrants ou un mauvais rendement des machines, ne sont pas pris en compte alors qu'ils sont susceptibles d'affecter les performances de la firme et par conséquent son indice d'efficacité au même titre que les facteurs contrôlables par le processus de production. Ces arguments sont à l'origine du développement de l'approche stochastique ou d'erreur composée, initialement proposée par Aigner et al. (1977), Meeusen et Van Den Broek (1977) et améliorée par Jondrow et al. (1982) pour permettre l'estimation de l'indice d'efficacité technique spécifique à chaque firme (Amara et Romain, 2000). Cette approche postule que le terme d'erreur  $\eta$  est composé de deux parties indépendantes, soit une composante purement aléatoire ( $v$ ) qui se trouve dans n'importe quelle relation et qui se distribue de chaque côté de la frontière de production (two-sided error term), et une composante représentant l'inefficacité technique ( $u$ ). Ce terme d'inefficacité est supposé positif, répartie d'un seul côté de la frontière et suit une distribution semi-normale ou exponentielle. Cette approche est connue sous le nom de la frontière stochastique « Stochastic Frontier Analysis (SFA) » dont le modèle est représenté par l'équation suivante:

$$y = f(\beta, x_1, x_2, \dots, x_m) + v + u$$

Battese (1992) fait le point sur les différentes étapes du développement théorique de cette approche paramétrique et les outils d'estimation de la fonction de production depuis les années 60. Il présente la conception théorique et trace les applications empiriques en économie agricole (revue non exhaustive de littérature) des trois modèles : (i) frontière déterministe (ii) frontière stochastique et (iii) données de panel. Il conclue que le développement de cette approche a permis des analyses plus élaborées de l'efficacité technique. En revanche son application à des unités de production agricole révèle plusieurs

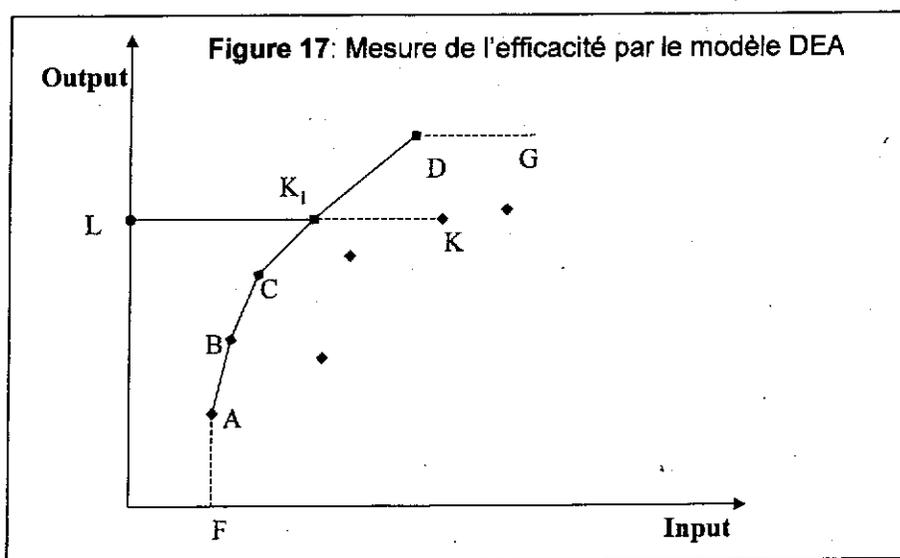
problèmes notamment au niveau de choix des hypothèses de distribution pour établir une meilleure estimation ainsi qu'au niveau de la recherche des déterminants des inefficacités.

## 2-2 Approche non paramétrique

Farrell (1957) reconnaît que la fonction estimée par la méthode des moindres carrés ne pourrait pas représenter une frontière de production car les observations vont se répartir de part et d'autre de la courbe. Pour remédier à ce problème de représentation, il propose une approche non paramétrique qui repose sur la programmation linéaire (Ray, 2004). Elle consiste à construire le domaine du possible en utilisant une fermeture par morceaux sans spécifier la forme fonctionnelle de production. Ce domaine du possible devrait contenir toutes les combinaisons d'inputs-outputs faisables par principe et incluant toutes les combinaisons observées.

La construction du domaine du possible répond à des hypothèses de base que nous développerons plus loin et qui se résument à:

- 1) l'interpolation de combinaisons faisables d'inputs-outputs aboutit à une nouvelle combinaison faisable.
- 2) l'inefficacité de production est possible
- 3) le domaine du possible est le plus petit ensemble qui vérifie ces hypothèses et contient toutes les combinaisons observées d'input-output à évaluer.



En adoptant la première hypothèse nous pouvons déduire que toutes les combinaisons se trouvant entre deux combinaisons observées, peuvent être, en principe, considérées à leur tour comme observées. Par conséquent les combinaisons d'input-output qui se trouvent le long des segments AB, BC etc... (figure17) sont en principe faisables. D'un autre côté à partir



du moment où des inefficacités de production sont possibles, les deux extensions horizontales (DG) et verticale (AF) représentent aussi des combinaisons faisables.

De même cette dernière hypothèse admet que toutes les combinaisons qui se trouvent à droite et en dessous de la fermeture par morceaux linéaire FABCDG sont aussi faisables. Ainsi nous venons d'identifier le domaine du possible qui est le plus petit ensemble des combinaisons faisables contenant les observations à analyser. En réalité, c'est en raison de cette manière d'envelopper les données que l'approche est appelée Data Envelopment Analysis (DEA).

Une fois l'ensemble du domaine du possible construit nous pouvons mesurer par exemple l'efficacité technique en terme d'input de l'observation K en la projetant sur la frontière. Par conséquent K1 correspond à l'unité de décision qui peut assurer le même niveau d'output avec le minimum d'input et l'efficacité technique de K est donnée par le ratio  $LK1/LK$ . Le même raisonnement s'appliquera pour une situation multiproduits-multifacteurs que nous allons traiter plus loin de manière analytique lorsque nous aborderons le modèle DEA.

### **2-3 Avantages et limites des approches de mesures**

Chacune des deux approches, que nous venons de présenter, a été largement adoptée par les économistes. En effet elles étaient adaptées à une grande diversité de situations micro et macro économique et ce en raison de leur fondement théorique et de la pertinence des résultats obtenus en matière de diagnostic opérationnelle et du pouvoir prédictif. Ceci n'empêche que le concept efficacité porte en lui-même des limites. Par ailleurs les deux approches présentent des avantages et des limites.

#### **2-3-1 Les limites du concept efficacité**

Pour présenter les limites du concept d'efficacité nous nous inspirons largement de la synthèse faite par Bureau (1983). La prise en compte des prix dans une analyse d'efficacité renvoie à la question fondamentale sur leur vérité. En effet le fonctionnement des marchés en situation de concurrence pure et parfaite n'est qu'une hypothèse de la théorie économique et on n'imagine mal qu'un marché foncier ou du travail serait vraiment concurrentiel. Le concept efficacité est présenté aussi comme valable pour des analyses micro comme macro économique. Cependant nous pouvons nous interroger sur sa validité à la fois dans la gestion

des exploitations et la politique agricole. Ceci renvoie théoriquement aux problèmes d'agrégation. En effet faut-il représenter la fonction de production d'un ensemble d'unités par la somme des fonctions des unités maximisant des intérêts individuels ou considérer simplement qu'il s'agit d'un avantage collectif à maximiser?

La mesure de l'efficacité par référence à une fonction de production pose les problèmes de l'estimation de cette fonction et de sa validité pour l'ensemble des agriculteurs. Du côté conceptuelle cette fonction, sur laquelle se base tout le calcul d'efficacité, n'est pas capable de prendre compte les facteurs essentiels des variations socio-économiques ce qui revient à assumer tous les limites de l'économie quantitative néoclassique. Du côté pratique, on applique une fonction efficace à toutes les firmes alors qu'on oublie généralement que la diffusion du progrès technique ne se fait ni instantanément au niveau de toutes les régions ni de la même manière chez toutes les firmes. Ainsi un agriculteur d'une région pourra être jugé efficace ou non suivant que l'on prend la fonction de production locale, régionale ou nationale. D'un autre côté un agriculteur peu compétent pourra être jugé inefficace par rapport à son voisin alors qu'il pourrait très bien être efficace par rapport à ces propres contraintes. L'efficacité est un concept tout à fait relatif.

### 2-3-2 Comparaison des approches de mesure

Outre la différence d'algorithme de résolution, les deux approches de mesure de l'efficacité, paramétrique et non paramétrique incarnent des caractéristiques conceptuelles qui ont constitué des avantages et des limites pour l'une comme pour l'autre. En effet la prise en compte des facteurs aléatoires constitue un avantage majeur de l'approche paramétrique qui utilise la frontière stochastique de production pour séparer l'impact des phénomènes aléatoires sur le processus de production de ceux qui représentent l'inefficacité proprement dite du processus.

*« De point de vue théorique, le recours à des frontières stochastiques permet d'isoler le terme d'erreur purement aléatoire de celui reflétant l'inefficacité technique de l'entreprise et devrait par conséquent conduire à une mesure plus précise de son efficacité technique. L'utilisation des méthodes déterministes qui attribuent tout écart affiché par rapport à la frontière de l'inefficacité technique, serait donc une source de sur-estimation des niveaux d'efficacité technique » (Amara et Romain, 2000)*

En revanche, l'approche paramétrique suppose une forme fonctionnelle à priori alors que l'approche non paramétrique n'impose aucune restriction fonctionnelle sur la technologie de production (Amara et Romain, 2000 ; Thiam et al., 2001 ; Lattruf et al., 2002b ; Murillo-Zamorano et Vega-Cervera, 2001). Pour analyser l'efficacité des fermes cotonnières au Pakistan, Shafiq et Rehman (2000) ont tenté l'approche paramétrique en essayant la fonction Cobb-Douglas sauf que le résultat fut tellement inattendu<sup>53</sup> qu'ils ont décidé d'appliquer le modèle DEA.

En comparant les résultats des deux approches paramétriques et non paramétriques, Reinhard et al. (2000) soulignent que la première peut confondre les effets de la forme fonctionnelle (technologie et inefficacité) avec l'inefficacité d'autant plus qu'une forme flexible de la fonction est susceptible de multicolénarité et des restrictions théoriques peuvent être violées. En revanche l'approche non paramétrique impose juste des conditions de régularité à priori. Mais l'absence de la forme fonctionnelle pour l'approche non paramétrique exclue toute propriété statistique permettant de tester des hypothèses.

L'importance de l'approche paramétrique dans la spécification de la forme fonctionnelle peut être saisie aussi avec des données de panels. Alors que l'approche non paramétrique traite le problème sur une seule période et à partir des niveaux actuels des inputs et des outputs ce qui constitue une limite de cette approche quand on admet que les inputs contribuent aux outputs sur plusieurs années plutôt qu'une seule campagne.

Par construction l'approche non paramétrique montre une certaine sensibilité aux nombres des observations et à la qualité des données (Thiam et al., 2001). Piot (1994) souligne que *« l'approche DEA analyse chaque firme séparément et mesure son efficacité technique par rapport à l'ensemble des firmes observées. Ce pendant la nécessité de n'avoir qu'une seule observation pour chaque facteur et produit d'une entreprise conduit à une sensibilité de l'analyse par rapport aux erreurs de données (erreurs de mesure, de saisie...) et par rapport aux points extrêmes »*.

---

<sup>53</sup> L'estimation du modèle aboutit à une valeur de R2 ajusté tellement faible (0,044) que la fonction de Cobb-Douglas ne permet pas d'expliquer la relation entre le production du coton et les variables explicatives dont la majorité montre un effet non significatif (Shafiq et Rehman, 2000).

Boussemart et Dervaux (1994) signalent que « la méthode DEA comme toute méthode d'estimation de frontière de production déterministe, présente certains inconvénients liés à la sensibilité des scores d'efficacité à la présence de données aberrantes dans l'échantillon (Vermersch et al., 1992), au choix des arguments de la fonction de production (inputs et outputs) et au niveau d'agrégation de ces derniers. Pour les méthodes non paramétriques de ce type se pose aussi le problème de la qualité de l'enveloppement des données (niveaux des variables d'écart) ».

« Toutefois, il ne faut pas oublier que la mesure des efficacités est conditionnée à l'enveloppe des observations par rapport à laquelle elle est définie. L'incorporation d'une information supplémentaire nous amène à définir une nouvelle enveloppe de la technologie observée ainsi que de nouvelles mesures d'efficacité pour chaque unité de production. De plus, les résultats concernant la mesure de l'efficacité des observations sont très sensibles au mode d'agrégation des produits et facteurs » (Piot et Vermersch, 1993).

Outre qu'elle permet l'estimation des frontières de production dans des situations multiproduits-multifacteurs, l'approche non paramétrique présente l'avantage d'estimer une efficacité technique pure et une efficacité d'échelle ce qui permet d'identifier les exploitations qui opèrent en économie d'échelle croissante ou décroissante (Latruffe et al. 2002b).

### **III- Le modèle DEA : Développement théorique et applications empiriques**

#### **3-1 Hypothèses et structure du modèle**

Comme nous l'avons dit le développement du modèle DEA repose sur l'identification de la frontière de production à partir de l'ensemble des inputs-outputs observés. Nous détaillons ici la construction du modèle. La fonction de production devrait répondre à certaines hypothèses (Ray, 2004):

1- Toutes les combinaisons observées (inputs-outputs) sont faisables. Une combinaison  $(X, Y)$  est faisable si l'output  $Y$  est produit à partir de l'input  $X$ . Supposons que nous disposons d'un échantillon de  $N$  firmes qui adoptent la même technologie de production permettant de produire  $s$  outputs à partir de  $m$  inputs.

Soit  $X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})$  un vecteur de  $i, (i = 1 \dots m)$ , inputs de la firme  $j$  et  $Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})$  le vecteur de  $r, (r = 1 \dots s)$ , outputs. Ainsi toute combinaison  $(X_j, Y_j)$  avec  $(j = 1 \dots N)$  est faisable.

- 2- Le domaine du possible est convexe. Considérons deux combinaisons d'inputs-outputs faisables  $(X_A, Y_A)$  et  $(X_B, Y_B)$ . Ainsi la combinaison pondérée  $(\bar{X}, \bar{Y})$  tel que  $\bar{X} = \lambda X_A + (1-\lambda)X_B$  et  $\bar{Y} = \lambda Y_A + (1-\lambda)Y_B$  est faisable pour tout  $0 \leq \lambda \leq 1$
- 3- Tous les inputs sont en libre disposition. Si  $(X_0, Y_0)$  est faisable, ainsi pour toute  $X \geq X_0$  la combinaison  $(X, Y_0)$  est aussi faisable.
- 4- Tous les outputs sont en libre disposition. Si  $(X_0, Y_0)$  est faisable, ainsi pour toute  $Y \leq Y_0$  la combinaison  $(X_0, Y)$  est aussi faisable.
- 5- Dans le cas où on admet des rendements d'échelle constants, la frontière de production vérifie que si  $(X, Y)$  est faisable, ainsi pour tout  $k \geq 0$ ,  $(kX, kY)$  est aussi faisable.

De point de vue empirique, l'ensemble d'observations inputs-outputs  $(X_j, Y_j)$  vérifiant ces hypothèses permet de construire le domaine du possible sans aucune restriction a priori sur la forme fonctionnelle. Pour ce faire considérons donc la combinaison  $(X^*, Y^*)$  tel que

$$X^* = \sum_{j=1}^N u_j X_j \quad ; \quad Y^* = \sum_{j=1}^N u_j Y_j \quad \text{avec} \quad \sum_{j=1}^N u_j = 1 \quad \text{et} \quad u_j \geq 0$$

En adoptant les deux premières hypothèses,  $(X^*, Y^*)$  est faisable. En considérant des rendements d'échelle constants  $(kX^*, kY^*)$  est aussi faisable pour tout  $k \geq 0$ . En réalité cette dernière hypothèse permet de relâcher la contrainte  $\sum_{j=1}^N u_j = 1$ .

En effet soit  $\lambda_j = k u_j$  ainsi  $\lambda_j \geq 0$  et  $\sum_{j=1}^N \lambda_j = k$ . Ainsi à partir du moment où  $k \geq 0$  alors la seule restriction requise sur  $\lambda_j$  qu'elle soit non négative.

En se basant donc sur les observations input-output et tout en considérant les cinq hypothèses le domaine du possible est défini de la manière suivante :

$$T^c = \left\{ (X, Y) : X \geq \sum \lambda_j X_j ; Y \leq \sum \lambda_j Y_j ; \lambda_j \geq 0 ; (j=1, 2, \dots, N) \right\}$$

Pour mesurer l'efficacité technique en terme d'input de la firme  $j_0$  appartenant au domaine du possible on a besoin d'identifier la combinaison qui appartient à  $T^c$  et offre le maximum de contraction du niveau des inputs tout en gardant le même niveau d'output pour cela il suffit de résoudre le programme linéaire (PL1) suivant :

Min  $k_0$

(PL1)

Sujet à

$$k_0 X_{j_0} \geq \sum_{j=1}^N \lambda_j X_j \quad ; \quad Y_{j_0} \leq \sum_{j=1}^N \lambda_j Y_j \quad \text{et} \quad \lambda_j \geq 0$$

$k_0$  étant libre

La solution optimale  $k_0^*$  de ce programme linéaire n'est autre que l'efficacité technique de la firme  $j_0$

### 3-2 Développement théorique du modèle DEA

A partir de cette conception simplifiée de calcul des mesures d'efficacité à l'aide de la programmation linéaire, les économistes vont développer le modèle DEA. Des multiples perfectionnements apportés à ce modèle cherchent à donner, d'un côté, plus de rigueur et de crédibilité au résultat du modèle et d'un autre côté l'adapter à toutes les situations. En effet nous rappelons que Farrell (1957) fut le premier à proposer une mesure de l'efficacité pour une firme donnée. Il analysa une technologie mono produit et en rendements d'échelle constants. Comme nous l'avons explicité plus haut; les mesures se font le long d'un rayon issu de l'origine dans l'espace des facteurs de production. Il a réussi aussi à décomposer la mesure de l'efficacité en deux l'une technique et l'autre allocative, tout en développant le modèle de programmation linéaire pour la mesure de l'efficacité technique.

En 1962 Farrell et Fieldhouse reprennent ce dernier modèle tout en admettant des rendements d'échelle croissants. En 1978, Charnes, Cooper et Rhodes (CCR) étendent le modèle de Farrell à une situation multiproduits sous l'hypothèse de rendements d'échelle constants (CRS). Ce n'est qu'en 1984 que Banker, Charnes et Cooper (BCC) proposent le modèle DEA avec une technologie à rendements d'échelle variables (VRS). Ce modèle est devenu le format standard d'analyse de l'efficacité dans la littérature du modèle DEA.

En fait l'approche DEA est très reconnue aujourd'hui par les deux variantes CCR et BCC qui constituent deux étapes cruciales dans le perfectionnement du modèle DEA. Mais plusieurs travaux de recherche se sont succédés pour adapter l'approche à plusieurs questionnements de recherche. Particulièrement la question de l'efficacité des politiques a été traitée par Charnes et al. (1981) qui ont réussi à distinguer entre l'efficacité de management et l'efficacité politique.

En effet dans le cas de deux groupes de firmes et plus, mobilisant la même technologie de production sauf qu'ils opèrent sous différentes politiques, nous avons souvent besoin de savoir si un groupe donné, sous une politique donnée, révèle une efficacité intrinsèque meilleure que les autres opérant sous d'autres politiques. Une telle information est utile soit pour établir une évaluation rétrospective de la capacité des décideurs à mettre en œuvre une politique efficace soit pour proposer un planning futur instituant une meilleure efficacité des politiques (Thanassoulis, 2001).

Analyser l'évolution de la productivité d'une firme dans le temps est aussi la préoccupation des économistes. Des indices de productivité comme le Tornqvist<sup>54</sup> ou Fisher<sup>55</sup> ne permettent qu'une analyse qualitative du changement de la productivité (Ray, 2004). Par contre l'indice Malmquist<sup>56</sup> permet d'avoir une mesure quantitative. Dans ce cas, l'apport de l'approche DEA est particulièrement important. Cependant, en adoptant le modèle DEA, Faïre et al. (1989, 1994) réussissent à décomposer l'indice Malmquist en deux composantes distinctes l'une relative à l'évolution dans le temps de l'efficacité technique de la firme « *catch up term* » et la deuxième est relative à l'évolution de la productivité de la technologie « *boundary shift* » (Thanassoulis, 2001; Ray, 2004; Mao et Koo, 1997; Piesse et al., 1996).

*« L'affaiblissement de l'hypothèse de monotonie ou de libre disposition a été proposée par Faïre et Grosskopf (1983). L'enveloppe des observations qui vérifie toujours l'hypothèse de convexité ne possède plus les extensions horizontales et verticales à chaque extrémité de la frontière de production. Ces segments de droite se situent plus vers l'intérieur de l'ensemble des possibilités de production. Ce qui réduit la surface de celui-ci et correspond à des régions congestionnées de la frontière. Ce phénomène peut servir lorsqu'il existe, par exemple, des contraintes institutionnelles limitant l'utilisation de certains biens » (Piot, 1994).*

<sup>54</sup> Voir (Ray, 2004) pour plus de détails sur le calcul de cet indice

<sup>55</sup> Voir (Ray, 2004) pour plus de détails sur le calcul de cet indice

<sup>56</sup> Voir (Ray, 2004) pour plus de détails sur le calcul de cet indice

### 3-2-1 Mesure des variables d'écart

Le modèle DEA développé sous la forme du PL (1) suppose que les inputs se contractent tous en même temps et de manière équiproportionnelle. La résolution de ce programme permet de dégager  $X_{j_0}^*$ ,  $Y_{j_0}^*$ ,  $\lambda_j$  et  $k_0^*$  les valeurs optimales respectives de  $X_{j_0}$ ,  $Y_{j_0}$ ,  $\lambda_j$  et de  $k_0$ .

$$\text{Ainsi} \quad X_{j_0}^* = \sum_{j=1}^N \lambda_j X_j \quad \text{et} \quad Y_{j_0}^* = \sum_{j=1}^N \lambda_j Y_j$$

$$\text{Avec} \quad X_{j_0}^* \leq k_0^* X_{j_0} \quad \text{et} \quad Y_{j_0}^* \geq Y_{j_0}$$

Cette inégalité des inputs et des outputs implique qu'à la solution optimale on est en présence des écarts entre la combinaison observée  $(X_{j_0}, Y_{j_0})$  et sa projection  $(X_{j_0}^*, Y_{j_0}^*)$  ce qui permettra de définir des variables d'écart suivant :

$$S_i^- = k_0^* X_{j_0} - X_{j_0}^* \quad \text{et} \quad S_r^+ = Y_{j_0}^* - Y_{j_0}$$

En intégrant ces variables d'écart au PL (1) le modèle DEA primal en rendements d'échelle constants s'écrit :

$$\text{Min } k_0 - \varepsilon \left[ \sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right] \quad (\text{PL2})$$

Sujet à :

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} = k_0 x_{ij_0} - S_i^- \quad i=1 \dots m$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} = y_{rj_0} + S_r^+ \quad r=1 \dots s$$

$$\lambda_j \geq 0, j=1 \dots N, S_i^-, S_r^+ \geq 0 \forall i \text{ et } r, k_0 \text{ étant libre}$$

$\varepsilon$  est un infinitésimal non Archimédien pour que la maximisation des variables d'écart  $S^-$  et  $S^+$ , demeure un objectif secondaire par rapport à la minimisation du coefficient  $k_0$  (Piot et Vermersch, 1993).

Il s'agit d'un modèle d'efficacité porté sur les inputs (Input-oriented envelopment model). Dans ce cas l'efficacité technique de la firme  $j_0$  est donné par  $k_0^*$ .  $k_0^*$  représente la contraction radiale maximale faisable des inputs tout en préservant le même niveau d'output.

L'interprétation de la solution optimale est comme suit :

- 1) Si  $k_0^* = 1$  et  $S^* = 0$  alors la firme  $j_0$  est pareto-efficace.
- 2) Si  $k_0^* = 1$  et au moins une variable d'écart est non nul alors la firme  $j_0$  n'est pas pareto-efficace.
- 3) Si  $k_0^* \leq 1$  alors la firme  $j_0$  est techniquement inefficace.

La construction du modèle d'efficacité porté sur les outputs (Output-oriented envelopment model) suit le même raisonnement et il est représenté par le programme linéaire suivant :

$$\text{Max } h_0 + \varepsilon \left[ \sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right] \quad (\text{PL3})$$

Sujet à :

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} = x_{ij_0} - S_i^- \quad i = 1 \dots m$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} = h_0 y_{rj_0} + S_r^+ \quad r = 1 \dots s$$

$$\lambda_j \geq 0, j = 1 \dots N, S_i^-, S_r^+ \geq 0 \forall i \text{ et } r, h_0 \text{ étant libre}$$

$\varepsilon$  est un infinitésimal non archimédien

La résolution de ce programme linéaire permet de mesurer l'efficacité technique (ET) de la firme  $j_0$ .

$$ET = \frac{1}{h_0^*} = k_0^*$$

### 3-2-2 Le modèle DEA en rendements d'échelle variables.

Les rendements d'échelle concernent la façon dont l'output varie quand on modifie l'échelle de production. Ils correspondent à ce qui se passe lorsqu'on augmente de la même manière tous les inputs. Ils diffèrent du concept de produit marginal qui correspond à une situation dans laquelle on augmente un seul input tout en gardant fixes les autres (Varian, 1994). Banker et al. (1984) ont été les premiers à introduire le modèle DEA en rendements d'échelle variables (VRS) appelé souvent le modèle BCC. Il s'agit d'ajouter au programme

(PL2) une contrainte de convexité traduite par  $\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1$ .

Ainsi nous écrivons :

$$\text{Min } k_0 - \varepsilon \left[ \sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right] \quad (\text{PL4})$$

Sujet à :

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} = k_0 x_{i0} - S_i^- \quad i=1 \dots m$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} = S_r^+ + y_{r0} \quad r=1 \dots s$$

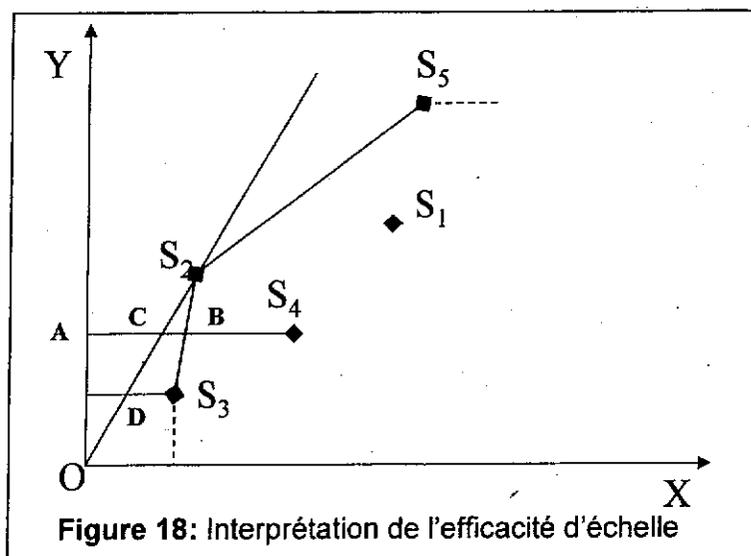
$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, j=1 \dots N, S_i^-, S_r^+ \geq 0 \forall i \text{ et } r, k_0 \text{ étant libre}$$

$\varepsilon$  est un infinitésimal non archimédien

Graphiquement (figure 18) nous remarquons que l'hypothèse de rendements d'échelle variables permet de réduire le domaine du possible en adoptant une fermeture par morceaux linéaire qui attribut une certaine convexité à la frontière de production.

La résolution du programme (PL4) permettra d'évaluer  $k_0$  qui mesure l'efficacité technique pure de la firme  $j_0$ . Sa valeur ne peut jamais être en dessous de la valeur de l'efficacité technique obtenue de la résolution du programme (PL2).



Ainsi l'efficacité d'échelle (EE) est définie par le ratio suivant :

$$EE = \frac{\text{efficacité technique}}{\text{efficacité technique pure}}$$

Elle mesure la divergence entre les mesures d'efficacité de la firme, respectivement sous les variantes CRS et VRS. Graphiquement (figure 18) nous pouvons saisir l'impact de l'économie d'échelle sur la productivité de la firme. Lorsque on retient l'hypothèse de rendements d'échelle constants la frontière de production efficace est représentée par la droite  $OS_2$ . En revanche lorsqu'on opte pour l'hypothèse des rendements d'échelle variables la frontière sera représentée par la fermeture  $S_3S_2S_5$ .

Nous remarquons que la firme au point  $S_4$  pourrait économiser CB d'input en passant de l'hypothèse VRS à l'hypothèse CRS, c'est à dire si elle se trouvait au point C qui correspond au même niveau de productivité que  $S_2$  désigné par Banker (1984) comme l'échelle le plus productive « *Most Productive Scale Size (MPSS)* ».

Pour identifier le niveau d'économie d'échelle auquel une firme  $j_0$  opère, la résolution du (PL2) permet de distinguer trois cas de figure (Thanassoulis, 2001) :

- Si  $\sum_{j=1}^N \lambda_j > 1$  pour tous les solutions optimales du modèle alors la firme  $j_0$  opère à un rendement d'échelle décroissant.
- Si  $\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1$  pour tous les solutions optimales du modèle alors la firme  $j_0$  opère à un rendement d'échelle constant.
- Si  $\sum_{j=1}^N \lambda_j < 1$  pour tous les solutions optimales du modèle alors la firme  $j_0$  opère à un rendement d'échelle croissant.

Selon Banker (1984 ; cité par Piot, 1994) lorsque l'efficacité d'échelle est égale à 1 la firme a atteint donc son échelle de production de long terme qui est une situation d'équilibre compétitif. Si non elle se trouve dans une situation intermédiaire où les rendements d'échelle peuvent être croissants ou décroissants.

### 3-2-3 L'approche non radiale du modèle DEA

L'approche radiale comme nous l'avons explicité jusqu'ici, ne permet qu'une contraction équiportionnelle des inputs et des outputs. En effet le modèle oblige tous les inputs à se contracter en même temps et de la même manière. Ceci va se traduire par des variables d'écart positives à la solution optimale et la projection radiale de la combinaison input-output observée ne satisfait pas le critère d'efficacité Pareto-optimale. Pour remédier à cette situation Faïre and Lovell (1978) sont les premiers à proposer une projection non radiale des outputs qui remet à zéro tous les variables d'écart des outputs. Ils développent une mesure non radiale de l'efficacité technique des outputs appelé **mesure de Russell**, donné par :

$$RM_y = \frac{1}{\rho_y} \text{ où}$$

$$\rho_y = \max \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \phi_r \quad (PL5)$$

Sujet à

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} \geq \phi_r y_{rj_0} + S_r^+ ; \quad (r=1 \dots s)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} \leq \theta_i x_{ij_0} ; \quad (i=1 \dots m)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1 ; \quad \phi_r \geq 1 ; \quad \lambda_j \geq 0$$

La limite de ce modèle est qu'il n'exclue pas des variables d'écart des inputs. De même une projection non radiale des inputs n'exclue pas des variables d'écart des outputs. Pour cela Pastor et al. (1999) proposent le modèle non radial qui n'autorise aucune variable d'écart ni pour les inputs ni pour les outputs. Ce modèle est formulé de la manière suivante (Ray, 2004).

$$\text{Min } \Omega = \sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \theta_i - \sum_{r=1}^s \frac{1}{s} \phi_r \quad (PL6)$$

Sujet à :

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} \leq \theta_i x_{ij_0} ; \quad (i=1 \dots m)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} \geq \phi_r y_{rj_0} ; \quad (r=1 \dots s)$$

$$\phi_r \geq 1 ; \quad \theta_i \leq 1 ; \quad \sum_{j=1}^N \lambda_j = 1 \text{ et } \lambda_j \geq 0$$

La résolution de ce modèle permet de mesurer l'efficacité technique au sens de Pareto de la firme  $j_0$  donnée par :

$$\Gamma^* = \frac{\frac{1}{m} \sum_r \theta_r^*}{\frac{1}{s} \sum_r \phi_r^*}$$

Où  $\theta_r^*$  et  $\phi_r^*$  sont les valeurs optimales respectives de  $\theta_r$  et  $\phi_r$ .

Par comparaison à cette dernière mesure d'efficacité, le modèle radiale surestime la mesure de l'efficacité car il ignore la présence des variables d'écart des inputs et /ou des outputs au moment de la résolution optimale (Ray, 2004).

### 3-2-4 L'approche DEA et efficacité profit

Selon Ray (2004), généralement l'objectif primordial d'une firme est de sélectionner la combinaison input-output qui lui procure un profit maximal étant donné le niveau des prix. La seule contrainte concerne la faisabilité de cette combinaison qui devrait appartenir au domaine des possibles tel que nous l'avons décrit précédemment. C'est ainsi que le modèle de maximisation de profit s'écrit :

$$\text{Max } \Pi = p'y - w'x$$

$$\text{Sujet à } (x, y) \in T$$

Avec  $p = (p_1, p_2, \dots, p_s)$  est un vecteur prix des outputs et  $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$  est un vecteur prix des inputs.

L'adoption de l'approche DEA pour la résolution de ce modèle permet d'analyser l'efficacité profit. Ainsi dans le cas de  $N$  firmes dont chacune produit  $s$  outputs en utilisant  $m$  inputs le modèle de maximisation de profit est formulé de la manière suivante

$$\text{Max } \sum_{r=1}^s p_r y_r - \sum_{i=1}^m w_i x_i \quad (\text{PL7})$$

$$\text{sujet à } \sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} \geq y_r \quad (r=1, 2, \dots, s)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} \leq x_i \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1;$$

$$\lambda_j \geq 0; \quad (j=1, 2, \dots, N)$$

La résolution de ce modèle permet de dégager les quantités d'inputs  $x_i$  ( $i=1,2,\dots,m$ ) et d'outputs  $y_r$  ( $r=1,2,\dots,s$ ) qui maximisent le profit de la firme. Ainsi la valeur optimale de la fonction objective est donné par  $\pi^* = p'y^* - w'x^*$  et représente le profit maximal que pourrait tenter d'atteindre la firme.

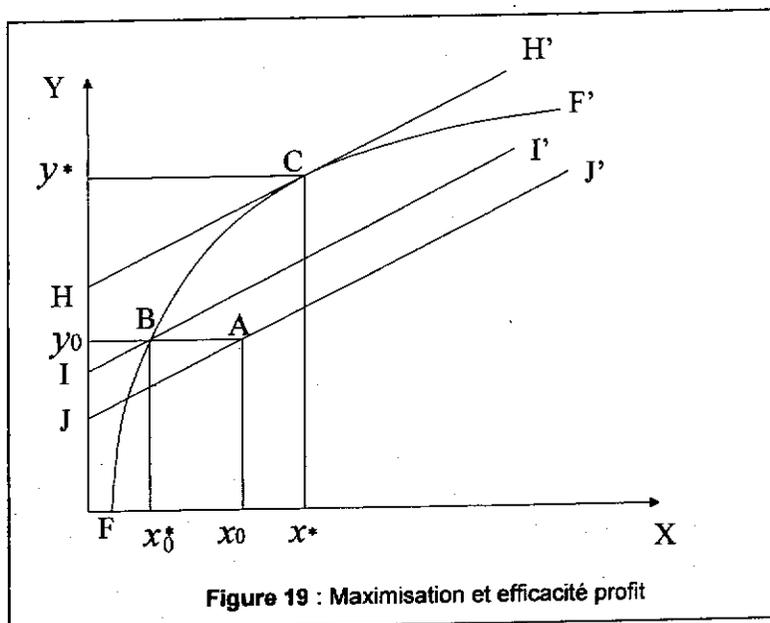


Figure 19 : Maximisation et efficacité profit

Pour mieux saisir le raisonnement et l'intérêt de l'application de ce modèle nous allons expliciter le cas d'une firme qui produit un seul output à partir d'un seul input (figure 19). Soit la firme A qui produit une quantité  $y_0$  d'output en mobilisant  $x_0$  d'input. Aux prix  $p$  et  $w$  respectivement de l'output et de l'input cette firme réalise le profit  $\pi_0 = py_0 - wx_0$  donné par la droite d'isoprofit  $JJ'$ . En maximisant son profit, l'objectif de cette firme serait la recherche d'atteindre la droite d'isoprofit la plus élevée tout étant toujours parallèle à la droite  $JJ'$  et sous-entendu en se situant dans le domaine des possibles délimité par la frontière  $FF'$ . Ainsi le profit maximal que peut atteindre cette firme se situe au point C situé sur la droite isoprofit  $HH'$  qui fait tangente avec la frontière  $FF'$ . Au niveau de ce point la firme A atteindra le profit  $\pi^* = py^* - wx^*$  en réalisant la quantité  $y^*$  d'output à partir d'une quantité  $x^*$  d'input. A partir de ce résultat l'efficacité profit totale est mesurée par :

$$E_p = \frac{\pi_0}{\pi^*}$$

Ce pendant, en regardant bien la position de la firme A on peut signaler qu'elle montre une inefficacité technique. Ainsi cette firme est en mesure d'améliorer son efficacité technique en terme d'usage d'input en se situant au point B. Cette dernière position permet, d'ores et déjà, une amélioration du profit donné par la droite d'isoprofit  $\Pi'$  et mesuré par :

$$\pi_T = py_0 - wx_0$$

Ainsi la réalisation de ce profit suppose une efficacité technique parfaite d'usage de l'input mais la firme peut tenter toujours d'améliorer son profit en se déplaçant sur la frontière  $FF'$  et d'atteindre le point C pour pouvoir réaliser le profit  $\pi^*$ . En adoptant ce raisonnement, Banker et Maindiratta (1988) proposent la décomposition de l'efficacité profit  $E_p$  comme suit :

$$E_p = \frac{\pi_0}{\pi^*} = \left( \frac{\pi_0}{\pi_T} \right) \left( \frac{\pi_T}{\pi^*} \right)$$

A partir de cette décomposition les auteurs définissent :

Une efficacité technique mesurée par  $E_{pT} = \frac{\pi_0}{\pi_T}$

Une efficacité allocative mesurée par  $E_{pA} = \frac{\pi_T}{\pi^*}$

### 3-3 Développement empirique du modèle DEA : Synthèse d'études de cas

Le modèle DEA a été développé comme une méthode alternative à l'approche paramétrique pour palier les limites de la forme fonctionnelle imposée à la technologie. La structure du modèle a permis aussi l'analyse des situations multi-produits et notamment des produits non marchands tel que l'enseignement, la santé, la justice...etc. Ces atouts ont favorisé un grand engouement auprès des scientifiques pour l'adoption de la méthode et son application à des études de cas très variés. Outre le calcul des mesures d'efficacité, certains travaux se sont donnés comme objectif la comparaison des résultats du modèle DEA avec ceux obtenues par l'application de la frontière stochastique. D'autres travaux ont adopté le modèle DEA sous ses différentes variantes (CRS, VRS, duale, non radiale) et ce pour raffiner les analyses et mieux apprécier les résultats. Dans ce qui suit nous allons essayer de présenter certaines études de cas qui expriment ces diverses applications du modèle DEA.

Sharma et al. (1999) analysent l'efficacité des producteurs de porcs à Hawaii en adoptant les deux approches, paramétrique (Cobb-Douglas) et non paramétrique (DEA). La comparaison des résultats montre une supériorité de l'efficacité moyenne issu du modèle DEA par rapport à l'approche paramétrique et ce pour les trois types d'efficacité avec une hypothèse d'économie d'échelle (VRS): technique, allocative et économique. Ce résultat est inversé sans économie d'échelle (CRS). L'élimination des observations aberrantes potentielles fait accroître l'efficacité technique issue de l'approche paramétrique et l'efficacité allocative issu de l'approche DEA, mais contrairement à ce qui est attendu les résultats obtenus de l'approche DEA sont plus robustes -stables- que celle obtenus par l'approche paramétrique.

En terme de corrélation entre les indices d'efficacité issus de l'estimation de la frontière stochastique et ceux calculés à partir des deux variantes DEA, les coefficients rapportés par Sharma et al.(1997) sont très élevés. Ce résultat est contredit par Singh et al.(2000) et Mbagha et al.(2000) qui rapportent de faibles coefficients de corrélation. Hjalmarsson et al (1996) rapportent même des coefficients de corrélation négatifs ; mais justifient cette divergence par l'adoption d'une forme fonctionnelle (Cobb-Douglas) relativement simple pour l'estimation de la frontière stochastique. En revanche Mbagha et al. (2000) comparent les résultats du DEA à ceux de plusieurs formes fonctionnelles et obtiennent également des résultats très différents selon l'approche utilisée (corrélation < 0,5). *« Il semble donc évident que la divergence ou la convergence des résultats des approches paramétriques et non paramétriques dépendent fortement de l'échantillon utilisé »* (Amara et Romain, 2000).

Pour analyser l'efficacité de l'environnement des fermes laitières allemandes, Reinhard et al.(2000) utilisent la frontière stochastique et le modèle DEA. Ils trouvent que l'efficacité moyenne change d'une approche à l'autre. En revanche les résultats des deux approches montrent une certaine concordance au niveau de la tendance générale. Cependant les mesures de l'efficacité par la frontière stochastique montrent une supériorité d'environ 10% par rapport à celles obtenues par la méthode DEA.

Lattruffe et al.(2002a) utilisent les deux méthodes pour l'analyse de l'efficacité des fermes polonaises. Ils concluent que les résultats obtenus par l'approche frontière stochastique sont généralement confirmés par le modèle DEA.

A fin de mieux saisir les déterminants de l'efficacité qui peuvent varier selon les modèles, Zaibet et Dharmapala (1999) appliquent les deux approches, paramétrique et non paramétrique, pour analyser l'efficacité du soutien du gouvernement Omanien au secteur maraîcher. Les auteurs montrent aussi qu'en appliquant le modèle CRS les exploitations efficaces comptent 17% contre 46% avec le modèle VRS. Du point de vue des déterminants de l'efficacité, ils trouvent que l'âge, l'expérience, la taille, et le type du sol ont un effet positif sur l'efficacité issue du modèle CRS alors que cet effet disparaît avec les résultats obtenus du modèle VRS. Enfin ils concluent que, pour un échantillon donné, la variation du niveau d'efficacité et des déterminants des inefficacités dépend largement du choix de la méthode utilisée.

En revanche Murillo-Zamorano et Vega-Cervera (2001) utilisent les deux approches paramétriques et non paramétriques pour prouver leur complémentarité en faveur d'un jugement de robustesse et d'analyse des scores d'efficacité.

Les travaux de comparaison des résultats de différentes variantes (CRS, VRS) du modèle DEA se sont multipliés pour permettre une évaluation précise et solide des mesures d'efficacité. Selon Coelli et al.(1998), cité par Amara et Romain (2000), *« la différence entre l'indice d'efficacité technique obtenu par le biais du type CRS et celui de la même firme obtenu par le DEA du type VRS constitue une bonne mesure de l'efficacité d'échelle de cette firme. Pour obtenir une telle mesure, ils suggèrent d'effectuer, sur la même base de données, une DEA du type CRS et une autre du type VRS, si pour une firme donnée, il y a une différence dans les indices d'efficacité mesurés par ces deux de DEA ceci indique que la firme n'opère pas à une échelle optimale »*.

Latruffe et al. (2002b) analyse l'efficacité technique et d'échelle des fermes polonaises en 1996 et 2000. Pour cela ils comparent les exploitations d'élevages à celles de grandes cultures. Leurs résultats suggèrent que les exploitations d'élevage révèlent une efficacité technique et d'échelle plus élevées. Sachant que l'efficacité d'échelle reste très élevée pour les deux types d'exploitation, ils concluent que *« l'inefficacité technique semble donc due principalement à une inefficacité technique pure, c'est à dire à une gestion inefficace »*.

En matière d'évaluation des performances économiques Blancard et al. (2003) ont appliqué le modèle DEA pour analyser l'influence des contraintes de financement de court terme sur le profit des exploitations agricoles françaises de grandes cultures. L'analyse concerne un échantillon de 215 exploitations du Nord-Pas-de-Calais sur la période 1995-1998. Dans un modèle de maximisation de profit les auteurs analysent l'impact d'une contrainte financière qui considère que la somme des dépenses en facteurs variables de l'année  $t$  est contrainte par le total des dépenses en ces mêmes facteurs en  $t-1$ . Leurs résultats montrent qu'outre l'inefficacité de management, la rentabilité d'une large majorité des exploitations est influencée par la situation financière de court terme. « *L'accès aux liquidités apparaît comme une variable stratégique dans les possibilités de développement des exploitations* ».

### **Conclusion**

Depuis les travaux de Farrell (1957), le développement théorique de l'approche efficacité et la démultiplication des travaux empiriques montrent un engouement particulier des auteurs et prouve la pertinence de la méthode pour l'analyse des performances des entreprises. Nous rappelons que cette approche tient à une efficacité relative et non absolue qui permet de nous renseigner sur les conditions d'amélioration du processus de production pour remédier à un éventuel gaspillage des ressources. La méthode DEA est particulièrement intéressante dans la mesure où elle n'exige aucune restriction sur la technologie de production et permet d'analyser des situations multiproduits-multifacteurs. La forte sensibilité du modèle à un changement de variables peut être atténuée par des analyses de robustesse.

Une approche efficacité permet donc d'évaluer les performances des exploitations agricoles et de se rendre compte particulièrement de l'efficacité d'usage de la ressource en eau. L'analyse de fonctionnement des systèmes de production a révélé des disparités de structure, d'usage des facteurs et des résultats économiques. Mais en raison de la parité des conditions spatiales et environnementales de l'exercice de l'activité en irrigué nous pouvons admettre que les producteurs mettent en œuvre la même technologie de production. Ainsi nous consacrerons le prochain chapitre à l'analyse de l'efficacité technique et allocative des exploitations. Nous allons chercher à identifier les principaux facteurs qui pourraient constituer sources d'inefficacité pour éclairer les décideurs sur des éventuelles stratégies d'intervention afin d'améliorer l'usage des facteurs et en particulier la gestion optimale de la ressource en eau.

## Chapitre II

### Analyse des performances des exploitations en irrigué

#### I- Analyse des performances techniques

L'analyse du fonctionnement des exploitations des périmètres irrigués de la région de Sidi Bouzid Ouest et les diverses pratiques d'irrigation révélées par chaque type d'exploitation selon la nature de la ressource en eau ne permettent pas d'évaluer la maîtrise d'usage des facteurs au niveau actuel (ou espéré) de production. Ainsi nous estimons que tous les irrigants de notre zone d'étude mobilisent la même technologie de production en employant les mêmes inputs pour produire les mêmes outputs. Cependant, chaque irrigant adoptera une combinaison des inputs dans une optique d'un niveau de production espéré. La comparaison des niveaux de production réalisés en vertu des différentes combinaisons révélées permettra de saisir des niveaux d'efficacité relative qui permettront de juger les performances des systèmes de production.

L'application du modèle DEA permettra de mesurer ces différents niveaux d'efficacité en mettant en exergue une frontière de production déterminée par les combinaisons les plus significatives pour l'obtention du niveau de production le plus espéré dans notre région d'étude. Pour cela nous allons identifier la fonction de production appropriée qui traduit le processus technologique adopté par les irrigants. Cette fonction met en jeu un ensemble de facteur de production et des produits qui constitueront la matrice Inputs-Outputs. Ainsi nous présenterons la mise en forme de cette matrice et l'analyse statistique des variables retenues. En suite nous identifierons la relation fonctionnelle du processus technologique pour appliquer le modèle DEA et calculer les scores d'efficacité.

#### 1-1 Mise en forme de la matrice Inputs-Outputs

L'exercice de l'activité agricole nécessite la mobilisation des trois facteurs de production : la terre, le capital et le travail. En matière d'usage des facteurs de production nous signalons que les irrigants emploient les intrants en fonction de leur disposition financière sans être guidé par de normes techniques. Leur expérience et l'ensemble des connaissances échangées entre eux constituent leur unique référentiel technique. Ainsi nous avons pu révéler certaines différences de pratiques en matière de mécanisation, de fertilisation

et d'usage de la ressource en eau. Outre la disposition de la terre nous estimons que ces trois facteurs déterminent la fonction de production de nos exploitations. Comme nous l'avons déjà mesuré auparavant ces trois postes accaparent les deux tiers des dépenses dans la mise en œuvre de l'activité en irrigué.

La terre reste le principal support pour la mise en œuvre d'une activité agricole; mais la disponibilité de la ressource en eau limite cette importance dans l'exercice d'une activité en irrigué. En effet le potentiel terre ne sera plus un facteur limitant si les besoins en eau ne sont pas satisfaits. Dans le cas des périmètres publics irrigués la superficie irrigable est fixée par l'administration. Dans le cas des périmètres privés nous avons pris en considération les déclarations des irrigants que nous avons révisées<sup>57</sup> par rapport au potentiel en eau (débit du puits de surface) et en fonction du plan cultural mis en œuvre. Ainsi chaque type d'exploitation disposera d'une superficie irrigable exprimée en ha qui sera représentée par la variable (**Terre**)

L'agriculture en irrigué intègre la ressource en eau comme un facteur décisif dans le fonctionnement de l'exploitation agricole. En effet selon la nature et la disponibilité de cette ressource l'agriculteur décidera de ses choix productifs. Ainsi, notre questionnement principal s'attache aux différentes stratégies d'usage du facteur eau révélées dans les pratiques d'irrigation. La majorité des exploitations emploient pratiquement le même système d'irrigation soit le système gravitaire. A l'encontre des périmètres publics, les périmètres privés emploient les tuyaux en PVC pour l'acheminement de l'eau jusqu'à la parcelle ce qui limite le gaspillage de la ressource par le réseau d'irrigation. Mais ceci n'empêche que l'évaluation de la consommation globale par rapport aux productions réalisées reste le seul indicateur de l'usage rationnel de la ressource. Par conséquent nous avons considéré la consommation en eau (**Eau**) comme une variable dans la mise en œuvre du processus technologique chez les irrigants. Cette variable, mesurée en m<sup>3</sup>, représente la somme des quantités consommées à partir du réseau public et/ou du puits de surface.

La mécanisation et la fertilisation sont aussi importantes que les autres facteurs de production dans la mise en œuvre du processus technologique. Avec la pratique courante des cultures intercalaires, les irrigants ont tendance à distinguer des apports spécifiques à chaque

---

<sup>57</sup> Cette révision est relative à la campagne 2003 considérée comme une année pluvieuse qui a permis aux irrigants une plus grande souplesse dans la gestion de la ressource en eau.

espèce avec une méconnaissance de leurs besoins réels tout en raisonnant que ces apports profitent à l'ensemble des cultures. Les travaux de mécanisation engagés (labours et recroisement) se limitent le plus souvent au minimum requis pour cultiver la parcelle. Certains agriculteurs emploient la traction animale pour réaliser ces travaux. Ces pratiques traduisent une certaine variabilité que nous estimons déterminante de la relation fonctionnelle du processus technologique. En absence d'un marché réel des facteurs les prix sont pratiquement les mêmes pour tous les irrigants. Par conséquent nous considérons les dépenses engagées en matière de mécanisation et de fertilisation que nous représenterons par les variables (**Mecan**) et (**Fertil**), mesurées en Dinars tunisiens (TND).

La force de travail constitue aussi un facteur important dans le fonctionnement de l'exploitation. En effet nous rappelons que l'activité en irrigué au niveau de la région est exclusivement du type familial avec un engagement total des parents et une implication partielle des enfants. En cas de besoin, certains irrigants font recours à la main d'œuvre occasionnelle. Les voisins et les membres de la grande famille parentale peuvent apporter de l'aide à la force de travail dans le cadre d'une entraide sociale. Par conséquent en raison de la difficulté rencontrée chez les agriculteurs enquêtés pour la comptabilité de la main d'œuvre occasionnelle et l'affectation de la main d'œuvre familiale en nombre de jours par activité nous avons considéré que l'emploi de la main d'œuvre est déterminé par le nombre des membres de la famille qui contribue à la force de travail (**Mof**).

En matière d'output, l'analyse du système de production des exploitations en irrigué révèle l'importance de l'olivier et des cultures intercalaires comme deux activités distinctes. Ainsi nous estimons que la décomposition de la production en irrigué en deux outputs est fort intéressante pour l'évaluation des performances des exploitations. Ainsi nous allons considérer l'output arboriculture (**Arb**) constitué essentiellement du produit de l'olivier et l'output culture (**Cult**) constitué par le produit de toutes les cultures en irrigué pratiquées durant la campagne 2003. Les deux outputs sont mesurés en valeur au dinar tunisien (TND).

En résumé nous allons représenter les outputs de l'exploitation par les variables:

- Arb**: C'est la valeur des produits de l'arboriculture en TND
- Cult**: C'est la valeur des produits des cultures en intercalaires en TND

En revanche nous représentons les inputs par les variables :

**-Terre:** C'est le potentiel de la superficie irrigable en hectare

**-Mof:** Le nombre d'individus qui contribuent au travail familial au sein de l'exploitation

**-Eau:** La quantité consommée de l'eau d'irrigation en m<sup>3</sup>.

**-Mecan:** La mécanisation en valeur concerne tous les travaux réalisés par l'agriculteur (labour, recroisement, billonnage...). Généralement, ces travaux sont entrepris par location à un prix horaire unique (10 TND/heure) et la variable est mesurée en TND

**-Fertil:** La fertilisation en valeur concerne le fumier et les engrais phosphatés dont le prix d'approvisionnement est aussi le même pour tous les agriculteurs et par conséquent la variable est mesurée en TND.

Par ailleurs, en raison de l'importance de l'activité extra agricole décrite auparavant, nous estimons que ce revenu peut jouer un rôle important dans le fonctionnement de nos exploitations. Le revenu, ainsi dégagé, constitue dans certains cas un facteur de viabilité de l'exploitation et du ménage qui va s'en servir soit pour la mise en œuvre de l'activité agricole soit pour satisfaire les besoins de la famille. En revanche cette activité extra agricole emploie une force de travail familial qui peut être au détriment de l'activité agricole. En effet le revenu espéré d'une activité extra agricole reste toujours plus attractif notamment pour les jeunes qui préfèrent fuir les aléas de l'activité agricole et particulièrement la pratique des cultures irriguées exigeantes en savoir-faire et en fonds de roulement. Par conséquent nous pouvons considérer aussi que le revenu (**Rex**), issu de l'exercice d'une activité extra agricole constitue un élément de l'output de l'exploitation en tant qu'unité de prise de décision. Cette considération implique qu'en terme d'input nous devrions prendre en compte la totalité de la force de travail familial que nous représentons par la variable (**Fam**) soit le nombre des individus de la famille qui constitue la force de travail aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'exploitation.

Comme nous l'avons déjà signalé, les données recueillies sont relatives au déroulement de la campagne 2003. L'analyse du fonctionnement des exploitations enquêtées révèle que certains irrigants présentent une activité agricole très limitée pour plusieurs raisons: superficie limitée, manque de moyens financiers ou en raison d'une activité extra agricole. Ceci se traduit par un faible emploi des facteurs voire l'absence totale. En effet trois irrigants n'ont pas fait recours à la mécanisation durant la campagne 2003 alors que 23 irrigants n'ont pas employé des fertilisants. Ainsi 25 exploitations présentent des valeurs

nulles en terme de mécanisation et/ou de fertilisation dont 16 sont des exploitations du TypeR et 6 du TypeM.

En matière de mise en œuvre du processus technologique, ces exploitations peuvent induire une fausse relation fonctionnelle. En effet la conception de la fonction de production pour l'évaluation des performances des systèmes de production par le modèle DEA n'autorise pas des inputs à valeurs nulles. Ainsi nous avons supprimé de notre base de données ces 25 exploitations et par conséquent notre matrice inputs-outputs se réduit à 125 exploitations réparties comme suit:

-TypeR: 30 exploitations

-TypeP: 47 exploitations

-TypeM: 48 exploitations

Le Tableau 35 donne les statistiques des variables retenues pour la constitution de cette matrice inputs-outputs.

**Tableau 35 : Statistiques des variables de la matrice inputs-outputs**

Variables	Observations	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart Type
Arb (1)	125	1524	0	7800	1585
Cult (2)	125	3851	0	28110	5044
Prod = (1)+(2)	125	5375	0	29208	5636
Rex	125	1115	0	18000	2332
Terre	125	5,23	0,25	20	3,94
Mecan	125	440	22	2800	433
Fertil	125	280	9	2034	337
Eau	125	14696	720	130086	16713
Mof	125	3,89	1	10	1,91
Fam	125	6,76	1	14	2,52

### 1-2 Fonction de production et application du modèle DEA

Pour établir la relation fonctionnelle nous revenons sur le contexte de mise en œuvre du processus technologique dans notre région d'étude. En effet nous signalons que chaque exploitation dispose d'une superficie irrigable qui traduit un potentiel en eau d'irrigation. En fonction de ses objectifs l'irrigant fait usage de ce potentiel pour satisfaire des besoins circonstanciels plutôt que des besoins réels. Plusieurs facteurs conditionnent la prise de décision de l'irrigant. Dans le cas des ppi l'irrigant subit une gestion collective de la ressource dont les règles de distribution sont fixées par le GIC. Toutes les contraintes de cette gestion institutionnelle vont se répercuter sur la décision d'irrigation.

Nos enquêtes révèlent une fréquence du tour d'eau plus au moins longue qui n'incite pas à la pratique des cultures irriguées. Comme nous l'avons aussi signalé (page 66), certains irrigants révèlent des incohérences de décision qui vont se traduire par un usage non raisonné de la ressource en eau.

Dans le cas des périmètres privés l'irrigant jouit d'une plus grande liberté d'accès à la ressource mais ni le système d'irrigation ni les moyens financiers n'offrent à priori des conditions idéales pour la pratique d'une irrigation judicieuse. Nos enquêtes révèlent que les irrigants disposent d'un minimum d'équipements parfois vétustes. En raison des difficultés financière les irrigants utilisent souvent le pétrole à la place du Gazoil. Ceci fait économiser immédiatement de l'argent mais augmente le coût d'entretien et limite la durée de vie du moteur. Le faible débit et la qualité de la ressource limitent aussi les superficies et les espèces cultivées.

Ainsi chaque irrigant va gérer le potentiel en eau en fonction de ses contraintes sans tenir compte des besoins réels de l'espèce. Cependant nous estimons que ce mode de fonctionnement corrobore une variabilité dans l'usage effective des disponibilités avec de faibles consommations ou un gaspillage de la ressource.

La mécanisation et la fertilisation sont aussi deux facteurs qui peuvent différencier les pratiques de nos irrigants en matière de mise en œuvre du processus technologique. Théoriquement l'intensification de ces deux facteurs suit les objectifs de production. En matière de mécanisation la majorité des irrigants ont recours à la location. L'exécution des travaux met en jeu l'expérience et les connaissances de l'irrigant mais aussi la disposition en fonds de roulement. Certains irrigants engagent les travaux en crédit sur récolte en espérant dégager le revenu nécessaire pour pouvoir les payer par la suite. La fertilisation est beaucoup plus liée aux pratiques d'irrigation. Selon nos enquêtes les irrigants appliquent souvent la fertilisation en fonction des doses d'irrigations apportées. Mais en relevant les données de la campagne 2003 nous avons signalé que 23 irrigants dont 16 appartiennent au TypeR n'ont pas appliqué des fertilisants.

En raison d'une agriculture familiale typique, le recours à la main d'œuvre salariale ne concerne qu'une minorité d'exploitation et ce pour des tâches particulières notamment la taille de l'olivier. Selon nos enquêtes les irrigants n'évoquent pas de difficultés de main

d'œuvre. Pour cela nous avons choisi d'établir une première relation fonctionnelle entre la valeur de la production de l'activité irriguée d'un côté ; la terre, la mécanisation, la fertilisation et la consommation en eau de l'autre côté. Cette relation est représentée par l'équation suivante :

$$\text{Prod} = f(\text{Terre, Mekan, Fertil, Eau}) \quad (\text{FR1})$$

Pour dresser la frontière de production d'un tel processus technologique et pouvoir mesurer l'efficacité des exploitations, nous avons appliqué le modèle DEA en écrivant le programme linéaire (PLA). Pour la résolution de ce modèle nous avons utilisé le logiciel GAMS (General Algebraic Modeling System). Les résultats, ainsi obtenus, nous ont permis de construire une première idée sur les scores d'efficacité qui paraissent assez faibles avec une moyenne de 0,57 et seulement 24 exploitations (19%) parfaitement efficaces.

Notre souci est de pouvoir améliorer ces scores tout en analysant la robustesse du modèle. Pour se faire nous avons besoin de démultiplier les critères de jugement de performance en testant d'autres fonctions de production intégrant plus de variables aussi bien en output qu'en input. Cette approche de résolution découle des avantages et limites du modèle DEA lui-même qui autorise des fonctions de production multi-produits mais dont le résultat est largement sensible au changement de variable.

Ainsi du côté de l'output l'importance de la distinction entre l'activité arboricole et les cultures intercalaires nous a incité à désagréger la variable (Prod) en deux variables (Arb) et (Cult). Nous avons considéré aussi que le revenu extra agricole peut constituer un élément important dans le revenu global de l'exploitation. Du côté des inputs nous avons élargi le champ des facteurs de production au capital humain qui constitue tout de même un élément important dans le fonctionnement de l'exploitation vu le caractère familial de l'exercice de l'activité en irrigué comme nous l'avons explicité auparavant. C'est ainsi que nous avons établis cinq fonctions de production suivante :

$$\begin{aligned} \text{Prod} &= f(\text{Terre, Mekan, Fertil, Eau, Mof}) && (\text{FP2}) \\ \text{Arb, Cult} &= f(\text{Terre, Mekan, Fertil, Eau}) && (\text{FP3}) \\ \text{Arb, Cult} &= f(\text{Terre, Mekan, Fertil, Eau, Mof}) && (\text{FP4}) \\ \text{Prod, Rex} &= f(\text{Terre, Mekan, Fertil, Eau, Fam}) && (\text{FP5}) \\ \text{Arb, Cult, Rex} &= f(\text{Terre, Mekan, Fertil, Eau, Fam}) && (\text{FP6}) \end{aligned}$$

L'application du modèle DEA pour chaque fonction de production et la comparaison des résultats qui en découle nous permettront d'analyser la robustesse de notre modèle DEA et de choisir la fonction de production qui donnera une meilleure distribution des scores d'efficacité.

L'application du modèle DEA en VRS aboutit à des mesures d'efficacité portées sur le tableau 36:

**Tableau 36: Comparaison des scores d'efficacité issus des six fonctions de production**

	FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	FP6
<b>Moyenne</b>	0,57	0,65	0,61	0,69	0,68	0,72
<b>Médiane</b>	0,527	0,637	0,566	0,702	0,653	0,692
<b>Exploitations efficaces</b>	24	30	33	39	35	44
<b>%</b>	19	24	26	31	28	35
<b>Exploitations avec un score inférieur à la moyenne</b>	70	63	68	61	68	67
<b>%</b>	56	50	54	49	54	53

L'analyse de ses résultats montre que les scores d'efficacité s'améliorent au fur et à mesure que nous introduisons plus de détails dans les variables d'outputs et d'inputs. Mais nous signalons que ces scores découlent de six fonctions différentes qui pourraient représenter, théoriquement, des processus technologiques de production différents. Outre, avec l'approche DEA la distribution théorique de ces scores d'efficacité reste toujours inconnue (Cooper et al., 2006). Ainsi pour établir la robustesse de notre modèle nous allons procéder à des analyses statistiques non paramétriques en utilisant le test de Spearman. En effet ce test nous permettra de juger la corrélation entre les résultats issus des six fonctions de production. A l'aide de ce test nous cherchons à tester l'hypothèse nulle  $H_0$ : *Les modèles sont indépendants.*

**Tableau 37: Analyse des corrélations par le Test de Spearman**

		FP1	FP2	FP3	FP4	FP5
FP2	Coef. Corrélation	0,8974				
	Spearman's rho	0,8837				
	Prob	0,0000***				
FP3	Coef. Corrélation	0,9614	0,8500			
	Spearman's rho	0,9662	0,8439			
	Prob	0,0000***	0,0000***			
FP4	Coef. Corrélation	0,8706	0,9542	0,9004		
	Spearman's rho	0,8716	0,9521	0,8985		
	Prob	0,0000***	0,0000***	0,0000***		
FP5	Coef. Corrélation	0,8806	0,8922	0,8453	0,8726	
	Spearman's rho	0,8691	0,8856	0,8379	0,8659	
	Prob	0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0000***	
FP6	Coef. Corrélation	0,8624	0,8568	0,8936	0,9097	0,9647
	Spearman's rho	0,8592	0,8539	0,8843	0,9066	0,9648
	Prob	0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0000***

\*\*\* Significatif à 1%

L'analyse du tableau 37 montre que les différents scores d'efficacités recueillis par l'application des six fonctions de production sont étroitement corrélés ce qui nous permet de rejeter l'hypothèse nulle. Ainsi le choix d'une fonction de production ou de l'autre nous donne la même tendance et les résultats offrent à priori la même interprétation et signifie bien la robustesse de notre modèle.

En raison de l'amélioration nette de la distribution de scores d'efficacité (Voir graphique en annexe 5) et suite aux résultats du test de corrélation de Spearman nous avons opté pour la fonction de production FP6 pour mener la suite de nos analyses en terme d'évaluation et d'analyse des performances des systèmes de production.

### 1-3 Analyse des mesures de l'efficacité technique

Pour évaluer les performances des systèmes de production nous avons donc retenu la fonction FP6 qui établie la relation suivante:

$$ARB, Cult, Rex = f(Terre, Mekan, Fertil, Eau, Fam)$$

En considérant cette relation fonctionnelle nous avons appliqué le modèle DEA (PL2 et PL4) pour évaluer les mesures d'efficacité respectivement en rendements d'échelle constants (CRS) et en rendements d'échelle variables (VRS). Ainsi pour calculer l'efficacité

technique  $k_0$  de l'exploitation  $j_0$  sous l'hypothèse de rendements d'échelle constants il suffit de résoudre le programme linéaire suivant :

$$\text{Min } k_0 - \varepsilon [S_{(Arb)j_0} + S_{(Cult)j_0} + S_{(Rex)j_0} + S_{(Terre)j_0} + S_{(Eau)j_0} + S_{(Mecan)j_0} + S_{(Fertil)j_0} + S_{(Fam)j_0}] \quad (\text{PL8})$$

Sujet à :

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (Terre)_j = k_0 (Terre)_{j_0} - S_{(Terre)j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (Eau)_j = k_0 (Eau)_{j_0} - S_{(Terre)j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (Mecan)_j = k_0 (Mecan)_{j_0} - S_{(Terre)j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (Fertil)_j = k_0 (Fertil)_{j_0} - S_{(Fertil)j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (Fam)_j = k_0 (Fam)_{j_0} - S_{(Fam)j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (Arb)_j = (Arb)_{j_0} + S_{(Arb)j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (Cult)_j = (Cult)_{j_0} + S_{(Cult)j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (Rex)_j = (Rex)_{j_0} + S_{(Rex)j_0}$$

Pour  $N = 125$  et avec  $\lambda_{j \geq 0}$  comme variable d'intensité,  $S_{\geq 0}$  comme variable d'écart.

$k_0$  étant libre

Pour calculer les mesures de l'efficacité sous l'hypothèse de rendements d'échelle variables

nous résolvons le programme précédent tout en considérant la contrainte  $\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1$

### 1-3-1 Analyse des scores d'efficacité en rendements d'échelle constants

En adoptant l'hypothèse des rendements d'échelle constants nous supposons que nos exploitations opèrent à une échelle optimale. Autrement dit nous estimons que les exploitations de notre région d'étude mettent en œuvre la même technologie, profitent d'une situation de concurrence parfaite sur le marché et ne subissent aucune contrainte (financière, institutionnelle et autres) susceptible de compromettre leur niveau de fonctionnement optimal (Dimara et al., 2005).

L'analyse des résultats en mode CRS (Tableau 38) suggère que notre échantillon montre une efficacité moyenne de 0,56 avec une médiane de 0,50. 73 exploitations (58%) présentent une efficacité en dessous de la moyenne. 24 exploitations (19%) sont d'une efficacité égale à l'unité qui se répartissent entre 8 exploitations du TypeR, 5 exploitations du TypeP et 11 exploitations du TypeM.

**Tableau 38: Analyse des mesures de l'efficacité technique en mode CRS**

		Echantillon	TypeR	TypeP	TypeM
<b>Observations</b>		125	30	47	48
<b>Efficacité Moyenne</b>		0,56	0,63	0,49	0,59
<b>Efficacité Médiane</b>		0,505	0,593	0,433	0,520
<b>Efficacité Minimale</b>		0,092	0,161	0,098	0,092
<b>Ecart type</b>		0,28	0,28	0,27	0,28
<b>Exploitation efficace</b>	<b>Nombre</b>	24	8	5	11
	<b>%</b>	19	26	11	23
<b>Exploitation avec efficacité &lt; 0,56</b>	<b>Nombre</b>	73	14	33	26
	<b>%</b>	58	47	70	54

En matière de comparaison des performances nous pouvons noter que les exploitations du TypeR sont à priori plus efficaces que les autres types d'exploitation. Selon le test des rangs wilcoxon Mann-whitney (Tableau39) la distribution des scores d'efficacité des exploitations du TypeR ne présente pas une différence significative par rapport à celle des exploitations du TypeM et par conséquent nous ne pouvons pas conclure quant à la supériorité de performance du système de production du TypeR.

**Tableau 39: Test de Wilcoxon Mann-Whitney pour l'analyse de l'efficacité technique en mode CRS**

	TypeR/TypeP	TypeR/TypeM	TypeP/TypeM
<b>Z</b>	-2,220	0,610	-1,869
<b>Prob</b>	0,0264**	0,5416	0,0616*

\* Significatif à 10%

\*\* Significatif à 5%

### 1-3-2 Analyse des scores d'efficacité en rendements d'échelle variables

Le résultat d'analyse des scores d'efficacité en rendements d'échelle constants présente une nuance fondamentale du à la neutralisation des effets des économies d'échelle dans la détermination des scores d'efficacité. En revanche l'application de modèle DEA sous l'hypothèse de rendements d'échelle variables permet d'obtenir des scores d'efficacité technique pure qui traduisent les performances réelles des exploitations dans la mise en œuvre

de la technologie de production. Ainsi nous avons résolu le programme (PL8) en considérant la contrainte  $\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1$ . L'analyse des scores d'efficacité est donnée au tableau 40.

**Tableau 40: Analyse des mesures de l'efficacité technique en mode VRS**

		Echantillon	TypeR	TypeP	TypeM
Observations		125	30	47	48
Efficacité Moyenne		0,72	0,87	0,64	0,69
Efficacité Médiane		0,692	1	0,565	0,674
Efficacité Minimale		0,220	0,445	0,220	0,279
Ecart type		0,25	0,18	0,24	0,25
Exploitation efficace	Nombre	44	18	11	15
	%	35	60	23	31
Exploitation avec efficacité < 0,72	Nombre	67	8	31	28
	%	54	27	66	58

Le résultat montre une amélioration nette des scores d'efficacité par rapport à celui en mode CRS. En effet l'efficacité moyenne de l'échantillon passe de 0,56 à 0,72 et la médiane voisine aussi 0,7. Le nombre des exploitations efficaces passent de 24 à 44 (35%). Ainsi les tiers des exploitations déterminent la frontière de production dont 18 exploitations (41%) appartiennent au TypeR. La comparaison des scores d'efficacité par type d'exploitation confirme la supériorité de la performance technique du système de production du TypeR dont l'efficacité moyenne atteint 0,87 contre 0,69 pour les exploitations du TypeM et 0,64 pour les exploitations du TypeP. Selon le test de Wilcoxon Mann-Whitney (Tableau 41) cette supériorité est nettement significative à 1% mais nous remarquons que la différence entre les exploitations du TypeP et du TypeM est non significative.

**Tableau 41: Test de Wilcoxon Mann-Whitney pour l'analyse de l'efficacité technique en mode VRS**

	TypeR/TypeP	TypeR/TypeM	TypeP/TypeM
Z	-4,069	3,162	-0,997
Prob	0,0000***	0,0016***	0,3190

\*\*\* Significative à 1%

### 1-3-3 Analyse de l'efficacité d'échelle

Le calcul des scores d'efficacité d'échelle permet de saisir l'importance des économies d'échelle dans le fonctionnement des exploitations. En effet théoriquement l'optimum économique est atteint en rendement d'échelle constant alors que nous venons de montrer que nos exploitations présentent une efficacité technique pure meilleure que l'efficacité technique

totale. Ce résultat signifie que nos exploitations ne fonctionnent pas à une échelle optimale et par conséquent subissent des inefficacités d'échelle qui atteignent en moyenne 23%. Les exploitations efficaces en mode CRS sont celles qui fonctionnent à une échelle optimale en présentant une efficacité d'échelle égale à l'unité.

**Tableau 42: Analyse des mesures de l'efficacité d'échelle**

		Echantillon	TypeR	TypeP	TypeM
Observations		125	30	47	48
Efficacité Moyenne		0,77	0,70	0,75	0,84
Efficacité Médiane		0,808	0,693	0,755	0,897
Efficacité Minimale		0,142	0,223	0,142	0,331
Ecart type		0,22	0,25	0,22	0,18
Exploitations efficaces	Nombre	24	8	5	11
	%	19	26	11	23
Exploitations avec efficacité < 0,77	Nombre	54	18	24	12
	%	43	60	51	25

La comparaison des scores d'efficacité d'échelle (Tableau 42) des systèmes de production suggère que les exploitations du TypeM montrent des inefficacités d'échelle faibles avec une moyenne de 16% contre 25% pour les exploitations du TypeP et 30% pour les exploitations du TypeR. Selon le test de Wilcoxon Mann-Whitney (Tableau 43) cette différence est significative à 5%. Toute chose égale par ailleurs, ce résultat suggère que les exploitations du TypeM fonctionnent à une échelle plus proche de l'optimum économique.

**Tableau 43: Test de Wilcoxon Mann-Whitney pour l'analyse de l'efficacité d'échelle**

	TypeR/TypeP	TypeR/TypeM	TypeP/TypeM
Z	0,450	-2,017	-2,279
Prob	0,6525	0,0437**	0,0226**

\*\*Significatif à 5%

#### 1-3-4 Analyse de l'efficacité des facteurs

Les résultats du modèle DEA en mode VRS suggèrent que les exploitations en irrigué de notre région d'étude pourrait atteindre le niveau actuel de production tout en réalisant un effort d'économie de 28% sur l'usage globale des facteurs. Ce résultat montre que les pratiques actuelles des irrigants s'accompagnent d'un certain gaspillage des ressources variable d'un facteur à l'autre. Pour cela nous avons cherché à mesurer les niveaux d'efficacité des facteurs en se référant aux résultats du modèle DEA en mode VRS.

L'efficacité du facteur A ( $E_A$ ) est donnée par la formule suivante :

$$E_A = E_t - \frac{Ve_A}{Vo_A}$$

Avec

$E_t$ : efficacité technique de l'exploitation

$Ve_A$ : valeur d'écart du facteur A

$Vo_A$ : valeur observée du facteur A

L'analyse des résultats (Tableau 44) montre qu'au niveau de l'échantillon le gaspillage des ressources le plus important (33%) est observé pour le facteur terre. La mécanisation, la fertilisation et l'eau sont au même niveau de gaspillage avec 32% alors que 29% de la force du travail mobilisée se montre non productive.

**Tableau 44: Efficacité technique moyenne de l'usage des facteurs**

	<b>Echantillon</b>	<b>TypeR</b>	<b>TypeP</b>	<b>TypeM</b>
<b>Terre</b>	0,67	0,84	0,60	0,63
<b>Mécanisation</b>	0,68	0,83	0,61	0,66
<b>Fertilisation</b>	0,68	0,86	0,58	0,67
<b>Eau</b>	0,68	0,87	0,59	0,65
<b>Travail</b>	0,71	0,87	0,64	0,69

En examinant les résultats par type d'exploitation nous remarquons que les exploitations du TypeR enregistrent les niveaux de gaspillage les plus bas qui ne dépassent pas 17% pour la mécanisation. Alors que les exploitations du TypeP enregistrent les niveaux les plus forts qui peuvent atteindre 42% pour la fertilisation. Concernant l'usage du facteur eau, un gaspillage seulement de 13% est enregistré chez les exploitations de TypeR alors que les exploitations du TypeP atteignent un niveau de 41% contre 35% pour les exploitations du TypeM. Ce résultat confirme bien la supériorité de performance du système de production des exploitations du TypeR. En effet le tableau 43 présente le niveau d'efficacité des facteurs par type d'exploitation et permet d'analyser en profondeur l'allocation des ressources et notamment le facteur eau. C'est ainsi que nous pouvons remarquer qu'au niveau actuel de production nos exploitations révèlent un niveau de gaspillage des ressources de 29% pour l'emploi de la force du travail à 33% pour l'usage de la terre irrigable

## II- Analyse des performances économiques des systèmes de production

La relation fonctionnelle que nous avons pu mettre en évidence en analysant les performances techniques indique la manière dont l'irrigant peut produire, compte tenu de l'état de la technique et des caractéristiques des intrants. Constatant l'existence de multiples façons de combiner efficacement d'un point de vue technique les facteurs de production, le producteur envisage un calcul économique lui permettant une allocation optimale des ressources et au final lui garantissant le revenu résiduel le plus élevé (Blancard et al. 2003). Ainsi l'agriculteur comme tout autre entrepreneur sera guidé par une logique de maximisation de profit pour établir sa stratégie productive.

En adoptant une approche de frontière de profit (PL7) nous allons pouvoir saisir l'aptitude de nos irrigants à exercer cette stratégie de maximisation de profit compte tenu de leurs potentialités techniques et des objectifs de production. Nous saisissons la décomposition de l'efficacité profit suggéré par Banker et Maindiratta (1988) pour analyser les performances économiques des systèmes de production. Pour éviter toute confusion avec le concept performance technique que nous venons d'analyser à la section une et à l'instar de Blancard et al. (2003) nous emploierons le terme efficacité réelle pour désigner l'efficacité profit technique tel quelle est définie par Banker et Maindiratta (1988).

Pour ce faire nous supposons que la Marge Brute peut traduire le niveau de rentabilité recherché. Nous considérons toujours d'un côté la valeur de la production de l'arboriculture et des cultures intercalaires et de l'autre côté les principaux postes de dépense à savoir l'eau d'irrigation, la mécanisation, la fertilisation mais aussi la valeur locative de la terre mobilisée. En raison du caractère familial de l'activité et des difficultés d'estimer le nombre des journées de travail familial engagées nous n'avons pas intégré la force de travail comme charge effective en considérant que le niveau de sa rémunération dépend la marge dégagée.

Nous rappelons que l'analyse des performances techniques de nos exploitations nous a révélé la supériorité du système de production des exploitations du TypeR. En revanche nous avons remarqué que ces exploitations fonctionnent à un niveau d'échelle plus faible en montrant des inefficacités d'échelle plus importantes atteignant en moyenne 30% contre 25% pour les exploitations du TypeP et 16% pour les exploitations du TypeM. Ainsi nous pouvons anticiper que les exploitations du TypeP et du TypeM montreront des performances

économiques meilleures tout en adoptant l'hypothèse suivante: La disposition d'un puits de surface comme source d'irrigation permet à l'irrigant de dégager des profits meilleurs.

Si cette hypothèse est vérifiée alors nous pouvons affirmer l'hypothèse 2 énoncée auparavant et qui stipule que la surexploitation de la ressource est stimulée par l'importance de la productivité de l'eau dans les périmètres privés

## 2-1 Matrice Inputs-Outputs et développement du modèle DEA pour l'efficacité profit

La mesure de l'efficacité allocative nécessite des données sur les quantités des facteurs de production et des produits ainsi que sur les prix. Mais nous constatons que toutes les exploitations font face à des prix globalement les mêmes en raison d'absence d'un marché local des produits et des facteurs d'autant plus que ces exploitations appartiennent à la même région. Alors en raison tout d'abord de la difficulté d'avoir en détail toutes les quantités et les prix des produits et des facteurs nous avons retenu les valeurs des produits arboricoles (Arb) et des cultures intercalaires (Cult) que nous avons utilisé auparavant. Concernant les facteurs de production nous avons considéré aussi les dépenses globales en matière de mécanisation (Mecan) et de fertilisation (Fertil) alors que nous avons évalué la superficie irrigable (Terre) à sa valeur locative selon les prix pratiqués dans la région. De la même manière nous avons évalué les charges d'eau d'irrigation en multipliant les quantités consommées (Eau) par les prix au m<sup>3</sup>. Par ailleurs nous faisons l'hypothèse que le profit des exploitations peut être représenté par la marge brute calculée à partir de la différence entre les valeurs des produits et des facteurs que nous avons considérés auparavant. Ainsi nous calculons le profit obtenu par une exploitation  $j_0$  ( $\Pi_{j_0}$ ) de la manière suivante :

$$\Pi_{j_0} = [(Arb)_{j_0} + (Cult)_{j_0}] - [(Terre)_{j_0} + (Eau)_{j_0} + (Mecan)_{j_0} + (Fertil)_{j_0}]$$

À la lumière de nos calculs, 39 exploitations ont révélé une marge négative. Pour une application du modèle DEA nous avons décidé de garder uniquement les exploitations à marge positive. Ainsi nous avons obtenu une matrice de 86 exploitations pour l'évaluation de l'efficacité réelle et allocative. Ces exploitations se répartissent entre 21 exploitations du TypeR, 29 du TypeP et 36 du TypeM. Les statistiques des variables de cette matrice sont données par le tableau 45.

Pour l'eau des ppi nous avons appliqué les prix pratiqués par les GIC alors que pour l'eau de puits de surface nous avons calculé le coût d'exhaure à partir des frais de fonctionnement annuel déclarés par les exploitants.

Tableau 45: Statistiques des variables de la matrice Inputs-outputs en TND

	Observation	Moyenne	Min	Max	E.type
Arb	86	1809	0	7800	1734
Cult	86	4999	0	28110	5585
Terre	86	1375	50	5700	1082
Mecan	86	493	40	2800	474
Fertil	86	295	12	1705	307
Eau	86	1062	40	4784	883

Ainsi pour construire la frontière profit nous avons développé le modèle suivant :

Max  $k$

(PL9)

Sujet à

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (Arb)_j \geq k (Arb)_{j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (Cult)_j \geq k (Cult)_{j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (Terre)_j \leq (Terre)_{j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (Eau)_j \leq (Eau)_{j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (Mecan)_j \leq (Mecan)_{j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (Fertil)_j \leq (Fertil)_{j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1 ; \lambda_j \geq 0 \text{ et avec } N = 86$$

La résolution de ce programme permet de calculer le profit maximal ( $\Pi_{j_0}^*$ ) que l'exploitation  $j_0$  pourrait atteindre par une gestion optimale des ressources. En effet soit  $(Arb)_{j_0}^*$ ,  $(Cult)_{j_0}^*$ ,  $(Terre)_{j_0}^*$ ,  $(Eau)_{j_0}^*$ ,  $(Mecan)_{j_0}^*$ ,  $(Fertil)_{j_0}^*$  et  $\lambda_j$  la solution de la résolution de ce programme alors :

$$\Pi_{j_0}^* = \left[ \sum_{j=1}^N \lambda_j^* (Arb)_j^* + \sum_{j=1}^N \lambda_j^* (Cult)_j^* \right] - \left[ \sum_{j=1}^L \lambda_j^* (Terre)_j^* + \sum_{j=1}^N \lambda_j^* (Eau)_j^* + \sum_{j=1}^N \lambda_j^* (Mecan)_j^* + \sum_{j=1}^N \lambda_j^* (Fertil)_j^* \right]$$

La comparaison du profit observé ( $\Pi_{j_0}$ ), réalisé par l'exploitation  $j_0$ , par rapport au profit ( $\Pi_{j_0}^*$ ) permet d'apprécier l'efficacité réelle ( $E_r$ ) donnée par le ratio:  $E_r = \frac{\Pi_{j_0}}{\Pi_{j_0}^*}$

En revanche pour saisir l'efficacité allocative nous allons calculer le profit optimal que la firme  $j_0$  pourrait atteindre étant donné les prix des facteurs et des produits. Pour cela nous allons reprendre le programme (PL7). En absence des vecteurs de prix nous allons employer les valeurs globales des produits et des facteurs. En effet sous l'hypothèse que toutes les firmes font face aux mêmes prix Faïre et al. (1990) démontrent que les optima restent identiques. Blancard et al. (2003) signalent que cette hypothèse peut se justifier pour les observations situées dans un même bassin. Cependant sachant que les exploitations rencontrent des difficultés réelles de financement, nous pouvons supposer qu'elles sont incapables d'engager plus de dépenses qu'elles ont déjà réalisées. Ainsi nous allons tenir compte de cette contrainte. En récrivant le programme (PL7), la structure de notre modèle pour le calcul du profit optimal est la suivante:

$$\text{Max } \Pi_{j_0} = (\text{Arb} + \text{Cult}) - (\text{Terre} + \text{Eau} + \text{Mecan} + \text{Fertil}) \quad (\text{PL10})$$

Sujet à

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (\text{Arb})_j \geq \text{Arb}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (\text{Cult})_j \geq \text{Cult}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (\text{Terre})_j \leq \text{Terre}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (\text{Eau})_j \leq \text{Eau}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (\text{Mecan})_j \leq \text{Mecan}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j (\text{Fertil})_j \leq \text{Fertil}$$

$$(\text{Terre} + \text{Eau} + \text{Mecan} + \text{Fertil}) \leq (\text{Terre})_{j_0} + (\text{Eau})_{j_0} + (\text{Mecan})_{j_0} + (\text{Fertil})_{j_0}$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1;$$

$$\lambda_j \geq 0; \quad \text{et } N = 86$$

Soit  $\Pi_{j_0}^M$  le profit optimal que peut atteindre l'exploitation  $j_0$  étant donnée ses potentialités et

sa performance technique alors son efficacité allocative ( $E_A$ ) est donnée par le ratio :  $E_A = \frac{\Pi_{j_0}^*}{\Pi_{j_0}^M}$

## 2-2 Maximisation du profit et efficacité au niveau exploitation

L'analyse de l'efficacité réelle (Tableau 46) montre que les exploitations du TypeR sont toujours plus efficaces que les autres types d'exploitation avec une efficacité moyenne qui atteint 0,77 contre 0,41 et 0,46 respectivement pour les exploitations du TypeP et du TypeM. L'application du test des rangs de Wilcoxon (Tableau 48) montre que cette différence est nettement significative alors qu'elle ne l'est pas entre les exploitations du TypeP et du TypeM. Ce résultat confirme que les exploitations du TypeR sont plus proches d'une gestion optimale des ressources en raison d'une meilleure performance technique de leur système de production comme nous l'avons constaté à la section précédente. Ainsi nous pouvons suggérer que les pratiques d'irrigation à partir des puits de surface qui montrent un gaspillage, plus important, des ressources ne permettent pas naturellement d'atteindre un niveau de profit meilleur que celui réalisé à l'échelle des ppi.

**Tableau 46: Analyse des mesures de l'efficacité réelle au niveau exploitation**

		Echantillon	TypeR	TypeP	TypeM
<b>Observations</b>		86	21	29	36
<b>Efficacité Moyenne</b>		0,52	0,77	0,41	0,46
<b>Efficacité Médiane</b>		0,386	1	0,272	0,341
<b>Efficacité Minimale</b>		0,003	0,125	0,015	0,003
<b>Ecart type</b>		0,39	0,33	0,35	0,39
<b>Exploitation efficace</b>	<b>Nombre</b>	30	13	6	11
	<b>%</b>	35	62	38	31
<b>Exploitation avec efficacité &lt; 0,52</b>	<b>Nombre</b>	48	6	20	22
	<b>%</b>	56	29	69	61

En revanche l'analyse de l'efficacité allocative (Tableau 47) montre que les exploitations du TypeP sont plus efficaces que les autres types d'exploitation. En effet les exploitations du TypeR montrent des efficacités allocatives plus faibles avec une moyenne qui atteint seulement 0,53 alors que les exploitations du TypeP enregistrent une moyenne de 0,76. L'application du test des rangs de Wilcoxon (Tableau 48) montre que cette différence est nettement significative alors qu'elle ne l'est pas entre les exploitations du TypeP et du TypeM. Ce résultat suggère que malgré la faible performance technique, le système de production des exploitations du TypeP montre une plus grande aptitude à atteindre une meilleure profitabilité que les autres systèmes de production. Ce niveau de profitabilité traduit la logique de maximisation de profit généralement et théoriquement recherché par les agriculteurs eu égard leurs potentialités et la technologie de production mise en œuvre.

**Tableau 47: Analyse des mesures de l'efficacité allocative au niveau exploitation**

		Echantillon	TypeR	TypeP	TypeM
Observations		86	21	29	36
Efficacité Moyenne		0,66	0,53	0,76	0,66
Efficacité Médiane		0,723	0,553	0,787	0,792
Efficacité Minimale		0,012	0,012	0,095	0,229
Ecart type		0,29	0,29	0,19	0,32
Exploitation efficace	Nombre	3	1	0	2
	%	3	5	0	6
Exploitation avec efficacité < 0,66	Nombre	34	14	6	14
	%	40	67	21	39

**Tableau 48: Test de Wilcoxon Mann-Whitney pour l'analyse de l'efficacité réelle et allocative**

Efficacité	TypeR/TypeP		TypeR/TypeM		TypeP/TypeM	
	Z	Prob	Z	Prob	Z	Prob
Réelle	3,306	0,0009***	2,863	0,0042***	-0,306	0,7594
Allocative	-2,840	0,0045***	-1,654	0,0980*	0,462	0,6442

\*\*\*Significatif à 1%

\*\*Significatif à 5%

\*Significatif à 10%

Toutes choses égales par ailleurs, cette disparité des performances économiques conjuguées à la disparité des performances techniques confirme l'impact de la nature de la source d'irrigation sur le fonctionnement de l'exploitation et explique la stratégie de création de puits de surface comme deuxième source d'irrigation.

Pour pouvoir consolider ce résultat nous allons approfondir nos analyses au niveau de la parcelle en considérant d'un côté des parcelles irriguées par l'eau du réseau et de l'autre côté des parcelles irriguées à partir de l'eau des puits de surface.

### 2-3 Maximisation du profit et efficacité au niveau parcelle

Les résultats du modèle exploitation montrent tout d'abord que les systèmes de production des ppi du TypeR révèlent une efficacité réelle meilleure que les systèmes de production en disposition de puits de surface ou des deux ressources d'irrigation. En terme d'efficacité allocative ce sont plutôt les systèmes de production du TypeP qui révèlent un niveau d'efficacité meilleure. L'application du test des rangs montre que ce résultat est significatif en comparant les exploitations du TypeR aux autres types d'exploitation. Ainsi et à priori la stratégie de création de puits de surface peut s'expliquer par l'importance du niveau d'efficacité allocative qui permettra aux exploitations de réaliser les meilleurs profits.

En vue d'approfondir notre réflexion sur le facteur qui incite à la création de puits de surface comme deuxième source d'irrigation nous allons mesurer l'efficacité de management des pratiques agricoles au niveau de la parcelle. Ainsi nous allons pouvoir comparer l'efficacité réelle et allocative de l'exercice de l'activité en irrigué au niveau de la parcelle. En considérant des parcelles situées à l'intérieur des périmètres publics et d'autres à l'intérieur des périmètres privées nous allons pouvoir saisir l'impact de la nature de la source d'irrigation sur la gestion de la parcelle.

Pour constituer la matrice inputs-outputs nous avons retenu les mêmes critères que nous avons appliqués pour l'analyse de l'efficacité profit au niveau de l'exploitation. Ainsi par parcelle nous avons calculé les valeurs des produits de l'arboriculture (Arb) et des cultures intercalaires (Cult). En matière de facteurs de production nous avons calculé la valeur locative de la parcelle (Terre) et les dépenses de mécanisation (Mecan), fertilisation (Fertil) ainsi que la valeur de la consommation en eau engagées au niveau de la parcelle. Nous avons sélectionné les parcelles qui répondent aux conditions suivantes :

- (i) Un produit non nul de l'arboriculture
- (ii) Tous les facteurs de production montrent des valeurs non nul
- (iii) la marge par parcelle est positive.

Cette démarche nous a permis de retenir 89 parcelles qui peuvent constituer une matrice inputs-outputs. La répartition des parcelles selon la nature de la source d'irrigation et le type d'exploitation est donnée par le tableau 49:

**Tableau 49: Répartition des parcelles selon les types d'exploitation et la source d'irrigation**

	TypeR	TypeP	TypeM	Total
<b>Réseau public</b>	19		23	42
<b>Puits de surface</b>		25	22	47
<b>Total</b>	19	25	45	89

Ainsi nous pouvons constater que l'enjeu est de pouvoir analyser les performances des pratiques d'irrigation selon la nature de la source d'irrigation pour que nous puissions confirmer ou infirmer l'ensemble des résultats obtenus en analysant les performances des systèmes de production des trois types d'exploitation. Les statistiques de cette matrice sont données par le Tableau 50.

**Tableau 50: Statistiques des variables de la matrice Inputs-Outputs en TND**

	Observation	Moyenne	Min	Max	E.Type
ARB	89	1580	28	7000	1450
Cult	89	2839	0	14500	3654
Terre	89	840	50	5100	892
Mecan	89	337	23	2280	364
Fertil	89	173	10	1069	188
Eau	89	733	29	5012	816

Pour construire la frontière profit au niveau parcelle nous avons appliqué tout d'abord le modèle DEA (PL9) avec  $N = 89$  dont la résolution nous a permis de calculer le profit susceptible d'être réalisé en vertu d'une gestion efficace des inputs au niveau de la parcelle. Ainsi nous avons calculé l'efficacité réelle au niveau de la parcelle dont les statistiques sont données par le tableau 51.

**Tableau 51: Analyse des mesures de l'efficacité réelle au niveau parcelle**

		Echantillon	Réseau public	Puits de surface
<b>Observations</b>		89	42	47
<b>Efficacité Moyenne</b>		0,42	0,51	0,34
<b>Efficacité Médiane</b>		0,317	0,396	0,210
<b>Efficacité Minimale</b>		0,008	0,021	0,008
<b>Ecart type</b>		0,36	0,38	0,32
<b>Exploitation efficace</b>	<b>Nombre</b>	20	14	6
	<b>%</b>	22	33	13
<b>Exploitation avec efficacité &lt; 0,42</b>	<b>Nombre</b>	56	23	33
	<b>%</b>	63	55	70

L'analyse des scores de l'efficacité réelle montre que l'activité en irrigué au niveau des périmètres public est plus proche d'une gestion optimale des ressources avec une efficacité moyenne de 0,51 contre 0,34 pour l'exercice de l'activité au niveau des périmètres privés. Le test des rangs de Wilcoxon Mann-whitney (Tableau 53) montre que cette différence est significative.

En revanche l'application du programme (PL10) avec  $N = 89$ , pour le calcul du profit maximal susceptible d'être réalisé au niveau parcelle, nous a permis de saisir l'efficacité relative. L'analyse des scores obtenus (Tableau 52) montre que les pratiques d'irrigation au niveau des périmètres privés offre une meilleure rentabilité en atteignant une efficacité moyenne de 0,67 contre 0,47 pour les parcelles des périmètres publiques.

**Tableau 52: Analyse des mesures de l'efficacité allocative au niveau parcelle**

	Echantillon	Réseau public	Puits de surface
<b>Observations</b>	89	42	47
<b>Efficacité Moyenne</b>	0,57	0,47	0,67
<b>Efficacité Médiane</b>	0,542	0,481	0,642
<b>Efficacité Minimale</b>	0,027	0,027	0,268
<b>Ecart type</b>	0,20	0,17	0,19
<b>Exploitation efficace</b>	<b>Nombre</b>	3	2
	<b>%</b>	3	4
<b>Exploitation avec efficacité &lt; 0,57</b>	<b>Nombre</b>	49	15
	<b>%</b>	55	32

Le test des rangs Wilcoxon Mann-whitney (Tableau 53) montre que cette différence est significative. Ainsi nous pouvons suggérer que les performances économiques de l'activité en irrigué au niveau des périmètres privés est nettement supérieure à celles des périmètres publics.

**Tableau 53: Test de Wilcoxon Mann-Whitney pour l'analyse de l'efficacité réelle et allocative au niveau parcelle**

	Efficacité réelle	Efficacité allocative
<b>Z</b>	2,215	-4,709
<b>Prob</b>	0,0267**	0,0000***

\*\*\*Significatif à 1%

\*\*Significatif à 5%

Ce résultat confirme la supériorité des performances économiques des systèmes de production qui utilisent l'eau de puits de surface comme source d'irrigation. Ainsi nous pouvons suggérer que la raison principale qui stimule la prolifération des puits de surface consiste à l'importance de la profitabilité procurée par l'usage de cette source d'irrigation. Ceci nous amène à s'interroger quant aux déterminants de cette efficacité allocative pour mieux appréhender la gestion de la parcelle selon la nature de la ressource d'irrigation.

A la lumière des analyses du fonctionnement de l'exploitation avancé précédemment notamment les avantages d'accès à une ressource privée en matière de liberté d'action et de la disponibilité de la ressource en eau en quantité et en temps nous pouvons suggérer que ces avantages procurent à l'agriculteur une plus grande sécurité pour pratiquer les cultures maraîchères caractérisées par une marge plus grande. Ainsi nous pouvons tester l'hypothèse que l'efficacité allocative est affectée par la pratique des cultures maraîchères.

### III- Analyse des déterminants des inefficacités révélées

L'analyse des performances techniques et économiques nous a révélé des différences significatives entre les types d'exploitation. Toute chose égale par ailleurs cette différence incombe à la nature de la source d'irrigation comme le montre les analyses au niveau parcelle. Cependant nos analyses qualitatives montrent aussi des différences de structures d'exploitation et des systèmes de culture qui peuvent justifier en partie la disparité des performances. C'est ainsi que notre interrogation quant aux déterminants des inefficacités révélées suscite une attention particulière pour appréhender le comportement des irrigants et saisir les attitudes d'exercice d'une activité en irrigué dans le contexte de notre région d'étude. Une analyse multidimensionnelle de la variabilité des scores d'efficacité pourrait nous apporter des éléments de réponse à cette interrogation. Etant donnée que les valeurs d'efficacité sont comprises entre 0 et 1, l'application du modèle Tobit conviendrait pour mener de telle analyse (Tobin, 1958 ; Latruffe et al., 2002a ; Zaibet et al., 1999 ; Karagiannis et al., 2003; Wilson et al., 2001; Lachaal et al, 2002).

#### 3-1 Choix des variables et application du modèle Tobit

Les résultats d'évaluation des mesures d'efficacité ont montré que les irrigants de notre région d'étude ne sont pas tous au même niveau de maîtrise de la technologie de production analysé ci dessus. Les inefficacités révélées sont dues à des facteurs exogènes au processus technologique qui peuvent être d'ordre géographique, climatique, institutionnelle, économique et/ou sociale. En examinant la littérature en matière d'identification de ces facteurs exogènes nous signalons que certains auteurs emploient des variables muettes (Dimara et al., 2005), pour désigner des groupes de firmes à l'intérieur de l'échantillon et cherchent à vérifier l'impact de cette distinction sur les inefficacités révélées.

Lors de l'analyse des mesures d'efficacité nous avons pu mettre en évidence une différence significative de performance entre les systèmes de production tel qu'ils sont représentés par les trois groupes types selon la nature de la ressource d'irrigation. Ainsi pour pouvoir quantifier l'enjeu de la nature de la ressource en mesurant son effet sur les inefficacités révélées nous allons considérer les variables muettes suivantes :

**Priv:** Variable binaire =1 si l'exploitation est du TypeP

**Mix:** Variable binaire =1 si l'exploitation est du TypeM

**Pub:** Variable binaire =1 si l'exploitation est du TypeR

L'analyse de la structure de l'exploitation nous a montré l'importance du parcellement notamment lorsque les parcelles se trouvent éparpillées avec des distances plus au moins grandes qui peuvent aller jusqu'à 5Km. Nous estimons que ce phénomène, dont souffre le secteur agricole Tunisien d'une manière générale, aura plus d'effet sur l'activité en irrigué. Ainsi nous avons retenu comme variable le nombre de parcelles irrigables (**Prcirrig**) et nous anticipons un effet négatif sur l'efficacité des exploitations.

Plusieurs travaux ont tenté de vérifier l'impact de la taille sur l'efficacité technique de la firme. En agriculture cette hypothèse de travail a fait l'objet d'une controverse. En effet certains auteurs trouvent que plus la taille de l'exploitation est grande plus on perd d'efficacité de management et par conséquent on serait techniquement moins efficace (Barrett, 1996). Zaïbet et Dharmapala (1999) trouvent un effet positif de la taille d'exploitation sur l'efficacité technique, mesurée en mode CRS, des exploitations maraîchères Omaniennes. En analysant l'efficacité technique des exploitations brésiliennes Helfand, (2003) signale qu'au delà de 200 ha l'effet de la taille est négative alors qu'il est positif pour les exploitations de taille inférieure à 200 ha. Pour tester cette controverse dans notre étude de cas nous avons retenu comme variable la superficie moyenne par parcelle irrigable (**Sprci**) qui peut traduire la taille de l'exploitation dans la mise en œuvre du processus technologique. Cette variable est calculée en divisant la superficie irrigable par le nombre de parcelle.

L'intensification du facteur terre est un objectif prioritaire dans la mise en eau des périmètres publics irrigués. De même pour les périmètres privés, la disposition d'une ressource en eau incitera l'agriculteur à mettre en culture ces terres d'une saison à une autre. Ainsi la même parcelle peut être cultivée deux fois par an. Mais cette intensification exige une capacité de management plus intense, un savoir-faire plus important et une plus grande disposition en matériel. Nous estimons que cette exigence ne peut pas être sans effet sur la maîtrise du processus technologique et par conséquent nous nous demandons quel serait l'impact de l'intensification (**Tintens**<sup>59</sup>) sur l'efficacité technique? Autrement dit est ce que l'intensification se traduit par une amélioration ou par une détérioration de l'efficacité technique ?

---

<sup>59</sup> Taux d'intensification égale superficie des cultures/superficie irrigable

En matière de mise en œuvre des cultures en irrigué, nous rappelons que l'objectif prioritaire de l'usage de la ressource en eau reste l'irrigation de l'olivier, la pratique des cultures intercalaires concerne principalement la céréaliculture qui s'inscrit dans une tradition paysanne en perspective d'autoconsommation. En revanche nous avons constaté un développement des cultures maraîchères qui concerne les périmètres privés plutôt que les périmètres publics. Ainsi nous estimons que cette orientation nécessite une plus grande aptitude de maîtrise du processus technologique et une forte capacité de management. Par conséquent nous anticipons un impact négatif sur l'efficacité technique au fur et à mesure qu'il y a extension des superficies des cultures maraîchères. Pour cela nous avons retenu comme variable le pourcentage de la superficie du maraîchage par rapport à la superficie des cultures irriguées (*SmrSirrig*). L'analyse statistique de l'ensemble de ces variables est donnée par le tableau 54

**Tableau 54: Statistiques des variables pour l'analyse des déterminants de l'efficacité technique**

Variables	Observations	Moyenne	Min	Max	E. Type
Pub	125	0,24	0	1	0,42
Priv	125	0,37	0	1	0,48
Mix	125	0,38	0	1	0,48
Prcirrig	125	2,04	1	5	1,05
Sprci	125	2,67	0,25	9	1,77
Tintens	125	146,47	33,33	300	40,53
SmrSirrig	125	16,33	0	100	19,03

### 3-2 Analyse des déterminants des performances techniques

Pour analyser les déterminants des inefficacités techniques nous avons retenu les scores d'efficacité technique ( $ET_{vrs}$ ) issu de l'application du modèle DEA en rendements d'échelle variables. Ainsi la structure du modèle Tobit est donnée par la relation suivante :

$$ET_{vrs} = f(Priv, Mix, Sprci, Prcirrig, Tintens, SmrSirrig)$$

L'estimation de ce modèle en utilisant le programme STATA permet de calculer les coefficients paramétriques de chaque variable explicative et d'apprécier son niveau de signification. Ainsi le résultat de ce calcul est donné par le tableau 55 qui montre tout d'abord que les variables explicatives retenues ont un effet d'ensemble significatif sur la variabilité des scores d'efficacité. En effet l'hypothèse nulle que les coefficients de ces variables peuvent

porter simultanément la valeur zéro, est rejetée avec un niveau de signification de 1%. Tous ces coefficients sont de signe négatif traduisant un effet inverse sur l'efficacité technique.

**Tableau 55: Résultat du modèle Tobit pour l'analyse des déterminants de l'efficacité technique en mode VRS**

Chi2 (6)=35,54

Prob>Chi2 = 0,0000

L.L = -54,88

	Coefficient	t	P> t
<b>Priv</b>	-0,174	-1,86	0,065*
<b>Mix</b>	-0,131	-1,40	0,165
<b>Prcirrig</b>	-0,083	-2,52	0,013**
<b>Sprci</b>	-0,065	-3,33	0,001***
<b>Tintens</b>	-0,002	-2,90	0,005***
<b>SmrSirrig</b>	-0,001	-0,71	0,478
<b>Constante</b>	1,63	8,71	0,000***

\*\*\*Significatif à 1%

\*\*Significatif à 5%

\*Significatif à 10%

En retenant la variable (Pub) comme variable de contrôle le coefficient de la variable (Priv), significatif à 10%, montre que l'activité en irrigué au niveau des périmètres privés est moins performante sur le plan technique que celle au niveau des périmètres publics. Le signe négatif du coefficient de la variable (Mix) peut exprimer aussi une faible performance technique des exploitations du TypeM par rapport aux exploitations du TypeR sauf qu'il n'est pas significatif

L'impact du parcellement (Prcirrig) est significatif à 5%. Le coefficient de cette variable montre un signe négatif ce qui prouve que l'ampleur du phénomène va à l'encontre d'une meilleure maîtrise du processus de production. Ainsi nos résultats suggèrent que plus le nombre de parcelle irrigable augmente plus faible serait l'efficacité technique des exploitations.

La taille de la parcelle irrigable (Sprci) montre aussi un effet négatif sur l'efficacité technique. Le coefficient de cette variable est significatif à 1%. Ce résultat suggère que nos exploitations vont perdre de l'efficacité technique au fur et à mesure que la taille de la parcelle irrigable augmente. Ceci signifie que nos exploitations sont plus efficaces sur des parcelles de petites tailles plutôt que de grandes parcelles. Ainsi, ce résultat confirme que les exploitations du TypeP et du TypeM, présentant des superficies irrigables par parcelle plus importantes ne sont pas en mesure de se doter d'une capacité de management aussi importante pour montrer une meilleure efficacité technique pure.

L'intensification du facteur terre ( $T_{intens}$ ) ne semble pas être bien maîtrisé par les irrigants de notre région d'étude qui vont perdre de l'efficacité au fur et à mesure qu'ils montrent une plus grande aptitude à l'intensification. En effet le coefficient de cette variable est aussi négatif et significatif à 1%. Ceci signifie que l'effort d'intensification, révélé par les irrigants, ne fait pas preuve d'une plus grande maîtrise du processus de production.

Enfin, malgré le signe négatif l'extension de la superficie des cultures maraîchères ne semble pas constituer l'un des facteurs qui font perdre de l'efficacité technique chez les irrigants de notre région d'étude. En effet le coefficient de la variable ( $S_{mrSirrig}$ ) est non significatif.

### 3-3 Analyse des déterminants des performances économiques

#### 3-3-1 Les déterminants de l'efficacité au niveau exploitation

Comme nous l'avons constaté l'analyse des performances économiques montre une efficacité réelle qui traduit globalement la même disparité des performances techniques alors que l'efficacité allocative exprime une disparité tout à fait inverse. Pour saisir l'importance de ce résultat et cerner les principaux facteurs qui contribuent notablement à la justification de comportement des irrigants dans l'usage de la ressource en eau et la définition des stratégies productives nous retenons les mêmes variables qui nous ont permis d'expliquer les inefficacités techniques. Les statistiques de ces variables sont données par le tableau 56. Cependant nous estimons que l'hypothèse suivante mérite d'être vérifiée : La perte des performances techniques constatée dans les périmètres privés est compensée par une meilleure performance allocative favorisé par la pratique des cultures maraîchères en tant que cultures de rente. Pour cela nous avons estimé les deux modèles Tobit suivant :

$$ER_{vrs} = f(Priv, Mix, Sprci, Pcirrig, Tintens, SmrSirrig)$$

$$EA_{vrs} = f(Priv, Mix, Sprci, Pcirrig, Tintens, SmrSirrig)$$

Avec  $ER_{vrs}$  les scores de l'efficacité réelle.

$EA_{vrs}$  les scores de l'efficacité allocative

**Tableau 56: Statistiques des variables pour l'analyse des déterminants de l'efficacité réelle et allocative au niveau exploitation**

Variable	Observations	Moyenne	Min	Max	Ecart Type
Pub	86	0,24	0	1	0,432
Priv	86	0,34	0	1	0,47
Mix	86	0,42	0	1	0,49
Sprci	86	2,62	0,25	7	1,68
Tintens	86	145,23	33,33	300	40,72
Prcirrig	86	2,10	1	5	1,02
SmrSirrig	86	18,82	0	100	20,53

Les résultats de l'estimation de ces deux modèles sont donnés par le tableau 57. L'analyse de ces résultats montre tout d'abord que l'hypothèse nulle qui admet un effet nul simultané des variables explicatives sur les scores d'efficacité est rejetée à un niveau de signification de 1% pour l'efficacité réelle et à un niveau de signification de 5% pour l'efficacité allocative ce qui valide notre choix de variables exogènes.

L'estimation du modèle pour l'explication de l'efficacité réelle montre que les coefficients des variables (Priv) et (Mix) sont de signe négatif et significatifs à 5%. Comparé aux performances des exploitations de TypeR, ce résultat confirme que les deux catégories d'exploitations sont moins performantes en matière de gestion optimale des ressources. Les coefficients des variables (Sprci) et (Prcirrig) sont aussi négatif mais non significatifs. L'intensification du facteur (Tintens) montre toujours un effet négatif significatif à 10% alors que l'importance des cultures maraîchères (SmrSirrig) révèle un effet positif mais non significatif sur l'efficacité réelle.

En revanche les résultats de l'estimation du modèle quant à l'explication de l'efficacité allocative montre que tous les coefficients à l'exception de celui de la variable (Prcirrig) sont de signe positif. Les coefficients significatifs sont ceux des variables (Tintens) et (SmrSirrig) ce qui prouve que la rentabilité de l'activité en irrigué est liée à une plus grande aptitude à l'intensification du facteur terre et la pratique des cultures maraîchères. Malheureusement, les exploitations des périmètres publiques sont moins intensives et le maraîchage est pratiquement absent du système de culture ce qui met en jeu la rentabilité de leur activité par rapport à celle des périmètres privés qui montre un niveau d'efficacité plus élevé.

**Tableau 57: Résultat de l'estimation du modèle Tobit au niveau exploitation  
(86 observations)**

	Efficacité réelle			Efficacité allocative		
	Coefficient	t	P> t	Coefficient	t	P> t
<b>Priv</b>	-0,524	-2,60	0,011**	0,152	1,54	0,129
<b>Mix</b>	-0,445	-2,33	0,022**	0,112	1,20	0,235
<b>Sprci</b>	-0,020	-0,49	0,623	0,010	0,47	0,639
<b>Prcirrig</b>	-0,056	-0,85	0,396	-0,015	-0,44	0,660
<b>Tintens</b>	-0,003	-1,92	0,058*	0,001	1,87	0,065*
<b>SmrSirrig</b>	0,002	0,56	0,576	0,003	1,92	0,058*
<b>Constante</b>	1,632	4,26	0,000***	0,281	1,61	0,112
	Chi2 =19,40 Prob = 0,003 LL =-65,91			Chi2 =12,83 Prob = 0,045 L.L =-12,92		

\*\*\*Significatif à 1%

\*\*Significatif à 5%

\*Significatif à 10%

Ainsi nous pouvons suggérer que la décision d'intensification et notamment à travers l'accroissement des superficies des cultures maraîchères procure à l'exploitation une plus grande efficacité allocative et par conséquent une profitabilité meilleure.

### 3-3-2 Les déterminants de l'efficacité au niveau parcelle

La gestion de la parcelle irriguée dépendra en premier lieu de la disponibilité de la ressource en eau. En effet, la totalité des irrigants interrogés aussi bien au niveau des périmètres publics que privés affirment que le choix de l'espèce et de la superficie à cultiver dépendent exclusivement de cette disponibilité. Cette attitude s'attache particulièrement à la nature de la ressource qui montre naturellement une différence nette en matière de liberté d'accès et de disposition selon qu'on est en présence d'un réseau public ou d'une ressource privée. La disparité des efficacités réelles et allocatives entre les parcelles des périmètres publics et celles des périmètres privés met en jeu l'importance de la nature de la source d'irrigation dans la variabilité des scores d'efficacité. Ainsi pour vérifier cette hypothèse nous avons considéré les variables muettes suivantes :

**Ppi:** Variable binaire =1 si la parcelle est irriguée à partir de l'eau du réseau.

**Puits:** Variable binaire =1 si la parcelle est irriguée à partir de l'eau du puits de surface

En vertu du résultat obtenu ci-dessus quant à l'effet de la variable (**Sprci**) dans l'explication des efficacités techniques et allocatives au niveau exploitation nous avons cherché à prouver ce lien en considérant la superficie de la parcelle (**Sup**) comme variable explicative. En fin pour pouvoir confirmer l'importance des cultures maraîchères dans la décision de création de puits de surfaces nous estimons que la variable (**SmrSirrig**) devrait,

de la même manière, expliquer les inefficacités révélées au niveau de la gestion de la parcelle. L'analyse statistique de ces variables explicatives est donnée par le tableau 58:

**Tableau 58: Statistiques des variables pour l'analyse des déterminants de l'efficacité réelle et allocative au niveau parcelle**

Variable	Observations	Moyenne	Min	Max	E. Type
Ppi	89	0,47	0	1	0,50
Puits	89	0,52	0	1	0,50
Sup	89	3,12	0,25	17	2,91
SmrSirrig	89	0,164	0	0,73	0,16

Ainsi nous avons estimé les deux modèles Tobit suivant :

$$ER_{vrs} = f(\text{Puits}, \text{Sup}, \text{SmrSirrig})$$

$$EA_{vrs} = f(\text{Puits}, \text{Sup}, \text{SmrSirrig})$$

Avec  $ER_{vrs}$  les scores de l'efficacité réelle.

$EA_{vrs}$  les scores de l'efficacité allocative

Les résultats de l'estimation de ces modèles sont donnés par le Tableau 59 :

**Tableau 59: Résultats de l'estimation du modèle Tobit au niveau parcelle (89 observations)**

	Efficacité réelle			Efficacité allocative		
	Coefficient	t	P> t	Coefficient	t	P> t
Puits	-0,162	-1,38	0,172	0,098	2,11	0,038**
Sup	-0,022	-1,12	0,268	0,026	3,42	0,001***
SmrSirrig	0,002	0,7	0,485	0,002	2,34	0,022**
Constante	0,3221	3,16	0,002***	0,493	9,18	0,000***
	Chi2 = 7,54 Prob = 0,056 L.L = -62,14			Chi2 = 36,22 Prob = 0,000 L.L = 24,48		

\*\*\*Significatif à 1%

\*\*Significatif à 5%

\*Significatif à 10%

L'analyse des résultats du modèle Tobit au niveau parcelle confirme que la nature de la source d'irrigation joue un rôle important dans la détermination du profit. En effet nous pouvons suggérer que l'irriguant gagne bien en efficacité allocative sur une parcelle irriguée à partir d'un puits de surface. Les coefficients des variables (Sup) et (SmrSirrig) sont aussi positifs et significatifs. Ce résultat montre bien que l'accroissement de ces deux variables entraîne une meilleure efficacité allocative exprimant une meilleure rentabilité de l'activité. Ainsi étant donnée les disponibilités en eau et la souplesse de gestion qu'offre la création d'un puits de surface les irriguants sont plus incités à pratiquer les cultures maraîchères dans l'optique de dégager naturellement les meilleurs profits.

## Conclusion

Sans aucune restriction sur la fonction de production, la méthode DEA nous a permis d'évaluer les performances techniques des systèmes de production. L'analyse des résultats de ce modèle en rendements d'échelle variables montre que l'efficacité technique moyenne de notre échantillon atteint seulement 0,72. Ce résultat suggère que nos exploitations pourraient atteindre le niveau actuel de production tout en économisant jusqu'à 28% des ressources mobilisées. L'usage de la ressource en eau montre un niveau de gaspillage de 32%.

L'analyse des mesures d'efficacité selon la nature de la source d'irrigation montre que les exploitations des périmètres publics (TypeR) sont plus performantes avec une efficacité technique moyenne de l'ordre de 0,87. Le gaspillage du facteur eau atteint seulement 15%. Les exploitations des périmètres privés (TypeP) et du type mixte (TypeM) sont moins performantes et leurs pratiques occasionnent un gaspillage de la ressource en eau d'environ le tiers des quantités consommées. Ce résultat montre que la stratégie de création de puits va à l'encontre d'un usage durable de la ressource alors que la nappe phréatique est déjà surexploitée d'où l'interrogation sur la légitimité d'émergence des exploitations du TypeM. Pour cela nous avons analysé les performances économiques de ces systèmes de production. L'analyse de mesures de l'efficacité allocative montre que les exploitations du TypeP enregistrent une meilleure profitabilité avec une moyenne de 0,73 contre 0,66 pour les exploitations du TypeM et seulement 0,53 pour les exploitations du TypeR. Pour saisir davantage l'importance de la ressource privée dans la réalisation de cette profitabilité nous avons évalué l'efficacité allocative au niveau parcelle en considérant d'un côté des parcelles des périmètres publics et de l'autre côté des parcelles des périmètres privés. L'analyse des scores d'efficacité confirme la supériorité de l'efficacité allocative des périmètres privés avec une moyenne de 0,67 contre 0,47 pour les parcelles des périmètres publics. Ainsi nous pouvons suggérer que la stratégie de création de puits de surface s'explique par la profitabilité de l'activité irriguée à partir de cette ressource et ce au détriment d'un usage rationnel comme nous l'indique l'évaluation des scores de l'efficacité technique.

Enfin, nous avons cherché à identifier les principaux facteurs qui affectent les performances techniques et économiques des exploitations. A partir du diagnostic des conditions des pratiques d'irrigation dans notre région d'étude nous avons constaté que la source d'irrigation, la structure foncière et le système cultural peuvent expliquer la variabilité des performances. Dans cette perspective les résultats de l'estimation du modèle Tobit montrent que l'usage d'une ressource privée fait perdre de l'efficacité technique et améliore l'efficacité allocative. Les structures foncières représentées par le nombre et la superficie moyenne par parcelle montrent aussi un effet négatif sur l'efficacité technique seulement. Concernant le système cultural représenté par le taux d'intensification et l'importance de la superficie des cultures maraîchères par rapport à la superficie irriguée il y a lieu de signaler que l'intensification du facteur terre a un effet négatif sur l'efficacité technique alors que la pratique des cultures maraîchères améliore significativement l'efficacité allocative. Ce résultat affirme que la stratégie de création de puits de surface révèle un comportement de maximisation de profit qui s'appuie sur la pratique des cultures de rente.

## Conclusion générale

Malgré des difficultés et des résultats mitigés, la politique de mobilisation de la ressource en eau et du développement du secteur irrigué a permis l'augmentation de la production en assurant le tiers de la production agricole du pays. Aujourd'hui, une volonté politique vise l'accroissement de cette part pour atteindre 50% à la fin du 11<sup>ème</sup> plan du développement économique (2007-2011). Cet objectif est annoncé alors que la politique de gestion de l'offre de la ressource en eau atteint ses limites. Une politique de gestion de la demande est lancée depuis plus d'une décennie avec l'objectif de promouvoir un usage rationnel de la ressource en eau sans pour autant compromettre les objectifs de production. C'est dans cette perspective que nous avons mené ce travail de recherche en analysant les performances des systèmes de production des exploitations en irrigué dans la région de Sidi Bouzid

L'introduction de l'irrigation dans une région qui souffrait beaucoup de l'aridité de son climat a naturellement transformé le paysage agricole avec un développement socio-économique remarquable. Le développement de l'irrigation dans la région est l'œuvre de l'Etat avec l'aménagement des périmètres publics irrigués mais aussi de l'initiative privée avec la prolifération spectaculaire des puits de surface. Au fil des années la région s'est affirmée comme un fournisseur potentiel des marchés régionaux en produits maraîchers (15 à 18% de la production nationale). L'importance de ce résultat ne peut pas occulter les retombés négatifs d'un usage non raisonné de la ressource en eau. Alors que les périmètres publics enregistrent des faibles consommations en eau; l'extension des périmètres privés s'est traduite par une surexploitation des nappes phréatiques et une dégradation continue de la fertilité du sol. Compte tenu des conditions sociales et économiques de l'exercice de l'activité en irrigué dans la région, cet usage non raisonné remet en question les stratégies des irrigants. La création de puits de surface par certains irrigants, alors qu'ils disposent déjà d'une main d'eau publique, ne peut que susciter des interrogations sérieuses quant à l'efficacité de telle stratégie et son impact sur l'usage de la ressource en eau.

Pour appréhender les conditions d'exercice de l'activité en irrigué dans la région de Sidi Bouzid nous avons réalisé des enquêtes de terrain auprès d'un échantillon de 150 exploitations en irrigué des périmètres publics (TypeR) et privés (TypeP) mais aussi des exploitations ayant accès aux deux sources d'irrigation (TypeM).

Ainsi l'analyse des données recueillies montre que la structure du ménage est globalement la même chez les trois types d'exploitation alors que la structure de l'exploitation fait apparaître des disparités plus au moins importantes. La taille de l'exploitation et le potentiel irrigable sont naturellement plus importants chez les exploitations du TypeM. En matière de système de culture nous signalons une très faible place voire l'absence totale des cultures maraîchères chez les exploitations du TypeR. Selon nos enquêtes ces dernières évitent même les cultures intercalaires essentiellement pour des raisons de disponibilité de l'eau et se contentent d'irriguer les oliviers. Ces pratiques se traduisent naturellement par des disparités de consommation en eau et d'intensification de facteur terre. Avec une moyenne globale de 2100 m<sup>3</sup>/ha, la consommation en eau faible et loin d'être celle espérée par les planificateurs. L'analyse des résultats économiques montre l'importance des charges d'irrigation qui représentent en moyenne 39% du total des charges à l'hectare irrigué. La productivité moyenne de l'eau consommée atteint 0,469 TND/m<sup>3</sup>. Cette productivité est plus grande au niveau des périmètres privés qui réalisent en moyenne 0,646 TND contre 0,536 TND au niveau des périmètres publics. Les exploitations du TypeM réalisent la meilleure productivité par rapport aux autres types d'exploitation. Nous signalons aussi la disparité des marges avec une marge à l'hectare irrigué plus importante chez les exploitations du TypeR.

Ces résultats même s'ils caractérisent les systèmes de production ne permettent pas de les comparer en matière d'usage optimal de la ressource en eau. Pour cela nous avons développé un modèle DEA (Data Envelopment Analysis) pour la mesure de l'efficacité technique. Les résultats de ce modèle montrent tout d'abord que les exploitations en irrigué de notre région d'étude présentent des inefficacités globales d'usage des ressources qui atteignent en moyenne 28%. Ceci signifie qu'au niveau actuel de production nos exploitations peuvent faire des efforts pour économiser 28% des ressources mobilisés. Les exploitations du TypeR montre une efficacité technique de leur système de production bien supérieure à celle des autres types. En effet, en matière d'utilisation de la ressource en eau, ces exploitations enregistrent un gaspillage de 15% seulement alors que ce taux peut atteindre 41% chez les exploitations du TypeP et 35% chez les exploitations du TypeM. Ce résultat remet en question la stratégie de création de puits de surface comme deuxième source d'irrigation.

Ainsi nous avons cherché à mesurer l'efficacité allocative de nos exploitations. Les résultats montrent que les performances économiques des exploitations du TypeP sont bien supérieures à celles des autres types. Les exploitations du TypeP enregistrent une efficacité allocative moyenne de 0,73 contre 0,66 pour les exploitations du TypeM et seulement 0,53 pour les exploitations du TypeR. Ce résultat montre que, malgré leur performance technique, les exploitations du TypeR ne manifestent pas une meilleure aptitude à atteindre une profitabilité maximale. Ainsi la stratégie de création de puits de surface comme deuxième source d'irrigation semble être justifiée par une logique de maximisation du profit.

En examinant les déterminants des inefficacités techniques et allocatives, la pratique des cultures maraîchères semble constituer un facteur majeur dans l'orientation de la stratégie des irrigants pour la création de puits de surface. En effet en s'attachant à la maximisation de son profit l'irrigant privilégie ces cultures pour lesquelles l'irrigation à partir du réseau public pose des difficultés de disponibilité de la ressource avec des risques de pertes plus élevés. L'analyse des déterminants des inefficacités montre aussi que la taille et le nombre de parcelles irrigables ainsi que l'intensification du facteur terre ont un effet négatif sur les performances techniques. Ce résultat suggère que la limitation des superficies et la lutte contre la fragmentation de l'exploitation se traduiront par des économies de ressources. De même l'intensification du facteur terre à laquelle s'attachent les planificateurs dans l'aménagement des périmètres irrigués n'implique pas forcément un usage optimal des ressources. Ainsi la réalisation de cet objectif nécessite une réflexion plus approfondie dans la mise en œuvre du processus pour éviter que les bienfaits de l'intensification ne se soldent pas par l'aggravation du gaspillage de la ressource.

Cependant nous tenons à rappeler que nos résultats sont relatifs aux conditions de l'exercice de l'activité en irrigué dans la région de Sid Bouzid Ouest et ne peuvent pas être extrapolés quelles qu'elles soient même si certaines recommandations (organisation foncière, maîtrise de la disponibilité et de la distribution de l'eau au niveau des ppi, encadrement et soutien des irrigants) semblent valables pour d'autres périmètres irrigués. Nous ne nions pas aussi les limites de nos travaux. La fiabilité des données recueillies tient toujours à la sincérité et la crédibilité des déclarations des producteurs ce qui nous a obligé parfois de réviser certaines aberrations.

Nous rappelons aussi que notre approche de mesure de l'efficacité incarne des limites conceptuelles (approche déterministe) et opérationnelles (sensibilité au changement de variables).

Alors même si nous avons testé la robustesse de notre modèle DEA notre aptitude aux choix des variables et à l'identification de la technologie de production n'exclue pas les limites de sensibilité de la méthode. Nous signalons aussi que nous avons analysé les performances des exploitations relatives aux conditions de fonctionnement d'une seule campagne (2003), déjà pluvieuse, alors qu'il serait plus judicieux de considérer au moins trois campagnes pour tenir compte de l'impact des aléas climatiques et économiques.

En dépit de ces faiblesses, notre contribution à l'analyse des performances des systèmes de production en irrigué apporte des éléments de réflexion quant à la réalité de l'exercice de l'activité en irrigué dans la région de Sidi Bouzid. En effet, même si les irrigants de la région ont acquis une large expérience, il nous semble qu'ils sont insuffisamment sensibilisés quant à l'importance de mieux valoriser la ressource en eau. Face à l'aridité du climat, l'eau d'irrigation est considérée toujours comme un facteur de survie. Ainsi il nous semble que nos irrigants sont plus attachés à la disposition de la main d'eau plutôt qu'à son usage optimal. D'ailleurs comme nous l'avons montré, l'importance de la pratique des cultures maraîchères tient principalement à la liberté d'accès favorisée par la création d'un puits de surface alors que les périmètres privés montrent un niveau de gaspillage de la ressource plus important. La comparaison entre les périmètres publics et privés ne fait que dévoiler la nécessité de mettre en place un programme de suivi et de contrôle de l'usage de la ressource en eau dans la perspective d'une meilleure utilisation et valorisation de la ressource publique et d'un usage durable de la ressource privée.

## *Bibliographie*

**AMARA N. et Romain R., 2000** –Mesure de l'efficacité technique : Revue de la littérature- In la Série Recherche des cahiers du CREA, U. Laval Canada, Septembre 2000, 32 pages.

**ABAAB A., 1999** -Modernisation agricole et ses effets sur les systèmes de production agricole: cas de la région de Sidi Bouzid en Tunisie centrale- Thèse du doctorat en sciences biologiques appliquées (section agronomie), Université de GAND, Belgique, année académique 1998-1999, 330 p.

**ATTIA H., 1998** –Le développement agricole à Sidi Bouzid : Histoire et perspectives- Journées d'échanges de connaissances sur le développement rural, Tunis 4-5 mai 1998, Coopération Tunisie-FIDA, 20 pages.

**AMAMI S., 1986** –« La mise en valeur agricole en Tunisie »- document rédigé en arabe, Centre de recherche en génie rural, 1986, 64 pages.

**ATTIA H., 1985** –Hydraulique étatique, hydraulique paysanne, l'exemple de la Tunisie centrale- In les politiques de l'eau en Afrique, sous la direction de G. Conac, C.Savonnet-Guyot et F. Conac, Université de Paris I, 1985, pp. 697-703.

**ATTIA H., 1977** –Les hautes steppes tunisiennes...de la société pastorale...à la société paysanne- Thèse de doctorat d'état ès lettres, université de Paris VII, mai 1977, 721 pages.

**AIGNER D.J., Lovell C.A.K. et Schmidt P., 1977** –Formulation and estimation of stochastic frontier production function models- In Journal of econometrics 6:1 pp.21-37.

**AIGNER D.J. et Chu S., 1968** –On estimating the Industry Production Function- In American Economic Review (58) pp.826-839.

**BACHTA M.S. et Elloumi M., 2005**– Analyse des politiques hydrauliques en Tunisie : quelques éléments d'évaluation- In «Les défis de la terre: L'agriculture en Espagne et en Tunisie face aux défis de la libéralisation», Sous la direction de F. Cena, R. Gallardo, M. Elloumi et M.B. Sai, Cérès-éditions et IRESA 2005, pp.165-180.

**BLANCARD S., Boussemart J.P. et Kerstens K., 2003** –L'influence des contraintes de financement de court terme sur le profit des exploitations agricole : une approche non paramétrique- In Economie et Prévision N° 159 2003-3, pp.71-81.

**BENBLIDIA M., Margat J., Vallée D., 1998** –Pénuries d'eau prochaines en Méditerranée?- Futuribles, n° 233, 1998, pp 5-29.

**BARRETT, C.B. 1996** –On price risk and the inverse farm size-productivity relationship- Journal of Development Economics, 51(2), pp. 193-216.

- BOUSSEMART J.P., Dervaux B., 1994** -Diagnostic de l'efficacité productive par la méthode DEA, application à des élevages porcins- In Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales, edit INRA, N°31-1994, pp.44-58.
- BRAVO-URETA B.E. et Pinheiro A.E., 1993** -Efficiency analysis of developing country agriculture: a review of the frontier function literature- In Agricultural Research Economic Review, 22, pp.88-101.
- BATTESE G.E., 1992** -Frontier production functions and technical efficiency: a survey of empirical application in agricultural economics- In Agricultural economics, 7, pp.185-208.
- BANKER R. D et Maindiratta A., 1988** -Nonparametric analysis of technical and allocative efficiencies in production - In Econometrica 56:5, November 1988, pp. 1315-1332.
- BADUEL P.R., 1985** -Action sur les factures de production et dépendance paysanne : l'exemple du développement hydro-agricole tunisien- In les politiques de l'eau en Afrique, sous la direction de G. Conac, C.Savonnet-Guyot et F. Conac, Université de Paris I, 1985, pp. 704-705.
- BANKER R. D., 1984** -Estimating most productive scale using data envelopment analysis- In European Journal of Operational Research (17) 1984, pp.35-44.
- BANKER R. D., Charnes A., Cooper W.W., 1984** -Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis- In Management Science, 30, 9, pp. 1078-1092.
- Banque Mondiale, 1984** -Staff appraisal report Tunisia, Sidi Bouzid irrigation project- Report N° 4217-TUN, 4 Novembre 1984, 55 pages.
- BUREAU J.C., 1983**- La mesure de l'efficacité de la production : le cas des exploitations agricoles- Mémoire pour l'obtention d'un DEA, Université de Paris I, Patheon-Sorbonne, Novembre 1983, 115 pages.
- BERGMANN D.R., 1981** -Diversité des bas revenus et diversité des mesures collectives- Notes rapides sur la politique agricole n°3, INRA, Paris, Octobre 1981, 12 pages.
- COOPER W.W., Seiford L.M., Tone K., 2006** -Introduction to Data Envelopment Analysis and its uses- edit. Springer, 2006, 354 pages.
- CRDA Sidi Bouzid, 2006** -Situation et perspective du secteur agricole dans la région de Sidi Bouzid- Etude réalisée par le CNEA, Rapport définitif rédigé en arabe, juillet 2006, 66 pages.
- CHAIEB H., 2005** -Situation des ressources en eau en Tunisie- Rapport rédigé en arabe, Ministère de l'agriculture, DGR, Février 2005, 5 pages.
- CHRAGA G. et Chemak F., 2003** -Les groupements d'intérêt collectif, un outil stratégique pour une gestion participative de la ressource en eau cas des GIC de Mahdia- papier présenté

à la 20<sup>ème</sup> conférence Européenne de la CIID Montpellier, 17-19 septembre 2003 -Irrigation et gestion concertée des conflits d'usages dans la région Euro-méditerranéenne, 18 pages.

**CRDA Sidi Bouzid, 2003** –Rapports sectoriels sur le développement agricole dans la région de Sidi Bouzid- rapport rédigé en arabe, Mars 2003, 67 pages.

**CHEMAK F., 2000** –Système foncier et mutations du système agraire dans le semi-aride Tunisien : Cas de la communauté de Zoghmar- Mémoire de DEA, ENSA Montpellier 2000, 113 pages.

**COELLI T., Rao P. et Battese G.E., 1998** –An Introduction to efficiency and productivity analysis- Kluwer Academic Publishers, Boston.

**CRDA Sidi Bouzid, 1998** –Diagnostic de périmètres irrigués du gouvernorat de Sidi Bouzid (1996-1997)- Rapport (en arabe) de l'unité de suivi et d'évaluation des périmètres irrigués, février 1998, 45 pages.

**CHAFFAI M.E., 1997** –Estimation de frontières d'efficience : développements récents- In revue d'économie du développement N° 3, Septembre 1997, pp. 33-67.

**CHARNES A., Cooper W.W. et Rhodes E., 1981** –Evaluating program and managerial efficiency: An application Data Envelopment Analysis to program follow through- In Management Science, Vol. 27, N°6, 1981, pp.668-697.

**CARLES R., 1979** –L'efficacité économique des exploitations agricoles françaises produisant des céréales, du lait ou des porcins- Rapport pour la 3<sup>ème</sup> session du groupe de travail mixte FAO/CEE sur les structures agraires et la rationalisation des exploitations, INRA-ESR Thiverval-Grignon, Mai 1979, 50 pages.

**CHARNES A., Cooper W.W. et Rhodes E., 1978** –Measuring the efficiency of Decision Making Units- European Journal of Operational Research 2:6 November 1978, pp.429-444.

**CONAC F., 1978** –Irrigation et développement agricole : l'exemple des pays méditerranéens et danubiens- Edit C.D.U et SEDES, 3<sup>ème</sup> trimestre 1978, 291 pages.

**DIMARA E., Pantzios C.J., Skuras D., Tsekouras K., 2005** –The impact of regulated notions of on farm efficiency: A DEA application- In European Journal of Operational Research 161 (2005), pp. 416-431.

**DAOUD A., 1995** –Les périmètres publics irrigués de la région de Sidi Bouzid (hautes steppes tunisiennes) politiques de l'Etat et stratégie paysannes- In «Politiques agricoles et stratégies paysannes au Maghreb et en méditerranée occidentale» sous la direction de M. Elloumi, edit ALIF et IRMC 1995, pp. 483-502.

**DHIABI A., 1993**- Comportement des agriculteurs et surexploitation des nappes phréatiques: le cas de la zone de Gamouda- Thèse master, CIHEAM-IAMM, Juin 1993, 121pages.

- DARGOUTH S., 1979** –Problèmes des périmètres publics irrigués en Tunisie- In Revue tunisienne de géographie, faculté des lettres et des sciences humaines de tunis, 1979, pp.3-25.
- DEBREU G., 1951** –The coefficient of ressource utilisation- In *Econometrica* 19:3 (Juillet) pp.273-292.
- ENNABLI N., 1995** –L'irrigation en Tunisie- Institut National Agronomique de Tunisie, Département de Génie rural, des eaux et des forêts, 1995, 463 pages.
- FIDA, 1996** –Projet de développement de l'irrigation dans le gouvernorat de Sidi Bouzid : rapport d'évaluation terminale- Rapport N°.0727-TN, Novembre 1996, 88 pages.
- FAÏRE R., Grosskopf S., Norris M. et Zhang Z., 1994** –Productivity growth, technical progress et efficiency change in industrialized countries- In *American Economic Review* 84, pp.66-83.
- FAÏRE R., Grosskopf S. et Lee H, 1990** – A Nonparametric approach to expenditure-constrained profit maximisation- *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 72, n°3, pp.574-581.
- FAÏRE R., Grosskopf S., Lindgren B et Roos P., 1989** –Productivity developments in Swedish Hospitals: A Malmquist Output Index approach- Discussion paper N° 89-3, Southern Illinois University, Illinois.
- Faïre R. et Grosskopf S., 1983** –Measuring congestion in production- In *Zeitschrift für Nationalökonomie*, 43, pp. 257-271.
- FAÏRE R., Lovell C.A.K, 1978** -Measuring the technical efficiency of production- In *Journal of Economic Theory* 19:1, octobre 1978, pp.150-162.
- FARRELL M.J. et Fieldhouse M., 1962** –Estimating efficient production functions under increasing returns to scale- In *Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General*, 125, Part 2, pp. 252-267.
- FARRELL M.J., 1957**-The measurement of technical efficiency- In *Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General*, 120, Part 3, pp.253-281.
- GAN A. et El Amrani M., 2005** – Dynamiques institutionnelles et gestion des risques hydriques en Tunisie et au Maroc : Vers un développement durables ?- In Journées de la SFER « Les institutions du développement durable des agricultures de Sud, Montpellier 7-9 novembre 2005, 17 pages.
- GUESMI A., 1991**- De l'économie pastorale à l'agriculture irriguée : transformation des systèmes productifs dans les hautes steppes tunisiennes (Sidi Bouzid)- Thèse Master of Science, CIHEAM-IAMM, Février 1991, 181 pages.

**HELFAND S.M., 2003** –Farm size and the determinants of productive efficiency in the Brazilian Center-West- 25<sup>th</sup> International Conference of the IAAE, Durban, South Africa, August 16-22,2003, 14 pages.

**HAMDANE A., 2002** –L'irrigation en Tunisie- Ministère de l'agriculture, DGGR, mai 2002, 58 pages.

**HAMDI S., 1997** –Usage agricole de l'eau et impacts des politiques de tarification: application au PPI de Kalaat Landlouss dans la basse vallée de la Medjerda- Collection Thèses et Masters, N° 49, CIHEAM-IAMM 1999, 212 pages.

**HJALMARSSON L., Kumbhakar S.C. et Heshmati A., 1996** –DEA, DFA and SFA : a comparaison- In Journal of Productivity Analysis, 7, juillet 2000, pp.22-37.

**HASSAINYA J., 1991** –Irrigation et développement agricole : L'expérience tunisienne- In Options Méditerranéennes, Série B : Etudes et Recherches n° 3, CIHEAM/INAT, 1991, 217 pages.

**JACQUET F. et Flichman G., 1988** –Intensification et efficacité en agriculture- In Economie Rurale, N°183, Janvier-Fevrier, 1988, pp. 49-54.

**JONDROW J., Lovell C.A., Materov I.S. et Schmidt P., 1982** –On the estimation of technical inefficiency in Stochastic Frontier Production Function Model- In Journal Econometrics 19: pp. 233-238.

**KARAGIANNIS G., Tzouvelekas V. et Xepapadeas A., 2003** –Measuring irrigation water Efficiency with a stochastic production frontier: An application to Greek out-of-season vegetable cultivation- In Environmental and Resource Economics 26: 2003, Kluwer Academic Publishers, pp.57-72.

**KOOPMANS T.C., 1951** –An analysis of production as an efficient combination of activities- In Koopmans T.C. ed., *Activity analysis of production and allocation*, Cowles Commission for research in economics, Monograph n°13, New York, John Wiley and Sons, Inc.

**LATRUFFE L., Balcombe K., Davidova S. et Zawalinska K., 2002a** – Determinants of technical efficiency of crop and livestock farms in Poland- working paper 02-05, Aout 2002, INRA, unité d'Economie et sociologie rurales renne, 31 pages.

**LATRUFFE L., Balcombe K., Davidova S. et Zawalinska K., 2002b**- Technical and scale efficiency of crop and livestock farms in Poland: Does specialisation matter? - working paper 02-06, October 2002, INRA, unité d'Economie et sociologie rurales renne, 41 pages.

**LACHAAL L., Chahtour N. et Thabet B., 2002** –Technical efficiency of dairy production in Tunisia: a data envelopment analysis- In New Medit N°3, Septembre 2002, pp.22-26.

**LOUATI M.H., Khanfir R., Alouini A., El Euch M.L., Marzouk A., Frigui L., 1998** –Eau XXI, stratégie du secteur de l'eau en Tunisie à long terme 2030- Ministère de l'agriculture, mai 1998, 89 pages.

**Ministère de l'agriculture, 2005** -Budget économique pour l'année 2006- octobre 2005.

**Ministère de l'agriculture, 2004**- Rapport sur le programme national de l'économie en eau d'irrigation- Rapport rédigée en arabe, Décembre 2004, 21 pages.

**MURILLO-ZAMORANO L.R. et Vega-Cervera J.A., 2001**-The use of parametric and non-parametric frontier methods to measure the productive efficiency in industrial sector: A comparative study- In international journal of production economics 69(2001) Edit ELSEVIER, pp.265-275.

**Ministère de l'agriculture, 2001** –Plan guide relatif à la mise en œuvre de gestion en temps réel des ressources en eau- Projet gestion optimale des ressources en eau, Chapitre 1: le système hydraulique concerné par la gestion intégrée en temps réel des ressources en eau, juillet 2001, 76 pages.

**MBAGA M., Romain R., Larue B. et Lebel, 2000** – Assessing technical efficiency of Quebec Dairy Farms- In la Série Recherche des cahiers du CREA , Octobre 2000, 22 pages.

<http://www.crea.ulaval.ca/Publications/Serie%20de%20recherche/2000/SR-00-10.pdf>

**Ministère de l'agriculture, 2000** –Stratégie d'accroissement et de diversification de la production agricole et de gestion des excédents- Rapport (en arabe) de la comité sectorielle des légumes, février 2000, 33 pages.

**MAO W. et Koo W.W, 1997** –Productivity growth, technical progress, and efficiency change in Chinese agriculture after rural economic reforms: A DEA approach- In China Economic Review, Volume 8, Number 2, 1997, pp.157-174.

**Ministère de l'agriculture, 1997** –Etude sur la stratégie des ressources naturelles- Rapport final, Partie 2, Volume 1 : Bilan stratégique, avril 1997.

**Ministère de l'agriculture, 1995** –Etude de la gestion et de la tarification de l'eau d'irrigation au niveau des périmètres irrigués, diagnostic de la gestion actuelle- Etude réalisée par le CNEA, volume I : rapport général, Octobre 1995, 145 pages.

**Ministère de l'agriculture, 1994** –Les périmètres irrigués- Rapport en arabe, 10 pages.

**MARSAL P., 1982** –Quelques éléments de réflexion pour une étude sur l'efficacité de la production agricole- INRA, Mai 1982, 21 pages.

**MARGAT J., 1992** – Prospective des besoins et des ressources en eau des pays africains riverains de la Méditerranée : Contributions du Plan Bleu- Revue Canadienne d'Etudes du Développement, 1992, numéro spécial.

- MOUSSA M.L.F, 1988** –L’Etat et l’agriculture en Tunisie : Essai sur l’intervention de l’Etat dans le secteur agricole- Imprimerie officielle de la république Tunisienne,1988, 634 pages.
- MANSOUR A., 1980** –Le secteur irrigué en Tunisie- Ministère de l’agriculture (DPSAE), 30 pages.
- MEEUSEN W. et Van Den Broeck J., 1977** –Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed errors- In International Economic Review 18:2 pp.435-444.
- PASTOR, J.T., Ruiz J.L., et Sirvent I., 1999** –An enhanced DEA Russel-Graph Efficiency Measure- In European Journal of Operational Research 115, pp.596-607.
- PIESSE J., Thirtle C. et Turk J., 1996** –Efficiency and ownership in Slovene Dairing: A comparaison of econometric and programming techniques- In journal of comparative economics 22, 1996, pp.1-22.
- PIOT I., 1994** –Mesure non paramétrique de l’efficacité- In Cahiers d’Economie et de Sociologie Rurales, edit INRA, n°31-1994, pp.14-41.
- PIOT I. et Vermersch D., 1993** –Mesure non paramétrique des efficacités : une approche duale- In Methodes & Instruments, n°3, INRA-ESR, 1993, 45 pages.
- RAY S.C., 2004** -Data Envelopment Analysis: Theory and techniques for economics and operation research- edit Cambridge University Press, 353 pages.
- Reinhard S., Lovell C.A., Thijssen G. J., 2000** -Environnemental efficiency with multiple environmentally detrimental variables ; estimated with SFA and DEA- In European Journal of Opérational Research 121 (2000) Edit ELSEVIER, pp. 287-303.
- SHIDEED K., Oweis T.Y., Gabr M. et Osman M., 2005** –Assessing On-Farm water-Use Efficiency: A New Approach- ICARDA, Aleppo, XIV + 86 pages.
- SHAFIQ M. et Rehman T., 2000** –The extent of ressource use inefficiencies in cotton production in Pakistan’s Punjab: an application of Data Envelopment analysis- In Agricultural Economics 22 (2000), edit ELSEVIER, pp.321-330.
- SINGH S., Coelli T. et Fleming E., 2000** –Performance of Dairy Plants in the cooperative and private sectors in India- CEPA working paper 2/2000, Departement of Econometrics, University of New England, Amidale, NSW, Australia.
- ARMA K.R., Leung PS, Zaleski H.M., 1999** -Technical, allocative and economic inefficiencies in swine production in Hawaii : a comparaison of parametric and non parametric approaches- in Agricultural Economics 20 (1999), edit ELSEVIER, pp. 23-35.

- SHARMA K.R., Leung PS., Zaleski H.M., 1997** –Productive efficiency of the swine industry in Hawaii: Stochastic Frontier vs. Data Envelopment Analysis- In Journal of Productivity Analysis, 8, pp.447-459.
- SEIFORD L.M., 1996** –Data Envelopment Analysis: the evolution of the state of the art (1978-1995)- In Journal of Productivity Analysis, 7, pp.99-138.
- SGHAIER M., 1995** -Tarification et allocation optimale de l'eau d'irrigation dans les systèmes de production de la région oasienne de Nefzaoua (Sud de la Tunisie)- Thèse Doctorat, Université Gent Belgique, 1995, 234 pages.
- SIMIONI M., 1994** –Avant-propos- In Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales, edit INRA, N°31-1994, pp.5-11.
- SAMUELSON P.A., 1965** –Les fondements de l'analyse économique, Paris, Gauthier-Villars.
- SHEPHARD R.W., 1953** –Cost and production fonctions- Princeton University Press.
- THABET C., L.P. Mahé et Y. Surry, 2005** –La tarification de l'eau d'irrigation en Tunisie: Une analyse en équilibre général- In Economie Rurale 285/Janvier-Février 2005, pp.51-69.
- TREYER, 2002** –Analyse des stratégies et perspectives de l'eau en Tunisie : Stratégies à long terme de gestion de la demande en eau- PNUE/Plan Bleu, novembre 2002, 53 pages.
- THANASSOULIS E., 2001**-Introduction to the theory and application of Data Envelopment Analysis: A foundation text with integrated software- edit Kluwer Academic Publishers, 281 pages.
- THIAM A., Bravo-Ureta B.E., et Rivas T.E., 2001**- Technical efficiency in developing country agriculture: a meta-analysis- In Agricultural Economics 25 (2001) , Edit ELSEVIER pp. 235-243.
- TOBIN J., 1958** –Estimation of relationships for limited dependent variables- In Econometrica, vol. 26, n°1, Janvier 1958, pp.24-36.
- VARIAN Hal R., 1994**-Introduction à la microéconomie- Traduit de l'anglais par Bernard Thiry, 3<sup>ème</sup> édition, De Boeck & Larcier s.a.,1994,723 pages
- WILSON P., D. Hadley et C. Asby, 2001** –The influence of management characteristics on the technical efficiency of wheat farmers in eastern England- In Agricultural Economics, n°21, Edit ELSEVIER, 2001, pp.329-338.
- ZAIBET L. et Dharmapala P.S., 1999** -Efficiency of Government-supported horticulture : the case of Oman- In Agricultural Systems 62 (1999), edit ELSEVIER, pp. 159-168.

# *Annexes*

# ANNEXE 1

## Evolution des emblavures et de la production au niveau du gouvernorat de Sidi Bouzid

Année	Arboriculture		Olivier		Céréales		Maraichages		Fourrages	
	Superficie (ha)	Production (T)	Superficie (ha)	Production (T)	Superficie (ha)	Production (qx)	Superficie (ha)	Production (T)	Superficie (ha)	Production (T)
1980	244232	45488	151941	35000	VM	VM	7650	100930	1460	28100
1981	246450	33875	152591	26007	VM	VM	7945	233132	979	23264
1982	249291	32087	152591	25940			7480,15	111922	1522	35928
1983	252709	25194	153149	17360			9719	175021	1630	41670
1984	248448	12735	153812	VM			10839,7	216036	2300	63500
1985	250066	70486	153992	55798			10106,7	218119	2750	81700
1986	250040	29145	153272	17697	2660	32073	VM	VM	1470	35790
1987	252083	57150	153396	40130	98300	417716	11280,95	232730	3283	90080
1988	256172	10535	153839	4032	18832	55645	9977,2	176952	3380	115140
1989	254684	44495	153979	31220	141675	178000	10956,35	225021	VM	VM
1990	260284	51260	157561	30200	74122	1033800	13611,7	243078	VM	VM
1991	271284	46635	164614	32000	144260	2080500	15596,4	307646	VM	VM
1992	280300	97090	169254	80000	84060	521503	11689,75	306042	VM	VM
1993	284327	60750	172268	45000	115000	700000	12043	274188	6564	20050
1994	288629	62922	173968	48000	78000	278250	13513	313811	7260	29267
1995	289862	23839	174418	14000	50185	200000	14315	330122	7335	120800
1996	290462	20827	174560	8000	163790	1978123	15972	373825	7036	25411
1997	292124	95780	175760	85000	20280	353810	13687	320366	5728	145450
1998	279348	31419	184562	21000	59775	353800	13862	314380	6503	170600
1999	281627	52100	186181	38100	58600	448300	14049	340448	7540	191930
2000	284714	58718	188598	44000	87010	432000	14137	355934	8160	235110
2001	256559	47947	190126	38600	30910	421520	13110	317925	8475	226270
2002	261192	14979	193299	7340	49760	400790	16163	350093	9172	255331
2003	266587	43951	196926	33000	73800	1081860	14609	346166	11111	263095
2004	271278	156815	200282	142675	101370	723483	13592	389155	11357	249153

VM : Valeur manquante

Source : CRDA Sidi Bouzid

## ANNEXE 2

### Evolution des emblavures et de la production des cultures irriguées dans le Gouvernorat de Sidi Bouzid

Année	Superficie ( ha )			Production ( T )		
	Maraîchage	Céréales	Fourrages	Maraîchage	Céréales	Fourrages
1994	13513	8100	7260	313811	24700	29267
1995	14315	10440	7335	330122	20000	120800
1996	15972	10890	7036	373825	29071	25411
1997	13687	10380	5728	320366	35381	145450
1998	13862	10850	6503	314380	35090	170600
1999	14049	12740	7540	340448	42830	191930
2000	14137	12210	8160	355934	42285	235110
2001	12420	12750	8475	298880	42152	229230
2002	16163	12422	9172	350093	40079	255331
2003	14609	12400	8781	346166	45409	226175
2004	13592	12140	9167	389155	43060	211721

Source : CRDA Sidi Bouzid

### ANNEXE 3

#### Caractérisation des périmètres publics irrigués à Sidi bouzid Ouest

	Sidi Sayeh 1	Sidi Sayeh 2	Ouled Brahim	El houajbia	El frayou	Bir Badra	Om laadham
Superficie irrigable	162	240	154	187	75	94	160
Superficie irriguée	162	240	120	120	40	25	160
Taux d'utilisation (%)	100	100	77	64	53	26	100
Nombre d'exploitation	101	200	180	63	79	84	209
Superficie moyenne par exploitation	1,61	1,2	0,85	2,97	0,95	1,12	
Debit	130 l/s	30 l/s	55 l/s	65 l/s	38 l/s	35 l/s	95 l/s
Eau pompée (2002)	1429267	539160	923346	413098	433710	8613	704000
Eau vendu (2002)	1076442	422840	554012	404625	345845		371000
Taux de perte (%)	24,7	21,6	40	2%	20,3		47,3
Nombre de exp/puits	9/9	26/36	37/37	3/9	0	37/43	51/100
Occupation du sol							
Olivier	63		80	150	20	60	150
Grenadier	25		30				8
Abricotier	62			6			
Pistachier			30				
Amandier			14	20	20	5	
Céréales			80	140	25	15	35
C.M d'hiver			5	2	14	2	26
C.M d'été			8	13	20	5	33
fourrages	40		63	60	11	13	27
Serres	90						
Prix du m <sup>3</sup> (TND)	0,058	0,058	0,085	0,068	0,068	0,070	0,068

Source : CRDA Sidi Bouzid, 2003

## ANNEXE 4

Statistiques des variables de la matrice inputs-outputs pour l'application du modèle DEA

Var	Moyenne				Minimum				Maximum				Ecart type			
	R	P	M	T	R	P	M	T	R	P	M	T	R	P	M	T
Prod	1801	6319	6684	5375	0	229	680	0	6460	20982	29208	29208	1792	5460	6468	5636
Arb	874	1371	2079	1524	0	0	0	0	3799	5000	7800	7800	1021	1311	1923	1585
Cult	927	4948	4604	3851	0	0	0	0	6000	20476	28110	28110	1302	5220	5672	5044
Rex	1459	1092	923	1115	0	0	0	0	12000	18000	8500	18000	2273	2899	1681	2332
Terre	1,91	5,27	7,26	5,23	0,25	1	1,5	0,25	10	17	20	20	2,02	3,18	4,16	3,94
Mecan	140	543	526	440	22	28	40	22	425	2800	1550	2800	107	540	355	433
Fertil	81	424	263	280	9	11	11	9	299	2034	999	2034	90	441	240	337
Eau	5514	19600	15632	14696	720	1745	924	720	23904	130086	52940	130086	4872	21877	13234	16713
Mof	3,03	4,04	4,29	3,89	1	1	1	1	7	8	10	10	1,56	1,97	1,92	1,91
Fam	5,86	6,78	7,29	6,76	1	2	1	1	9	11	14	14	2,2	2,08	2,96	2,52

R : Exploitations TypeR (30 observations)

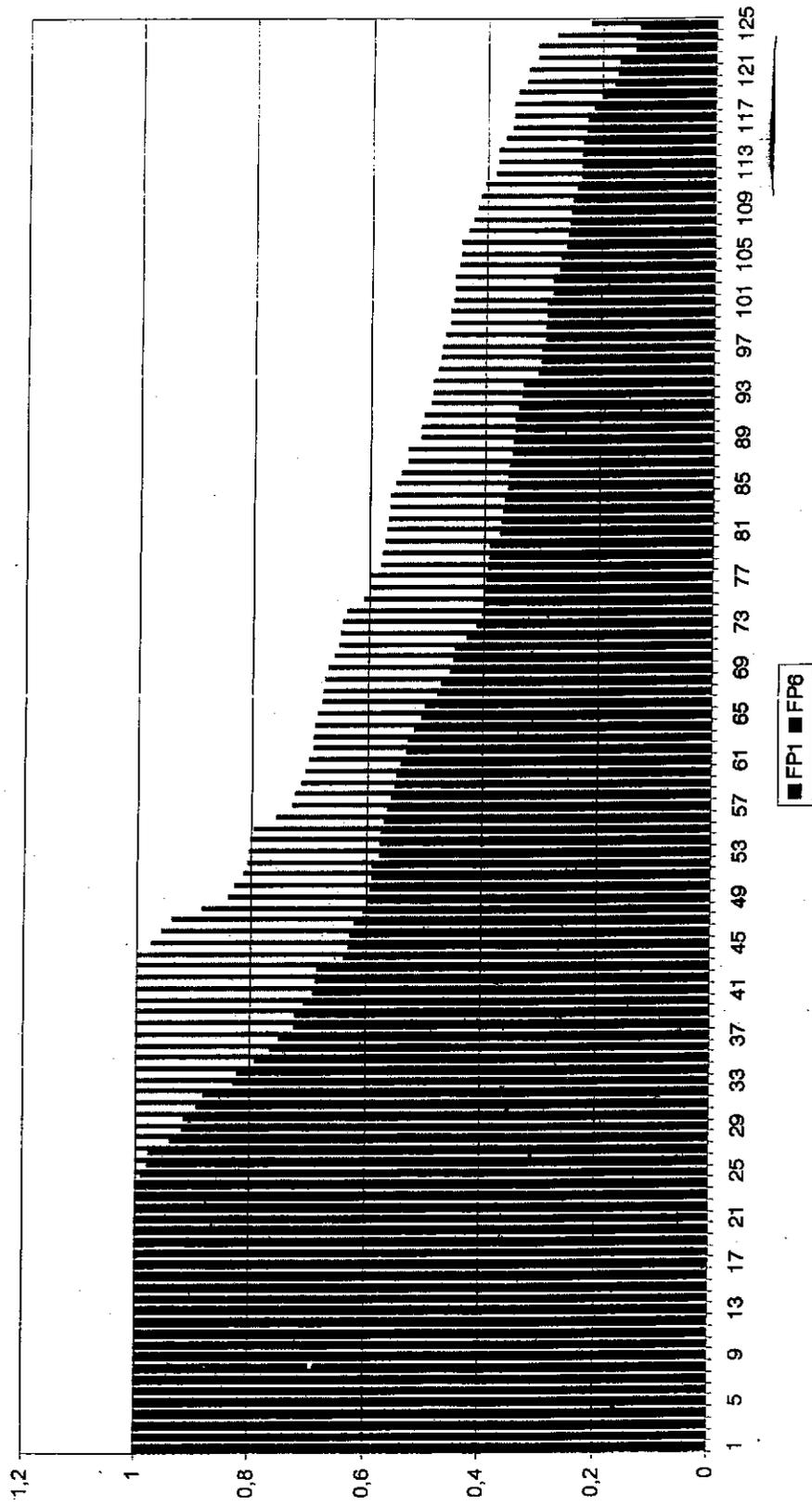
P : Exploitations TypeP (47 observations)

M : Exploitations TypeM (48 observations)

T : Totalité des exploitations (125 observations)

# ANNEXE 5

Comparaison de la distribution des scores d'efficacité



# Questionnaire

# Questionnaire d'enquête

Date... ..

Lieu dit ... .. Imadat... ..

Nom et prénom... .. Age... ..

Niveau d'instruction

Analphabète       Kuttab       Primaire       Secondaire       Universitaire

Formation agricole       Oui       Non

Date d'installation... ..

Expérience en irrigué... ..

Taille de la famille... ..

Membres présents sur l'exploitation

Prénom	Sexe	Age	Scolarité <sup>60</sup>	Occupation actuelle	Contribution à la MOF <sup>61</sup>

Membres en dehors de l'exploitation

Prénom	Sexe	Age	Scolarité <sup>62</sup>	Occupation actuelle	Date et raison du départ

Revenu extra agricole

Activité	Période	Montant DT/an

Dépenses familiales... ..

<sup>60</sup> Préciser s'il (elle) a arrêté et la date d'arrêt

<sup>61</sup> Saisir la réponse avec oui ou non

<sup>62</sup> Préciser s'il (elle) a arrêté et la date d'arrêt

## L'exploitation

### Superficie et nombre de parcelle

	SAT		SAU		Eloignement / domicile		
	Superficie	Parcelle	Superficie	Parcelle	Parcelle	Superficie	Distance
En propriété							
En location							
En métayage							
Total							
Plantation							

Quelle est la nature de la source d'irrigation?

Publique       Privée       Publique et privée<sup>63</sup> ... ..

Avez vous acheté de la terre?       Oui       Non

**Si oui préciser**

Date d'achat	Superficie	Nue/plantée	Valeur	Raisons

Avez vous vendus de la terre?       Oui       Non

**Si oui préciser**

Date de vente	Superficie	Nue/plantée	Valeur	Raisons

### Mode de faire valoir et situation foncière

	Irrigable par réseau		Irrigable par puits		Sec	
	Parcelles	Superficie	Parcelles	Superficie	Parcelles	Superficie
Nombre de parcelle						
Superficie						
Mode de faire valoir						
En propriété						
En métayage						
En location						

### En propriété

		Origine			Statut foncier	
		Héritage	Attribution	Achat	Titre bleu	Sans
Parcelle						
Superficie						
Irrigable par réseau	Parcelle					
	Superficie					
Irrigable par puits	Parcelle					
	Superficie					
Sec	Parcelle					
	Superficie					

<sup>63</sup> Préciser si le puits est à l'intérieur ou à l'extérieur du PPI et s'il est crée avant ou après le ppi.

### En métayage

	Irrigable par réseau	Irrigable par puits	Sec
Date du contrat			
Terme du contrat			
Affectation			

### En location

	Irrigable par réseau	Irrigable par puits	Sec
Date du contrat			
Terme du contrat			
Affectation			

### Evolution de l'occupation du sol

2004		2003		2002		Fin des an. 90		Début des an.90	
Espèce	Sup.	Espèce	Sup.	Espèce	Sup.	Espèce	Sup.	Espèce	Sup.

### Occupation du sol et productions végétales de l'exploitation (Campagne 2003)

#### Irrigation par réseau

##### Plantations arboricoles

Espèce	Superficie	Nombre de pieds	Écartement.	Age	Système et dose d'irrigation	Cultures Intercalaires <sup>64</sup>	Production

#### Grandes cultures, cultures fourragères et cultures maraîchères

Espèce	Superficie	Intercalaire <sup>65</sup>	Dose de semis	Système et dose d'irrigation	Production

<sup>64</sup> Préciser la superficie

<sup>65</sup> Saisir la réponse par oui ou non

## Irrigation par puits

### Plantations arboricoles

Espèce	Superficie	Nombre de pieds	Écartement	Age	Système et dose d'irrigation	Cultures Intercalaires <sup>66</sup>	Production

### Grandes cultures, cultures fourragères et cultures maraîchères

Espèce	Superficie	Intercalaire <sup>67</sup>	Dose de semis	Système et dose d'irrigation	Production

## En sec

### Plantations arboricoles

Espèce	Superficie	Nombre de pieds	Écartement	Age	Production	charges

### Grandes cultures, cultures fourragères et cultures maraîchères

Espèce	Superficie	Dose de semis	Production	Charges

La pratique des cultures en intercalaire est:

- |                                    |                              |                              |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Un héritage                        | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| Recommandé par la vulgarisation    | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| Une obligation par manque d'espace | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| Plus rentable                      | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |

## Charges des spéculations en irrigué

### Irriguées par réseau

Espèce	Préparation du sol	Fertilisation	Traitement	Main d'œuvre	Autres

<sup>66</sup> Préciser la superficie

<sup>67</sup> Saisir la réponse par oui ou non

### Irriguées par puits

Espèce	Préparation du sol	Fertilisation	Traitement	Main d'œuvre	Autres

### Variation des doses d'irrigation et des rendements

Espèce	Année sèche		Année moyenne		Année Bonne	
	Dose	Rendement	Dose	Rendement	Dose	Rendement

Qui s'occupe de la distribution de l'eau?

- Vous même
- Votre femme
- L'un de vos enfants
- Un ouvrier

Vous pratiquez une dose d'irrigation:

- En dessous des besoins de la plante
- En dessus des besoins de la plante
- Conforme aux besoins de la plante

Par apport à la dose d'irrigation, vous pratiquez une fertilisation:

- En dessous des besoins de la plante
- En dessus des besoins de la plante
- Conforme aux besoins de la plante

En moyenne quel est la durée du tour d'eau? Hiver... .. Eté... ..

Combien de fois par campagne vous échouez dans l'obtention de la main d'eau au moment désiré?

- 0       1       2       3       4 et plus

Quel est le nombre de pannes par campagne qui vous a privé de l'eau d'irrigation?

- (PPI)  0       1       2       3       4 et plus
- (Puits)  0       1       2       3       4 et plus

### Des cultures abandonnées

Culture	Date	Raisons

### Adoptions de nouvelles cultures

Culture	Date	Raisons

### Quelles sont les espèces que vous cherchez à cultiver d'avantage(en irrigué)?

Espèces	Raisons

### Spéculation animale

#### Cheptel ovin

#### Evolution de l'effectif du troupeau

A l'installation		Minimum		Maximum	
Période	Nombre	Période	Nombre	Période	Nombre
Contexte d'évolution					

#### Composition actuelle du troupeau

	Brebis	Bélier	Antenaïse	Antenaïs	Agneau	Agnelle
Nombre						
Consommation						
Achat(2003)/prix						
Vente(2003)/prix						

#### Alimentation et charges annuelles

Son et concentré	Foin et paille	Pâturage et Achaba	Soins vétérinaires

**Cheptel bovin**

Année d'introduction ... ..

Nombre de vache ... ..

## Composition actuelle du troupeau

	Vache	Génisse	Veau	Vèle	Observations
Nombre					
Achat(2003)/prix					
Vente(2003)/prix					
Production lait					
Vente/prix					
Consommation					

## Alimentation et charges annuelles

Fourrage en vert	Foin et paille	Son et concentré	Soins vétérinaires

**Investissement et financement**

Avez vous contracté un crédit d'investissement ou bénéficié d'un soutien financier  
quelconque? Oui Non

Si oui préciser

Date	Composante	Montant du crédit	Montant remboursé

Avez vous tenté d'avoir un crédit bancaire?

OuiNon

Si oui quels sont les contraintes

Manque d'hypothèqueSituation d'endettementComplexité de la démarche

Pensez vous à un projet d'investissement?

OuiNon

Si oui préciser les composantes ... ..

.....

Si Non Pourquoi?

Evitez les procéduresVous craignez l'endettementFaible rentabilité et difficulté de remboursement

Le financement de votre campagne agricole dépend:

- |                               |                              |                              |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Du crédit bancaire            | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| Du crédit fournisseur         | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| De l'emprunt chez les voisins | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| Du revenu extra agricole      | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| Du revenu agricole            | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |

### Investissements réalisés

Rubrique	Année	Valeur	Financement		
			Auto (Agr/Extr) <sup>68</sup>	Crédit	Subvention
Logement1					
Logement2					
Bergerie					
Etable					
Bassin					
Puits					
Motopompe					
Equipement d'irrigation					
Equipement agricole					
Plantation					
Matériel roulant					

### Approvisionnement et écoulement des produits

Est ce que vous rencontrez des problèmes d'approvisionnement?

Oui

Non

Si oui à quel niveau?

Semences

Engrais

Mécanisation

Main d'œuvre

<sup>68</sup> A préciser la source de l'autofinancement: s'il s'agit bien d'un revenu agricole capitalisé ou d'un redéploiement du capital tel que la vente du cheptel, du matériel, d'une parcelle ...

S'il s'agit d'un revenu extra agricole à préciser l'origine, le contexte et si l'objectif est bien atteint.

Pourriez vous indiquer les principaux points d'écoulement de vos produits?

	Sur place	Marché local	Sidi Bouzid	Sfax	Tunis
Olive					
Blé					
Orge					
Tomate					
Piment					
Oignon					
Ovins					
Bovins					
Autres... ..					

### Rabatement de la nappe et salinisation du sol

Est ce que vous rencontrez des problèmes de rabattement de la nappe?

Oui

Non

Si oui, ce rabattement est il remarquable:

d'une année à l'autre

Oui

Non

Uniquement en période de sécheresse

Oui

Non

Une année pluvieuse peut elle compenser la totalité du rabattement?

Oui

Non

Quels sont les signes de ce rabattement?

Diminution du débit

Augmentation de la salinité

Comment vous avez réagit?

Aucune réaction

Augmentation des heures de pompage

Utilisation d'une motopompe plus puissante

Diminution des doses d'irrigation

Adoption de cultures moins exigeantes en irrigation

Réalisation d'un curage

Ce rabattement a t il un impact négatif sur le revenu?

Oui

Non

Si oui comment se traduit cet impact?

Augmentation des coûts

Baisse de la production

Par votre réaction face au rabattement avez vous pu rétablir votre revenu?

Oui

Non

Est ce que vous rencontrez des problèmes de salinisation du sol?

Oui

Non

Si oui quel est l'impact sur votre agriculture?

Aucun impact

Baisse de la production

Augmentation des coûts de production

Comment vous avez réagit pour atténuer ou remédier à ce phénomène?

Aucune réaction

Adoption de technique de lessivage

Apport de fumure de fonds

Mettre au repos la parcelle

Au bout de combien de temps estimez vous qu'une parcelle risque d'être abandonnée complètement à cause de la salinisation? ... ..

### L'environnement de l'exploitation

Etes vous membre de l'AIC?

Oui

Non

Est ce que vous cotisez?

Oui

Non

Vous décidez de la sélection des cultures en irrigué selon:

Les recommandations de l'administration

Oui

Non

Les recommandations de l'AIC

Oui

Non

Les pratiques des voisins

Oui

Non

Les besoins de la plante et les disponibilités en eau

Oui

Non

Les résultats de la campagne précédente

Oui

Non

La disposition en fonds de roulement

Oui

Non

Vous décidez des superficies des cultures en irrigué selon:

Les recommandations de l'administration

Oui

Non

Les recommandations de l'AIC

Oui

Non

Les pratiques des voisins

Oui

Non

La disponibilité en terre

Oui

Non

Les besoins de la plante et les disponibilités en eau

Oui

Non

Les résultats de la campagne précédente

Oui

Non

La disposition en fonds de roulement

Oui

Non

La disponibilité en main d'œuvre

Oui

Non

Vous décidez de la dose d'irrigation selon:

- |   |                              |                              |
|---|------------------------------|------------------------------|
| Les recommandations de l'administration               | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| Les recommandations de l'AIC                          | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| Les pratiques des voisins                             | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| Les besoins de la plante et les disponibilités en eau | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| La disposition en fonds de roulement                  | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |

### Caractéristiques du puits et système d'irrigation

Caractéristiques	Puits 1	Puits 2
Date de création		
Autorisation		
Profondeur initial		
Débit initial		
Salinité initiale		
Nombre de curage		
Date du dernier curage		
Profondeur actuel		
Salinité actuelle		
Puissance du moteur		
Date d'acquisition du moteur		
Source d'énergie (nature et prix)		
Moyenne d'heures de pompage par jour <sup>69</sup>		
Consommation du carburant		
Charge d'entretien du Groupe motopompe		
Montant de la subvention du carburant		

Pourquoi vous avez opté pour la création d'un puits?

- Création d'une activité en irrigué
- Extension de l'activité en irrigué
- Insuffisance de disponibilité de l'eau du réseau
- Trouver la liberté d'action

Avez vous constaté des pertes d'eau? Oui (... ..%) Non

Si oui ces pertes sont dues au:

- |                      |                              |                              |
|----------------------|------------------------------|------------------------------|
| Réseau d'irrigation  | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| Système d'irrigation | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| Mauvais dosage       | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |

<sup>69</sup> Préciser pour l'hiver et pour l'été

Avez vous tenté de les réduire Oui Non

Si oui comment?

Réparation partielle du réseau Oui Non

Rénovation du réseau d'irrigation Oui Non

Adoption d'un nouveau système d'irrigation Oui Non

Amélioration des connaissances Oui Non

Avez vous introduit un système d'économie d'eau? Oui Non

Si Oui

Quand? ... ..

Suite à un appel de l'administration Oui Non

Initiative privé Oui Non

Satisfait de l'expérience Oui Non

Si Non avez vous pensez à l'introduire? Oui Non

Quelles sont les contraintes?

Non encore convaincue de son utilité Oui Non

Vous Manquez de technicité Oui Non

Vous Manquez des moyens financiers Oui Non

Vous évitez les procédures administratives Oui Non

Quelle est la source d'irrigation que vous privilégiez?

Eau du réseau

Eau du puits

Pourquoi?

Préférence pour l'eau du réseau	Préférence pour l'eau du puits
Moindre coût	Moindre coût
Facilité de gestion	Liberté d'action
Moins de salinité	Moins de salinité
Débit plus fort	Une meilleure disponibilité de l'eau
Investissement public	Refus de la structure et du mode de gestion

Quelles sont les principales contraintes de fonctionnement que vous rencontrez?

Exigüité de la superficie

Financement

Statut foncier

Ecoulement

Manque d'assistance

Manque d'eau

# Table des matières

Introduction générale.....	2
----------------------------	---

## Partie I

### *Mobilisation de la ressource en eau, développement de l'irrigation et fonctionnement des périmètres irrigués.*

Introduction.....	7
-------------------	---

#### *Chapitre I:Genèse de la politique hydraulique et développement de l'irrigation*

<b>I- La politique hydraulique et la mobilisation de la ressource en eau</b> .....	9
1-1 Genèse de la politique hydraulique.....	10
1-2 Evolution de l'investissement et de l'infrastructure hydraulique.....	11
1-3 Potentialités, mobilisation et usage de la ressource en eau.....	12
<b>II- Le développement et les entraves du secteur irrigué</b> .....	14
2-1 Importance du secteur irrigué.....	14
2-1-1 Les périmètres publics irrigués.....	15
2-1-2 Les périmètres irrigués privés.....	17
2-1-3 Contribution du secteur irrigué.....	18
2-2 Faiblesses et contraintes au développement.....	19
2-2-1 Utilisation de l'eau.....	19
2-2-2 Efficience des réseaux et des systèmes d'irrigation.....	21
2-2-3 Utilisation et intensification de la terre.....	22
<b>III- L'irrigation et la gestion de la demande</b> .....	24
3-1 La tarification de l'eau.....	24
3-2 La stratégie de gestion communautaire.....	26
3-3 La stratégie d'économie de l'eau.....	28
<b>Conclusion</b> .....	30

#### *Chapitre II :Analyse du fonctionnement des périmètres irrigués dans la région de Sidi Bouzid*

<b>I- La problématique du secteur irrigué dans la région de Sidi Bouzid</b> .....	32
1-1 Présentation de la région.....	32
1-1-1 Le climat.....	33
1-1-2 Les ressources hydriques.....	34
1-1-3 Le relief et la nature du sol.....	35
1-2 Développement de l'agriculture et importance du secteur irrigué.....	36
1-2-1 Evolution du potentiel agricole.....	36
1-2-2 Importance de l'agriculture irriguée.....	39
1-3 Problématique de recherche.....	42

<b>II- Choix du terrain de recherche et méthodologie d'enquête</b> .....	46
2-1 Justification du choix du terrain de recherche .....	47
2-2 Prospection du terrain de recherche .....	48
2-3 Echantillonnage et réalisation des enquêtes .....	51
<b>III- Analyse du fonctionnement des périmètres irrigués</b> .....	53
3-1 Analyse de la structure des ménages et des exploitations .....	54
3-1-1 Structure des ménages .....	54
3-1-1-1 Le chef exploitant .....	54
3-1-1-2 Structure familiale, force de travail et activité extra agricole .....	56
3-1-2 Structure de l'exploitation et statut foncier .....	57
3-1-2-1 La taille des exploitations .....	58
3-1-2-2 Appareil de production et investissement .....	59
3-1-2-3 Système foncier .....	62
3-2 Analyse du système de culture et des pratiques d'irrigation .....	63
3-2-1 Irrigation et dynamique culturelle .....	65
3-2-2 Gestion collective versus privée de la ressource en eau .....	66
3-2-3 Occupation du sol et intensification du facteur terre .....	68
3-2-4 Pratiques d'irrigation et consommation en eau .....	71
3-3 Analyse économique du fonctionnement des exploitations en irrigué .....	74
3-3-1 Facteurs de production: Dépenses et financement .....	74
3-3-2 Importance et gestion de la production .....	76
3-3-3 Analyse des marges et de la productivité des facteurs .....	78
<b>Conclusion</b> .....	81

## **Partie II:**

### *Analyse des performances des systèmes de production et des déterminants des pratiques d'irrigation*

<b>Introduction</b> .....	84
---------------------------	----

#### *Chapitre I: Approche théorique pour l'analyse des performances des entreprises*

<b>I- Le concept efficacité en théorie économique</b> .....	87
1-1 Définition de l'efficacité .....	88
1-2 Démarche de Farrell pour la mesure de l'efficacité .....	90
1-3 L'efficacité: Indicateur global de mesure des performances .....	91
1-1-3-1 La productivité .....	92
1-1-3-2 La rentabilité .....	93
1-1-3-3 L'intensification .....	95
<b>II- Les approches de mesure de l'efficacité</b> .....	97
2-1 Approche paramétrique .....	97
2-2 Approche non paramétrique .....	98
2-3 Avantages et limites des approches de mesures .....	100
2-3-1 Les limites du concept efficacité .....	100
2-3-2 Comparaison des approches de mesure .....	101

<b>III- Le modèle DEA : Développement théorique et applications empiriques</b> ... ..	103
3-1 Hypothèses et structure du modèle ... ..	103
3-2 Développement théorique du modèle DEA ... ..	105
3-2-1 Mesure des variables d'écart ... ..	107
3-2-2 Le modèle DEA en rendements d'échelle variables ... ..	108
3-2-3 L'approche non radiale du modèle DEA ... ..	110
3-2-4 L'approche DEA et efficacité profit ... ..	112
3-3 Développement empirique du modèle DEA : Synthèse d'études de Cas ... ..	114
<b>Conclusion</b> ... ..	117

**Chapitre II: Analyse des performances des exploitations en irrigué**

<b>I- Analyse des performances techniques</b> ... ..	118
1-1 Mise en forme de la matrice Inputs-Outputs ... ..	118
1-2 Fonction de production et application du modèle DEA ... ..	122
1-3 Analyse des mesures de l'efficacité technique ... ..	126
1-3-1 Analyse des scores d'efficacité en rendements d'échelle constants ... ..	127
1-3-2 Analyse des scores d'efficacité en rendements d'échelle variables ... ..	128
1-3-3 Analyse de l'efficacité d'échelle ... ..	129
1-3-4 Analyse de l'efficacité des facteurs ... ..	130

<b>II- Analyse des performances économiques des systèmes de production</b> ... ..	132
2-1 Matrice Input-Outputs et développement du modèle DEA pour l'efficacité profit ... ..	133
2-2 Maximisation du profit et efficacité au niveau exploitation ... ..	136
2-3 Maximisation du profit et efficacité au niveau parcelle ... ..	137

<b>III- Analyse des déterminants des inefficacités révélées</b> ... ..	141
3-1 Choix des variables et application du modèle Tobit ... ..	141
3-2 Analyse des déterminants des performances techniques ... ..	143
3-3 Analyse des déterminants des performances économiques ... ..	145
3-3-1 Les déterminants de l'efficacité au niveau exploitation ... ..	145
3-3-2 Les déterminants de l'efficacité au niveau parcelle ... ..	147

<b>Conclusion</b> ... ..	149
--------------------------	-----

<b>Conclusion générale</b> ... ..	151
-----------------------------------	-----

<b>Bibliographie</b> ... ..	155
-----------------------------	-----

<b>Annexes</b> ... ..	163
-----------------------	-----

<b>Questionnaire</b> ... ..	169
-----------------------------	-----





## Résumé

Menacée par le développement économique et social, l'eau est un bien de plus en plus rare. Particulièrement concernée, la Tunisie a réussi une politique de gestion de l'offre pour répondre aux différents besoins et notamment à celui du secteur de l'agriculture irriguée qui est le gros consommateur avec 83% de la demande totale. Aujourd'hui cette politique atteint ses limites en réalisant un taux de mobilisation de 87%. Désormais les efforts devraient se tourner vers la gestion de la demande. Comprendre les stratégies des irrigants et identifier les paramètres de maîtrise des technologies de production constituent des éléments fondamentaux pour modifier les consommations du secteur irrigué sans pour autant compromettre les objectifs de production. Dans cette perspective, nous avons analysé les performances de l'activité en irrigué dans la région de Sidi Bouzid. Nous avons réalisé des enquêtes auprès d'un échantillon d'exploitations des périmètres publics et privés. En analysant les systèmes de production de ces exploitations nous avons pu mettre en évidence une relation fonctionnelle appropriée. L'application de l'approche Data Envelopment Analysis (DEA) nous a permis de mesurer l'efficacité technique et allocative. Ainsi nous avons révélé une inefficacité technique d'usage des facteurs de production. L'efficacité moyenne d'usage de la ressource en eau n'atteint que 68%. La comparaison entre les systèmes de production révèle un gaspillage de la ressource plus important chez les exploitations des périmètres privés que celles des périmètres publics. Ainsi la stratégie de création de puits de surface, comme deuxième source d'irrigation, se révèle être à l'encontre d'un usage durable d'une nappe phréatique déjà surexploitée. Mais en analysant les mesures d'efficacité allocative, cette stratégie s'explique. En effet, la rentabilité d'une activité, basée sur l'irrigation à partir de puits de surface, semble beaucoup plus intéressante que celle réalisée à partir d'irrigation publique. L'efficacité allocative moyenne des exploitations des périmètres privés atteint 73% contre seulement 53% pour celles des périmètres publics. La pratique de cultures maraîchères est un facteur déterminant de cette rentabilité. Nous montrons par ailleurs que la structure foncière (superficie et nombre de parcelle) et l'intensification du facteur terre affectent négativement l'efficacité technique. Ainsi, une stratégie d'intervention visant une réorganisation foncière pourrait optimiser les performances et réduire le gaspillage de la ressource en eau.

**Mots-clés :** Périmètre irrigué, système de production, économie de l'eau, gestion de l'irrigation, efficacité technique, efficacité allocative, Data Envelopment Analysis (DEA)

## **Behaviour of Farmers and water use efficiency in Tunisian Semi-Arid Region: The case of Sidi Bouzid irrigated area**

### **Abstract**

Threatened by the economic and social development, water is an increasingly rare good. More than ever concerned, Tunisia achieved a successfully water supply management policy in order to meet different needs, particularly the irrigated agriculture sector, which is the largest water consumer with about 83% of the total demand. Today, this policy reached its limits with a mobilization rate of 87%. Hence, efforts should target to the demand management. Understanding farmer's strategies and identifying the parameters controlling production technologies are the fundamental elements to modify the consumption of irrigated sector without compromising production objectives. In this regard, the objective of this investigation is to analyze the performance of irrigated farms in the region of Sidi Bouzid. First, farm's survey was carried out in both public and private irrigated areas. Second, an analysis of the production system within these farms showed an appropriate technology process. Moreover, the application of Data Envelopment Analysis (DEA) approach allowed the measurement of technical and allocative efficiency. Empirical findings revealed a technical inefficiency use of inputs. The average technical efficiency of water resource was only 68%. The comparison between both production systems revealed more important resources wasting in private farms than in public ones. Thus, the surface well creation strategy, as a second source of irrigation, was found to be against the sustainable use of an already overexploited ground water. However, such strategy is justified when analyzing allocative efficiency scores. Indeed, the profitability of an activity, based on wells irrigation, appears to be much more interesting than that based on public resource. The average allocative efficiency of private farms was 73% compared to only 53% for public farms. The Horticultural cropping practice is a determinant factor of this profitability. In addition, results indicate the negative effect of land structure (area and a number of plots) and land input intensification on technical efficiency. Therefore, an intervention strategy seeking land reorganization could optimise the farms performances and reduce water resource wasting.

**Key-words:** Irrigated area, production system, economy of water, irrigation management, technical efficiency, allocative efficiency, Data Envelopment Analysis (DEA).