

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة - الجزائر
Ecole Nationale Supérieure Agronomique - Alger

Thèse

en vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat

Spécialité : Economie rurale et agroalimentaire

Présentée et soutenue publiquement par

Amine Oulmane

Thème

Gestion de l'eau d'irrigation en Algérie: d'une politique de l'offre vers une politique de gestion de la demande

Devant le jury :

M. Slimane BEDRANI, Professeur agrégé, ENSA Alger.....Président

M^{lle}. Fatima BRABEZ, Professeur, ENSA Alger..... Directeur de thèse

M. Omar KIHAL, Maître de conférences A, ENSA Alger.....Examinateur

M. Tarik HARTANI, Professeur, Centre universitaire Tipaza.....Examinateur

M. Ahmed BENMIHOUB, Maître de Recherche A, CREAD.....Examinateur

M. Amine FERROUKHI, Maître de conférences A, ENSM KoléaExaminateur

Année 2018

A mes très chers parents

A mes frères

A mes amis

Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, la force et la patience pour dépasser toutes les difficultés.

En second lieu, mes remerciements s'adressent naturellement à M. Aymen FRIJA, maître de recherche à l'ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) de Tunis, sans lequel cette thèse n'aurait certainement pas vu le jour. Je tiens à lui exprimer ma vive reconnaissance pour ses enseignements et son soutien dans les moments cruciaux de cette thèse.

Mes remerciements s'adressent également à ma directrice de thèse M^{lle} Fatima BRABEZ, professeur à l'ENSA.

Je tiens à remercier chaleureusement les membres du jury : Pr. Slimane BEDRANI (ENSA) d'avoir bien voulu accepter de présider le jury ainsi que le Pr. Tarik HARTANI (Centre universitaire Tipaza), Dr. Ahmed BENMIHOUB (CREAD), Dr. Amine FERROUKHI (ENSM Koléa) et Dr. Omar KIHAL (ENSA) pour avoir bien voulu accepter d'examiner ce travail.

J'adresse aussi mes remerciements au directeur de l'ONID Jijel M. Nacer BOUKERTOUTA et à toute son équipe pour m'avoir aidé dans mes enquêtes et pour leur disponibilité.

Je remercie également Dr. Ali Chebil pour sa disponibilité et son aide, qu'il trouve ici toute ma gratitude. Je n'oublie évidemment pas de remercier M. Mohamed SADAOUI (ENSA) pour son aide et sa modestie.

Enfin, j'adresse ma profonde gratitude à ma mère et à mon père pour leur patience, leur soutien jusqu'au bout de mes études.

Résumé

L'Algérie est encore dans une phase où ses politiques d'eau sont axées sur une stratégie d'offre avec de faibles incitations pour l'économie de la ressource. Il est vrai que cette politique qui a permis d'améliorer l'approvisionnement et d'augmenter les quantités d'eau disponibles a bien servi sa fonction historique de soutenir les besoins en eau. Cependant, cette stratégie d'offre a atteint ses limites qui se traduisent par une pression de plus en plus accrue sur la ressource hydrique. De nos jours, il est devenu de plus en plus difficile d'augmenter les sources d'approvisionnement en eau, notamment pour l'agriculture. De ce fait, il est devenu difficile d'accroître les surfaces cultivables et les surfaces irriguées en particulier d'où l'incapacité de couvrir les besoins alimentaires du pays.

Afin de tenir compte des objectifs spécifiques aux politiques de l'eau d'irrigation: autosuffisance alimentaire, recouvrement des coûts, et économie d'eau. Cette thèse s'intéresse à l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation au niveau de l'exploitation, qui à notre sens est de loin le facteur le plus important pour une utilisation rationnelle des ressources hydriques dans les conditions de manque d'eau. Pour cela, l'approche utilisée intègre le comportement des agriculteurs et leur interaction avec les instruments institutionnels de gestion de la demande en eau. Dans ce sens, notre travail se base sur une combinaison d'analyses. Nous avons commencé par l'analyse des scores de l'Efficacité de l'Utilisation de l'Eau (EUE) grâce à la méthode DEA (Data Envelopment Analysis), ces scores d'efficacité sont ensuite régressés par rapport à des variables socio-économiques en utilisant le modèle Tobit. Ce modèle va aider à ressortir les déterminants qui affectent les scores d'efficacité. Concernant l'étude de l'impact des politiques de gestion de la demande en eau d'irrigation, nous avons construit un modèle pour simuler différents scénarios de politiques, notamment, la tarification et les quotas d'eau, sur le comportement des agriculteurs en utilisant la méthode de Programmation Mathématique Positive (PMP). Enfin, à l'aide de "Tornqvist-Thiel index" nous avons estimé le gain de productivité totale des facteurs et celle de l'eau ainsi que la réduction de la demande en eau qu'engendre l'introduction des techniques économes en eau, notamment le goutte à goutte, au niveau des exploitations maraichères de la région d'étude.

Les résultats montrent un différentiel d'efficacité entre les agriculteurs. Elles montrent aussi une relation significative entre l'efficacité d'utilisation de l'eau et certains facteurs socio-économiques. Nous avons trouvé que la tarification de l'eau peut avoir différents impacts sur les agriculteurs en fonction de leur niveau d'efficacité. Les agriculteurs les plus efficaces ont une fonction de demande moins élastique. Enfin, l'étude de l'utilisation des technologies

d'économies d'eau montre qu'en plus de la réduction de la consommation en eau, une amélioration significative de la productivité peut être obtenue.

En générale, cette recherche confirme que l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau, le recouvrement des coûts et la subvention des technologies d'économie d'eau sont des challenges majeurs pour une meilleure gestion de la demande en eau d'irrigation dans les périmètres irrigués en Algérie. Les résultats obtenus, à l'aide des analyses économiques, peuvent aider les décideurs politiques afin d'aborder ces challenges.

Mots clés : Gestion de la demande en eau, efficacité technique, institutions de l'eau, productivité de l'eau, irrigation.

Abstract

Algeria is still in a situation where its water policies are focused more on mobilization strategies with a weak incentive for water saving. These policies have allowed improving the supply and increase water availability. However, these strategies have reached their limits resulting in more pressure on the water resource. Nowadays, it has become more difficult to increase water supply especially for agriculture. As a result, it became difficult to increase cultivated areas and in particular irrigated ones which causes the inability to cover the food needs of the country.

Taking in consideration specific objectives of irrigation water policies: reach food security, cost recovery and water saving. Our work focuses on improving the use of irrigation water at the farm level, which in our view is the most important factor for rational use of water resources in water scarcity conditions. To do so, our approach integrates the interaction between farmers and institutions for managing water. Then, our work is based on a combination of analysis. We started by analyzing the scores of the water use efficiency using Data Envelopment Analysis (DEA) method, these efficiency scores are then regressed against socio-economic variables using a Tobit model to identify its determinants. We also investigate the effect of different water pricing and irrigation quotas scenarios on adjusting farmers' behavior in terms of irrigation water demand. Therefore, we built a model to simulate different scenarios of water policy using the method of Positive Mathematics Programming (PMP). Finally, using the "Tornqvist-Thiel index", we quantify the productivity gain and water demand reduction generated by the introduction of water-saving technologies in horticultural farms in the study area.

The results of our work show that water management is generally characterized by a low water use efficiency scores, a low level of information, and a low integration of water users in water management. In opposition to the theoretical predictions which claim that resource use efficiency improves with scarcity, water use is becoming less and less efficient even as water grows scarcer. We conclude that the cause of this dilemma lies to the water institutions, including the context in which they are formulated and implemented. According to this study, it is clear that a more integrated management to improve the functioning and the performance of the institutions is vital for improving water demand management.

Keywords: Water demand management, technical efficiency, water institutions, water productivity, irrigation.

ملخص

لازالت سياسة المياه في الجزائر في مرحلة تركز على استراتيجيات عرض مع قصور في الحث على اقتصاد المورد ، صحيح أن هذه السياسة التي سمحت بتحسين الإمدادات و رفع مستوى المياه الموجودة قد دعمت بشكل جيد الوظيفة التاريخية لدعم حاجيات المياه، ومع ذلك فإن استراتيجيات التوريد هذه قد أبدت محدوديتها، والتي تتجسد في ارتفاع الضغط على الموارد المائية ، ففي الوقت الراهن بات من الصعب زيادة مصادر الإمداد بالمياه، وخاصة بالنسبة للزراعة، ولهذا أصبح من الصعب زيادة المساحات الصالحة للزراعة والمساحات المروية خاصة، مما يقود إلى عدم القدرة على تغطية الحاجات الغذائية للبلاد .

و من أجل مراعاة الأهداف المحددة لسياسات مياه الري: الاكتفاء الذاتي الغذائي ، واسترداد التكاليف ، وتوفير المياه. تركز هذه الرسالة على تحسين كفاءة استخدام مياه الري على مستوى المزرعة ، وهو ما يعتبر في نظرنا أهم عامل في الاستخدام الرشيد للموارد المائية في ظروف نقص المياه. ولهذا فإن المقاربة المستخدمة تدمج سلوك المزارعين وتفاعلهم مع الأدوات المؤسسية لإدارة الطلب على المياه. هذه العمل يستند على مجموعة من التحليلات. تنطلق من تحليل نتائج كفاءة استخدام المياه (EUW) من خلال (DEA (Data Envelopment Analysis) البيانات، ثم يتم حساب الإنحدار لهذه النتائج باعتبار المتغيرات الاجتماعية والاقتصادية باستخدام نموذج Tobit. الذي يساعد إبراز المحددات التي تؤثر على نقاط الفعالية. فيما يتعلق بدراسة تأثير سياسات تسيير الطلب على مياه الري ، قمنا ببناء نموذج لمحاكاة السيناريوهات السياسية المختلفة ، بما في ذلك التسعير وحصص المياه ، على سلوك المزارعين في باستخدام طريقة البرمجة الرياضية الإيجابية (PMP). وفي الأخير قدرنا باستخدام " مؤشر Tornqvist-Thiel " مجموع مكاسب الإنتاجية للعوامل و للمياه، وكذلك الحد من الطلب على المياه الناجمة عن إدخال تقنيات توفير المياه ، على مستوى مزارع الخضار في منطقة الدراسة.

تظهر النتائج وجود اختلاف في الكفاءة بين المزارعين. كما أنها تظهر علاقة دالة بين فعالية استخدام المياه وبعض العوامل الاجتماعية الاقتصادية. كما وجدنا أن تسعير المياه يمكن أن يكون له تأثيرات مختلفة على المزارعين حسب مستوى كفاءتهم. المزارعين الأكثر كفاءة لديهم وظيفة في الطلب أقل مرونة. كما تظهر دراسة استخدام تقنيات توفير المياه أنه بالإضافة إلى الحد من استهلاك المياه ، يمكن الحصول على تحسن كبير في الإنتاجية.

بشكل عام ، يؤكد هذا البحث أن تحسين فعالية استخدام المياه ، واسترداد التكاليف ، ودعم تكنولوجيا توفير المياه هي تحديات رئيسية لتحسين إدارة الطلب على المياه في مناطق الري في الجزائر. النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام التحليل الاقتصادي ، يمكن أن تساعد صانعي السياسات على معالجة هذه القضايا.

Sommaire

Introduction générale et problématique.....	1
1. Politique de mobilisation et d'offre d'eau en Algérie.	1
2. Limites de la politique de l'eau en Algérie.	2
3. Concept de gestion de la demande en eau.	2
4. Cadre d'adoption d'une politique de gestion de la demande en eau d'irrigation.	3
5. Approches théoriques.	4
5.1. Une perspective institutionnaliste.	4
5.2. Définition de la nouvelle économie institutionnelle.	5
5.3. Approche de l'analyse des instruments institutionnels de gestion de l'eau.	5
5.4. Méthode d'analyse de la performance des institutions de l'eau.	5
6. Questions de recherche.....	6
7. Objectifs.	7
8. Hypothèses.	8
9. Méthodologie et sources de données.....	9
9.1. Méthodes d'analyse.....	9
9.2. Collecte de données.....	9
9.3. Délimitation de l'étude.....	9
10. Structure du document.	9
Partie 1. Cadre théorique, cadre conceptuel, et contexte national.....	2
Chapitre 1 . Revue de la littérature et cadre conceptuel : économie institutionnelle appliquée au secteur de l'eau.	12
1.1. Introduction.	12
Section 1. Cadre théorique : décomposition et analyse des institutions de l'eau.....	13
1.2. Essence de l'économie néo-institutionnelle.	13
1.2.1. Théories institutionnelles et néo-classiques.	13
1.2.2. Application de la nouvelle économie institutionnelle aux problèmes de mauvaise gestion.	14
1.3. Définition des institutions.	16
1.4. Décomposition et analyse de la performance des institutions de l'eau.....	17
1.4.1. Définition des institutions de l'eau.....	17
1.4.2. Décomposition des institutions.	18
1.5. Voies d'impacts des instruments de gestion de la demande en eau d'irrigation.	29
1.5.1. Droit d'eau et instruments limitatifs.....	31

1.5.2.	Tarification de l'eau.....	31
1.5.3.	Marchés de l'eau.....	33
1.5.4.	Technologies d'économie d'eau.....	33
1.5.5.	Organisations et associations d'usagers.....	34
1.5.6.	Réglementations énergétiques.....	34
Section 2. Cadre conceptuel : étude des institutions de l'eau d'irrigation en Algérie.....		36
1.6.	Instruments économiques de gestion de la demande en eau d'irrigation.....	37
1.6.1.	Tarification de l'eau d'irrigation et recouvrement des coûts.....	38
1.6.2.	Imposition de quotas d'eau d'irrigation.....	39
1.6.3.	Subventions pour l'adoption des technologies d'économie d'eau d'irrigation : l'exemple du « Goutte à goutte ».....	39
1.7.	Critères d'évaluation des instruments économiques de gestion de l'eau d'irrigation retenus.....	40
1.7.1.	Efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation.....	41
1.7.2.	Productivité de l'eau d'irrigation et des autres facteurs de productions.....	41
1.7.3.	Elasticité de la demande en eau et des autres intrants.....	42
1.8.	Méthodologie : Evaluation comparative des différents instruments de gestion de la demande.....	42
1.9.	Conclusion.....	43
Chapitre 2 . Disponibilité, offre, demande et utilisations des ressources en eau en Algérie. ..		45
2.1.	Introduction.....	45
2.2.	Climat en Algérie.....	45
2.3.	Potentialités hydriques.....	47
2.3.1.	Eaux conventionnelles.....	48
2.3.3.	Eaux non conventionnelles.....	51
2.4.	Utilisation des ressources en eau disponibles.....	53
2.4.1.	Eau potable.....	54
2.4.2.	Industrie.....	54
2.4.3.	Irrigation.....	54
2.5.	Ressources en sols et évolution des superficies irriguées.....	55
2.5.1.	Les Grands Périmètres Irrigués (GPI).....	56
2.5.2.	Les périmètres de Petite et Moyenne Hydraulique (PMH).....	57
2.6.	Demande en eau future.....	57
2.6.1.	Demande en eau potable et industrielle.....	58
2.6.2.	Demande en eau d'irrigation.....	58
2.7.	Projection des disponibilités en eau.....	58

2.7.1. Projection de l'eau de surface.	59
2.7.2. Projection de l'eau souterraine.	59
2.7.3. Projection des ressources en eau non conventionnelle.....	59
2.8. Conclusion.....	60
Chapitre 3 . Lois, politiques et administration de l'eau en Algérie.....	62
3.1. Introduction.	62
3.2. Lois sur l'eau.	62
3.2.1. Loi sur l'eau et la décentralisation.	63
3.2.2. Participation du secteur privé.	64
3.2.3. Loi sur l'eau et la tarification.	65
3.2.4. Droits de propriété.....	65
3.2.5. Promouvoir les nouvelles technologies.....	66
3.2.6. Protection de la qualité et préoccupations environnementales.....	66
3.3. Politiques de l'eau.	66
3.3.1. Politique d'approvisionnement.	66
3.3.2. Financement des investissements.....	67
3.3.3. Transfert d'eau.	68
3.3.4. Réutilisation des eaux usées épurées.....	69
3.3.5. Dessalement de l'eau de mer.....	69
3.3.6. Introduction des techniques d'irrigation économes en eau.	70
3.3.7. Intégration des usagers de l'eau.	70
3.3.8. Politique tarifaire et recouvrement des coûts.	71
3.4. Administration de l'eau.	73
3.4.1. Administration nationale centrale.	73
3.4.2. Etablissements publics sous tutelle.	73
3.4.3. Associations d'usagers de l'eau (AUE).	78
3.5. Conclusion.....	78
Partie 2. Analyse empirique : Etude de cas.....	79
Chapitre 4 . Zone d'étude, collecte de données et typologie des exploitations agricoles.	79
4.1. Introduction.	79
4.2. Présentation de la plaine Jijel-Taher.	79
4.2.1. Localisation.	79
4.2.2. Climat.....	80
4.2.3. Ressources en eau.....	81
4.2.4. Développement agricole et évolution des moyens de production.....	82

4.3. Méthodologie.....	84
4.3.1. Echantillonnage.....	84
4.3.2. Typologie des exploitations agricoles étudiées.....	84
4.3.3. Données empiriques.....	85
4.4. Résultats.....	87
4.4.1. Caractérisation des exploitations enquêtées.....	87
4.4.2. Analyse et typologie des exploitations agricoles.....	93
4.5. Conclusion.....	96
Chapitre 5 . Niveau de l'efficacité d'usage de l'eau dans les exploitations maraichères et les conditions pour l'améliorer.....	97
5.1. Introduction.....	97
5.2. Définition et méthodes de calcul de l'efficacité.....	98
5.2.1. Définition du concept d'efficacité.....	98
5.2.2. Méthode de l'Analyse par Enveloppement des Données (DEA).....	99
5.3. Matériels et Méthodes.....	101
5.3.1. Calcul de l'efficacité technique et de l'efficacité de sous-vecteur.....	101
5.3.2. Identification des déterminants de l'efficacité de l'utilisation de l'eau.....	103
5.3.3. Etude de l'impact de l'utilisation du goutte à goutte sur l'EUE.....	104
5.3.4. Variables utilisées.....	104
5.4. Résultats.....	106
5.4.1. Mesures des scores d'efficacité techniques et d'usage de l'eau d'irrigation.....	106
5.4.2. Déterminants de l'efficacité d'utilisation de l'eau.....	108
5.4.3. Effet de l'utilisation du goutte à goutte sur l'EUE.....	109
5.4.4. Effet de l'instauration de quotas sur l'efficacité des exploitations étudiées.....	110
5.5. Discussion.....	111
5.6. Conclusion.....	114
Chapitre 6 . Modélisation du comportement des agriculteurs face à des politiques de tarification et de quotas d'eau plus sévères.....	116
6.1. Introduction.....	116
6.2. Méthodologie.....	117
6.2.1. Programmation mathématique positive.....	117
6.2.2. Représentation archétype.....	119
6.2.3. Description du modèle FMIPA "Farm Model for Irrigation Policies assessment in Algeria".....	120
6.2.4. Scénarios de tarification et de quotas d'eau.....	122
6.2.5. Variables utilisées.....	123

6.3. Résultats	123
6.3.1. Caractéristiques des exploitations types.....	123
6.3.2. Performances du model.....	124
6.3.3. Impact des différents scénarios sur le choix des cultures.....	125
6.3.4. Impact de la tarification et des quotas sur la demande en eau.	127
6.3.5. Impact des différents scénarios sur les performances économiques et sociales...	128
6.4. Discussion.	131
6.5. Conclusion.....	132
Chapitre 7 . Effet de l'utilisation des technologies d'économie d'eau sur la productivité des exploitations agricoles.....	135
7.1. Introduction.	135
7.2. Définition de la productivité totale des facteurs.....	136
7.3. Méthodologie.	137
7.3.1. Estimation de la croissance de la productivité totale des facteurs.	137
7.3.2. Données utilisées.....	138
7.4. Résultats et discussion.....	138
7.4.1. Comparaison des indicateurs économiques.....	138
7.4.2. Calcul et décomposition de la croissance de l'output.	140
7.5. Conclusion.....	141
Conclusion générale	143
Références bibliographiques	149
Annexes.....	172

Liste des tableaux

Tableau 2-1. Ressources en eau.	47
Tableau 2-2. Répartition des eaux renouvelables (en milliard de m ³) selon les cinq bassins hydrographiques.	48
Tableau 2-3. Evolution des indicateurs d'épuration 2004-2014.	52
Tableau 2-4. Prélèvement d'eau conventionnelle et non-conventionnelle.	53
Tableau 2-5. Evolution des superficies équipées pour l'irrigation depuis l'indépendance (incluant l'irrigation par épandage de crue).	57
Tableau 2-6. Demande en eau future.	58
Tableau 3-1. Transferts d'eau en Algérie.	68
Tableau 3-2. Tarification de l'eau à usage agricole.	72
Tableau 4-1. Evolution des lâchers d'eau à partir du barrage et efficacité des réseaux 2010-2016.	81
Tableau 4-2. Tranche d'âges des agriculteurs enquêtés.	88
Tableau 4-3. Répartition des exploitants selon l'âge et leur niveau d'instruction.	88
Tableau 4-4. Répartition des exploitations de l'échantillon selon la SAU et le mode de faire valoir.	89
Tableau 4-5. Répartition des différentes cultures dans la sole maraichère.	91
Tableau 4-6. Coordonnées factorielles des variables utilisées dans la typologie d'exploitations.	94
Tableau 4-7. Classes obtenues et leurs caractéristiques.	94
Tableau 4-8. Caractéristiques des différentes classes d'exploitations et significativité d'une analyse de variance (égalité de la moyenne entre les groupes).	95
Tableau 5-1. Statistiques descriptives des variables utilisées dans la mesure de l'efficacité.	105
Tableau 5-2. Statistiques descriptives des variables utilisées dans la mesure de l'efficacité pour la culture de piment.	105
Tableau 5-3. Statistiques descriptives des variables utilisées dans le modèle Tobit.	106
Tableau 5-4. Distribution des fréquences de score d'efficacité d'un échantillon d'exploitations maraichères.	106
Tableau 5-5. Distribution des fréquences de score d'efficacité par classe d'exploitation.	108
Tableau 5-6. Estimation des déterminants de l'efficacité d'utilisation de l'eau par le modèle Tobit.	109
Tableau 6-1. Caractéristiques des exploitations moyennes (tableau à gauche) et des exploitations archétypes (tableau à droite).	120
Tableau 6-2. Statistiques descriptives des principales variables utilisées dans le modèle de PMP.	123
Tableau 6-3. Caractéristiques des exploitations types.	124
Tableau 6-4. Impact des différents scénarios de tarification de l'eau sur la répartition des cultures des exploitations types.	126
Tableau 7-1. Comparaison des indicateurs économiques entre les agriculteurs utilisant les TEE et les agriculteurs utilisant l'irrigation gravitaire.	139
Tableau 7-2. Décomposition de la croissance de la production entre les utilisateurs de WST et les non-utilisateurs.	140

Liste des figures

Figure 1-1. Les différents niveaux des institutions économiques (sources :Williamson (2000), Brousseau and Glachant (2008) ; Lieberherr (2009))	20
Figure 1-2. Cadre IAD pour l'analyse institutionnelle (Source : Ostrom (2011))	22
Figure 1-3. Structure interne du champ d'action (Source : Ostrom (2011))	22
Figure 1-4. Représentation de la structure institutionnelle de l'eau (Saleth et Dinar, 2004) ...	25
Figure 1-5. Représentation partielle de l'environnement institutionnel de l'eau (Saleth et Dinar, 2004).	26
Figure 1-6. Voies d'impacts des instruments de gestion de la demande en eau d'irrigation.....	30
Figure 1-7. Cadre conceptuel et analytique pour l'étude de la performance des instruments institutionnels de gestion de l'eau d'irrigation dans les périmètres irrigués algériens.....	36
Figure 2-1. Carte climatique de la région méditerranéenne (Source : Plan bleu, 2002).	46
Figure 2-2. Découpage de l'Algérie en régions hydrographiques (Agency Hydrographic Basin Sahara, 2005).....	48
Figure 2-3. Superficie équipée des grands périmètres d'irrigation.	56
Figure 4-1. Zone d'étude, périmètre irrigué Jijel-Taher situé dans le nord-est de l'Algérie (Source : Google Earth).....	80
Figure 4-2. Evolution de la superficie irriguée par année et par type de cultures (Source : DSA, 2016).....	83
Figure 4-3. Rendement moyen des cultures avant et après l'aménagement (DSA, 2016).....	83
Figure 4-4. Part relative de chaque charge par rapport aux charges totales.	93
Figure 5-1. Frontière de production et mesure de l'efficacité technique (adapté à partir de : Coelli (1996)).	100
Figure 5-2. Effet des quotas d'eau d'irrigation sur les scores d'EUE.....	103
Figure 5-3. Distribution des scores d'efficacité technique et d'usage de l'eau dans les deux groupes d'agriculteurs identifiés (Classe1 et classe2).....	107
Figure 5-4. Effet des différents scénarios de quotas sur l'EUE dans la zone d'étude, sous les deux hypothèses VRS (gauche) et CRS (droite).	110
Figure 5-5. Effet des différents scénarios de quotas sur l'efficacité technique globale dans la zone d'étude, sous les deux hypothèses VRS (gauche) et CRS (droite).	110
Figure 5-6. Evolution de l'efficacité d'échelle (d'utilisation de l'eau d'irrigation) des deux groupes d'exploitations sous différents scénarios de quotas d'eau.	111
Figure 6-1. Les superficies de cultures observées et simulées par exploitation type, exploitation type 1 (à gauche) et exploitation type 2 (à droite).....	124
Figure 6-2. Impact des différents scénarios de quotas d'eau sur la répartition des cultures des exploitations types (exploitation type 1 en haut, exploitation type 2 en bas).	127
Figure 6-3. Impact de différents scénarios de prix de l'eau et des quotas sur la demande en eau dans les deux types d'exploitations agricoles.	128
Figure 6-4. Impact des différents scénarios de prix et de quotas d'eau sur la marge brute des deux exploitations types.	129
Figure 6-5. Effet des différents scénarios de tarifications et de quotas d'eau sur la demande en main-d'œuvre dans les deux exploitations types.....	130

Introduction générale et problématique

Introduction générale et problématique.

1. Politique de mobilisation et d'offre d'eau en Algérie.

L'Algérie présente un climat de type méditerranéen caractérisé par une grande variabilité saisonnière et régionale. L'importance de cette irrégularité pluviométrique ainsi que la croissance de la demande de consommation accentuent le problème des disponibilités en eau. Toutefois, pour maintenir l'approvisionnement en eau et accroître la disponibilité de la ressource, le gouvernement a mis en place plusieurs projets depuis le début des années 2000. Ainsi, de nombreux efforts ont été employés pour réaliser de nouvelles capacités de stockage des eaux de surface (Benblidia et Thivet, 2010; Drouiche et al. 2012). En parallèle, un programme de transferts régionaux qui vise à assurer une meilleure équité et à pallier les disparités géographiques entre les territoires pour l'accès à l'eau a été progressivement mis en œuvre. Ces transferts d'eau à partir des zones les plus arrosées sont en accord avec les objectifs de la stratégie de sécurité alimentaire du pays qui vise à soutenir les régions à fort potentiel agricole (Mozas et Ghosn, 2013). Ces initiatives ont surtout visé le développement du secteur agricole, en favorisant les cultures intensives et l'extension des surfaces irriguées. Celles-ci ont atteint 1226 milles ha en 2014 contre 620 milles en 2001 (Ministère de l'Agriculture, 2003 ; FAO, 2015a), et ont permis au secteur de l'agriculture d'enregistrer une évolution dans sa contribution au PIB avec 12,9 % du PIB en 2016 contre 7% en 2008 (Banque mondiale, 2016a).

Aujourd'hui, à cause de l'incapacité à couvrir les besoins en eau grâce aux ressources hydriques conventionnelles. Le gouvernement tend vers le recours aux eaux non conventionnelles, à savoir le dessalement des eaux de mer et saumâtres (pour l'alimentation en eau potable des villes du littoral et permettre également de réserver une partie plus importante des eaux de barrages à l'agriculture), et la réutilisation des eaux usées épurées pour un usage agricole. Cette dernière pratique a longtemps été entravée en raison de la vétusté des stations d'épuration du pays (Mozas et Ghosn, 2013). Maintenant, elle fait l'objet d'une attention particulière par les pouvoirs publics. En effet, dans la nouvelle politique de l'eau, elle est devenue un axe prioritaire, et des investissements ont été consentis dans la restauration des anciennes stations et dans la construction de nouvelles (Bouziani, 2015).

2. Limites de la politique de l'eau en Algérie.

Jusqu'à présent, en Algérie, l'effort a davantage porté sur les grands ouvrages que sur les services aux usagers, et sur l'investissement plutôt que sur la gestion proprement dite du service de l'eau. La volonté des responsables du secteur de l'eau a été, et demeure encore, de mobiliser le maximum des potentialités naturelles de ressources en eau et de développer en parallèle, des ressources nouvelles, notamment à partir du dessalement (Benblidia, 2011). Si une telle politique d'offre a servi sa fonction historique de soutenir les besoins en eau, elle connaît des limites liées aux coûts très importants d'investissement, mais également aux possibilités limitées d'exploitation de nouvelles ressources (Zeggagh et al. 2010). Car selon ces mêmes auteurs, l'eau est associée à des coûts élevés de transport et de transferts, ainsi qu'à des contraintes sur la qualité dans le cas de l'eau potable, qui nécessite une gestion locale via des services publics locaux.

Actuellement, et en dépit de tous ces efforts, l'extension des superficies irriguées devient de plus en plus difficile et le secteur irrigué montre encore des performances modestes (Mouhouche, 2014). L'agriculture algérienne est loin de couvrir les besoins alimentaires de la population, particulièrement en ce qui concerne les produits alimentaires stratégiques et de large consommation, et de ce fait, la dépendance à l'importation ne fait que croître d'année en année. Cette situation ne cesse de s'aggraver à cause l'accroissement démographique, d'une part, et par l'amélioration du niveau de vie, d'autre part.

Selon le Plan bleu (2006), la poursuite de ces politiques axées sur l'augmentation de l'offre et des prélèvements, mobilisant et altérant toujours davantage les ressources naturelles, comporte de graves risques à terme, en particulier l'épuisement rapide de certaines ressources fossiles, la destruction d'aquifères côtiers par intrusion d'eau de mer, la dégradation de la qualité des eaux et des systèmes aquatiques, la réduction des écoulements et la régression des zones humides.

3. Concept de gestion de la demande en eau.

Avec une disponibilité en eau renouvelable de moins de 300 m³/habitant/an (FAO, 2015a), l'Algérie est caractérisée par un stress hydrique très fort, car elle se situe au-dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³/habitant/an. Il convient donc d'attacher une grande importance à l'amélioration de la gestion des ressources disponibles surtout dans le secteur de l'agriculture qui consomme près de 62% des eaux mobilisées annuellement. Cette nouvelle gestion doit permettre de contrôler, de réduire et d'ajuster les consommations à ce qui est nécessaire. Selon Bouaziz et Belabbes (2002), l'amélioration de

l'efficacité de l'utilisation de l'eau passe certes par l'augmentation de l'offre (une plus grande mobilisation des ressources en eau), mais aussi, et surtout par l'amélioration de la gestion de la demande et sa meilleure valorisation.

La Gestion de la Demande en Eau (GDE) émerge ainsi durant les dernières décennies comme une question centrale de la gestion de l'eau en Méditerranée. En effet, la Commission Méditerranéenne de Développement Durable a conclu, dès 1997, que la GDE constituait «la voie permettant les progrès les plus significatifs des politiques de l'eau en Méditerranée». De plus, différents ateliers organisés dans des régions méditerranéennes (Fréjus en 1997, Fiuggi en 2002, Saragosse en 2007) ont conduit à une reconnaissance progressive de la GDE comme une voie prioritaire pour contribuer à atteindre deux objectifs au centre du concept de développement durable : l'évolution des modes de consommation et de production non viables d'une part, la protection et la gestion durable des ressources naturelles à des fins de développement économique et social, d'autre part (Thivet et Blinda, 2008 ; Blinda et Thivet, 2009).

A la lumière des études menées par Saleth et Dinar (2004), nous soutenons l'hypothèse que la crise de l'eau est bien plus qu'un simple phénomène hydrologique vue comme un déséquilibre entre l'approvisionnement en eau et les besoins, parce qu'elle découle plus d'une utilisation inefficace et d'une mauvaise gestion que de toute limite physique. Selon ces mêmes auteurs, une solution efficace et durable à la pénurie d'eau nécessite une approche économique, une gestion décentralisée et un approvisionnement axés sur le recouvrement intégral des coûts de l'eau. Dans ce sens, les incitations économiques, politiques de tarification, participation des usagers dans la gestion, ainsi que les stratégies d'éducation et d'information sur l'eau sont des outils puissants de la GDE, faisant de cette option une alternative économiquement efficace pour satisfaire la demande croissante et faire face à la rareté des ressources (Westerhoff et Lane, 1996 ; Baumann et al. 1998 ; Mylopoulos et Mentis, 2000).

4. Cadre d'adoption d'une politique de gestion de la demande en eau d'irrigation.

Selon Benblidia (2011), les préoccupations d'économie des ressources en eau qui se sont exprimées au niveau des responsables politiques se sont traduites par des orientations, des décisions réglementaires et quelques actions visant à réduire les gaspillages et les pertes d'eau tout au long du processus production-utilisation. Mais force est de constater que toutes ces actions et initiatives manquent de coordination et de cohérence, que leurs résultats n'ont pas toujours été évalués, autrement dit, qu'elles n'ont pas été portées et encadrées par une politique

globale d'économie des ressources en eau.

Ainsi, Blanc et Legrusse (2007) précisent que les possibilités d'économie d'eau sont évidentes grâce aux outils de gestion de la demande en eau, comme par exemple, le recours massif à l'irrigation localisée ou par l'amélioration significative des réseaux d'adduction dont les pertes sont aujourd'hui importantes. La gestion de la demande suppose également des innovations tarifaires, car l'absence d'un « tarif juste » ne facilite pas le financement des nouvelles installations.

5. Approches théoriques.

L'économie de l'environnement a été un champ de recherche important depuis de nombreuses années. Un nombre croissant de recherches a récemment commencé à explorer des solutions aux problèmes de gestion des ressources naturelles dans un monde où la quantité et la qualité des ressources sont en perpétuelle détérioration. Dans certaines régions et notamment en Algérie, il y a une urgence particulière à s'intéresser à ce problème en raison de l'état périlleux de la ressource hydrique. Tandis que les réalisations passées étaient principalement associées à l'investissement dans les nouvelles structures physiques, les orientations récentes dans le secteur de l'eau doivent être associées à de nouvelles mesures afin d'améliorer la gestion de la demande.

Cette thèse se concentre donc sur l'étude des outils de GDE et met l'accent sur l'analyse de différents instruments institutionnels de gestion de la demande en eau d'irrigation afin d'orienter les futures réformes politiques de l'eau en Algérie. L'exemple du périmètre irrigué Jijel-Taher situé au nord-est de l'Algérie sera présenté afin d'analyser la performance des différents instruments politiques de gestion de la demande en eau au niveau de l'exploitation agricole.

5.1. Une perspective institutionnaliste.

Une caractéristique commune des recherches qui s'intéressent à la gestion des ressources hydriques est qu'elles ont pour origine l'école néoclassique. Cependant, afin d'analyser la gestion des ressources hydriques en Algérie, nous ne devons pas négliger les conséquences sociales et comportementales résultant de la réforme de la politique de l'eau. Cela nécessite d'aller au-delà de l'approche économique néo-classique qui ne prend pas suffisamment en considération l'effet des institutions dans l'élaboration de telles réformes. De ce fait, nous avons

l'intention d'utiliser le cadre de la Nouvelle Economie Institutionnelle (NEI) comme base théorique pour cette étude.

5.2. Définition de la nouvelle économie institutionnelle.

Il a été observé que l'économie institutionnelle est devenue l'un des domaines les plus intéressants de l'économie. Oliver Williamson est l'inventeur de l'expression « nouvelle économie institutionnelle » qui devient à partir des années 1990 la référence de divers courants théoriques, unis par l'idée que les institutions comptent et qu'elles peuvent être analysées avec les instruments de la théorie économique standard, sous réserve d'ajustements apportés à cette dernière (Matthieu, 1986 ; Chavance, 2007). La nouvelle économie institutionnelle est, selon North (1992), « *une tentative d'incorporer la théorie des institutions à l'économie* ». DiMaggio et Powell (1991), quant à eux, ont défini le néo-institutionnalisme comme « *une tentative pour proposer des réponses nouvelles à de vieilles questions concernant la façon dont les choix sociaux sont façonnés, médiatisés, canalisés par des dispositifs institutionnels* ».

5.3. Approche de l'analyse des instruments institutionnels de gestion de l'eau.

En raison du potentiel des instruments institutionnels à influencer les décisions individuelles, notre approche méthodologique, basée sur « le cadre d'analyse de l'impact des instruments institutionnels de gestion de la demande d'eau d'irrigation sur le secteur irrigué et celui de l'eau » proposé par Saleth et Amarasinghe (2010) et Saleth et al. (2016), a pour objectif d'analyser le lien entre les instruments institutionnels et les pratiques des agriculteurs de manière. Le niveau individuel, sur lequel reposent nos applications empiriques, a été choisi, car nous pensons que la performance des instruments institutionnels peut être reflétée par la performance des usagers de l'eau d'irrigation. Dans ce sens, certains indicateurs ont été utilisés afin de mieux cerner l'impact direct et indirect des instruments institutionnels. En utilisant diverses méthodes quantitatives et statistiques, ce dernier type d'informations va nous aider à proposer des perspectives pour améliorer la gestion de l'eau d'irrigation en Algérie. Les instruments institutionnels et les indicateurs de performance spécifiques seront décrits plus en détail dans le chapitre suivant.

5.4. Méthode d'analyse de la performance des institutions de l'eau.

Dans cette thèse, nous adoptons la décomposition institutionnelle du secteur de l'eau et l'évaluation de la performance des instruments institutionnels fournies par Saleth et Dinar (2004) et Saleth et Amarasinghe (2010). L'approche analytique de cette thèse repose sur les

trois étapes suivantes: décomposition des institutions de l'eau, sélection des critères de performance, et enfin, l'application d'une analyse institutionnelle comparative.

Tout d'abord, les concepts d'institutions de l'eau et de performance du secteur de l'eau sont définis. Les principales composantes des institutions de l'eau et des performances du secteur de l'eau sont décomposées conceptuellement pour définir le cadre analytique qui capte les principaux liens entre les institutions et la performance. La décomposition analytique des institutions de l'eau se fait sur deux niveaux. Dans le premier niveau, l'institution de l'eau est décomposée en fonction de ses trois composantes institutionnelles (loi sur l'eau, politique de l'eau et administration ou organisation de l'eau). Au deuxième niveau, chacune de ces composantes institutionnelles est décomposée pour identifier ses aspects institutionnels constitutifs. Bien qu'il soit facile d'identifier tous les aspects institutionnels impliqués dans chacune de ces trois composantes des institutions de l'eau, il est difficile de tous les considérer dans un cadre unique. Donc, pour une évaluation ciblée et gérable, il faut se concentrer sur les principaux instruments institutionnels les plus fréquemment étudiés (à la fois dans la littérature et dans les débats politiques) comme facteurs clés de la performance institutionnelle et sectorielle.

Deuxièmement, un ensemble de variables sont identifiées pour caractériser les liens fonctionnels entre les instruments institutionnels et la performance du secteur irrigué et celui de l'eau. Les indicateurs de performance auxquels l'évaluation est faite, sont : l'efficacité d'utilisation de l'eau, la productivité des facteurs de production et celle de l'eau, et l'élasticité de la demande en eau et des autres inputs.

La troisième étape concerne l'analyse de la performance des instruments institutionnels. La méthodologie d'analyse de la performance utilisée dans cette étude est « l'analyse institutionnelle comparative » (Schmid, 2004 ; et Eggertsson, 2009). L'analyse institutionnelle comparative aide à la sélection des institutions les plus efficaces et clarifie la conception et le changement institutionnel requis. Pour cela, nous nous basons sur une évaluation empirique de la nature et de la force des relations entre les instruments institutionnels et la performance au niveau de l'exploitation.

6. Questions de recherche.

En Algérie, la gestion de l'eau axée sur une stratégie basée sur l'offre et sur les subventions continue à être appliquée avec peu de changement alors même que la ressource devient de plus en plus rare. Jusque-là, peu d'actions ont été conduites pour agir sur l'évolution de la demande

en eau. Les coûts sociaux de la gestion de l'eau publique dépassent les prestations sociales correspondantes. Ajouté à ceci l'augmentation des coûts de mobilisation pour de nouveaux projets d'irrigation, l'ampleur des subventions liées à l'eau, et les frais généraux d'administration constituent une pression sur le plan financier.

Compte tenu de l'importance du besoin urgent d'apporter des solutions sur la manière de faire face aux défis du secteur de l'eau en Algérie, la principale question à laquelle cherche à répondre cette thèse est :

Quels sont les instruments institutionnels permettant de gérer la demande en eau d'irrigation et anticiper son évolution en vue d'une utilisation plus efficace de la ressource ?

A partir de cette question principale, plusieurs autres questions surgissent, à savoir :

- Comment juger de la performance des instruments institutionnels visant à améliorer la gestion de la demande en eau en Algérie ?
- Quels sont les facteurs qui influencent l'efficacité d'utilisation de l'eau au niveau de l'exploitation ?
- Quels sont les instruments institutionnels qui permettent de promouvoir de meilleurs changements dans les habitudes et les comportements des usagers face à l'utilisation de l'eau d'irrigation en vue d'une gestion plus durable de ces ressources en Algérie ? Et que serait le comportement potentiel des usagers de l'eau à l'égard de ces nouveaux dispositifs ?

7. Objectifs.

L'objectif général de cette recherche est d'aider les décideurs du secteur de l'eau en Algérie à orienter les politiques de l'eau pour atteindre trois principaux objectifs, à savoir améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau au niveau de l'exploitation, réduire et mieux gérer la demande en eau d'irrigation, et améliorer la productivité de l'eau et des autres facteurs de production. Cette thèse porte donc sur l'analyse des instruments économiques et des changements institutionnels pour atteindre ces objectifs.

Conformément à la présente et compte tenu de notre cas d'étude, nous pouvons citer les objectifs spécifiques suivants :

- Documenter et évaluer l'état actuel du secteur de l'eau en Algérie, en considérant l'historique et les tendances physiques et institutionnelles de ce secteur ;
- évaluer l'efficacité d'utilisation de l'eau au niveau de l'exploitation tout en identifiant les facteurs qui permettent l'amélioration de celle-ci ;
- identifier et évaluer les instruments institutionnels de gestion de la demande en eau d'irrigation (tarification de l'eau, quotas d'eau, et subvention des nouvelles technologies d'irrigation) qui peuvent construire une source d'encouragement et de responsabilisation des usagers face au manque d'eau en Algérie ;
- et fournir des outils et analyses techniques pour évaluer l'impact de ces instruments sur la demande en eau et l'utilisation des autres inputs.

8. Hypothèses.

La vérification des hypothèses de recherche donnera des indications précieuses aux décideurs pour orienter leurs politiques vers une meilleure gestion de l'eau dans les périmètres irrigués en Algérie. Les hypothèses de recherche que nous allons considérer dans notre étude sont les suivantes :

Hypothèse 1

- Il existe un différentiel d'efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation entre les différentes exploitations au sein du périmètre irrigué Jijel-Tahert, donc il y a une possibilité considérable pour améliorer l'efficacité au niveau de l'exploitation.

Hypothèse 2

- Le niveau d'efficacité peut être expliqué par certains facteurs socio-économiques. Ainsi, il est possible d'améliorer ce niveau d'efficacité en agissant sur ces facteurs, dits déterminants de l'efficacité.

Hypothèse 3

- L'introduction des politiques de tarification et de quota d'eau conduit à une diminution de la demande en eau et à une amélioration de la valorisation de l'eau d'irrigation.

Hypothèse 4

- Les technologies d'économie d'eau, actuellement subventionnées par l'Etat, permettent de réduire le gaspillage de l'eau tout en améliorant sa productivité.

9. Méthodologie et sources de données.

9.1. Méthodes d'analyse.

Afin de tester les hypothèses spécifiques avancées plus haut, des méthodologies spécifiques pour chacune d'elles ont été développées. Chaque chapitre empirique (du chapitre 4 au chapitre 7) contient une section "méthodologie" dans laquelle la méthodologie utilisée est expliquée.

9.2. Collecte de données.

Ce travail est basé sur des enquêtes sur le terrain, le questionnaire étant notre principale méthode d'observation et de recueil d'informations. En premier lieu, nous avons sollicité plusieurs organismes en lien avec l'eau et l'agriculture afin de collecter des informations sur l'agriculture irriguée dans le périmètre irrigué Jijel-Tahert : l'office national de l'irrigation et drainage (ONID) et la subdivision de l'agriculture (DSA) de Jijel. Dans un second temps, des enquêtes individuelles auprès de 93 exploitations agricoles sur un total de 238 ont été réalisées. Une base de données a été créée qui regroupe les données nécessaires ayant servi de base pour confirmer ou infirmer nos hypothèses de recherche.

9.3. Délimitation de l'étude.

Il y a différents domaines politiques qui influent sur le secteur de l'irrigation. Il s'agit des politiques de développement rural, les politiques agricoles et les politiques de gestion de l'eau (Backeberg et al. 1996). Cette thèse se limite au secteur de l'irrigation dans une perspective de gestion de l'eau. Nous allons donc analyser la performance des instruments institutionnels de gestion de l'eau d'irrigation en Algérie et proposer des recommandations pour améliorer la performance de ces dernières. De ce fait, notre étude empirique se limite à l'étude de cas d'un grand périmètre d'irrigation (Jijel-Taher) situé au nord-est de l'Algérie.

Il existe une multitude d'instruments institutionnels de gestions de l'eau d'irrigation. Cependant, pour notre cas, l'analyse se limite à l'effet de trois instruments seulement : i) la tarification de l'eau, ii) la définition des quotas d'eau, et iii) la subvention des technologies d'économie d'eau.

10. Structure du document.

Pour répondre à notre problématique de recherche, cette thèse s'articule autour de deux parties : la première partie présentera l'ancrage théorique, le contexte de la recherche, et les hypothèses de recherche. Elle est composée des chapitres 1, 2, et 3. La deuxième partie abordera la

démarche méthodologique utilisée, l'analyse et la discussion des résultats. Cette partie contient les chapitres 4, 5, 6, et 7.

Le chapitre 1 présente une revue de la littérature théorique sur les institutions de l'eau : définition, décomposition, et évaluation de leur performance. Le cadre analytique de la thèse sera présenté à la fin de ce chapitre.

Dans le chapitre 2, nous allons présenter l'état du secteur irrigué en Algérie, nous parlerons de la disponibilité, de l'offre, de la demande et de l'utilisation de la ressource.

Le chapitre 3 sera consacré à la présentation des lois, des politiques et de l'aspect administratif actuellement mis en œuvre et opérant en Algérie. Nous allons mettre en lumière les obstacles que rencontre ce secteur pour répondre au défi de rareté actuel de l'eau. Cela permet de cibler les interventions politiques et les instruments institutionnels qui pourront permettre une meilleure gestion de la demande en eau d'irrigation. Ces derniers seront analysés dans les chapitres suivants.

Le chapitre 4 est consacré à la caractérisation technico-économique des exploitations agricoles. En un premier temps, nous allons commencer par faire une typologie des exploitations basée sur des données issues d'enquêtes individuelles réalisées entre le mois de janvier et juin 2014. La seconde étape consiste à caractériser les classes d'exploitations obtenues. Ces classes d'exploitations seront la base lors de nos simulations des politiques de l'eau dans les chapitres 5 et 6.

Dans le chapitre 5, nous nous concentrons sur l'interaction entre les caractéristiques structurelles et gestionnaires sur l'efficacité d'utilisation de l'eau dans les exploitations agricoles. Tout d'abord, un aperçu des études similaires dans d'autres pays est donné. Ensuite, nous allons présenter les résultats empiriques d'une recherche menée dans notre zone d'étude pour mettre en évidence les caractéristiques socio-économiques qui affectent l'efficacité d'utilisation de la ressource. Nous allons aussi analyser l'impact d'une politique de quota d'eau sur l'évolution des scores d'efficacité d'utilisation de l'eau.

Dans le chapitre 6, nous allons étudier l'impact de plusieurs scénarios de politiques de l'eau d'irrigation sur le comportement des agriculteurs (en relation avec l'utilisation de l'eau d'irrigation). Les scénarios de politiques en question sont : l'augmentation du tarif de l'eau et l'application d'une politique de quotas d'eau. Cette étude est basée sur le développement d'un

modèle de programmation mathématique positive basée sur les données des exploitations types¹.

Dans le chapitre 7, nous allons étudier le rôle de l'adoption des technologies économes en eau sur la réduction du gaspillage et sur l'augmentation de la productivité totale des facteurs de production et celle de l'eau. Le principe est de comparer la productivité de l'eau entre les exploitations utilisant les technologies d'économie d'eau, spécialement le goutte-à-goutte, et ceux qui utilisent le système gravitaire.

¹ Les exploitations types sont obtenues en utilisant 'la représentation archétype' (Voir 6.2.2.).

Partie 1. Cadre théorique, cadre conceptuel, et contexte national.

Chapitre 1 . Revue de la littérature et cadre conceptuel : économie institutionnelle appliquée au secteur de l'eau.

1.1. Introduction.

Ce chapitre a pour objectif de présenter une revue de la littérature suite aux questions de recherches définies dans l'introduction générale. Le cadre théorique mobilisé sera l'économie néo-institutionnelle. Dans un premier temps, nous allons définir les concepts clés et présenter le cadre de décomposition et d'analyse institutionnelle ou IDA « Institutional Analysis and Decomposition » développé par Saleth et Dinar (1999, 2000 et 2004). Nous allons aussi définir le cadre présenté par Saleth et Amarasinghe (2010) et Saleth et al. (2016) qui illustre la relation entre les instruments économiques de gestion de la demande en eau d'irrigation et certains indicateurs de performance au niveau de l'exploitation. Dans cette étape de cadrage de l'analyse, nous allons présenter les critères de performance ainsi que les méthodes appropriées permettant d'utiliser ces dernières afin d'évaluer la performance des institutions² de l'eau. Dans un second temps, nous allons présenter un cadre conceptuel spécifique à notre cas d'étude en se basant sur le cadre construit par Saleth et Amarasinghe (2010). Dans notre analyse nous allons nous intéresser à trois instruments institutionnels, qui sont : i) la tarification et le recouvrement des coûts de mobilisation de l'eau, ii) le droit de l'eau (imposition de quotas d'eau), et iii) la subvention des technologies d'économie d'eau. La performance de ces instruments institutionnels sera évaluée en se basant sur l'analyse institutionnelle comparative proposée par Schmid (2004) et Eggertsson (2009). Cette dernière permet de faire un jugement sur la performance des instruments institutionnels en se basant sur leurs impacts sur des indicateurs de performances au niveau de l'individu (comme l'efficacité d'utilisation de l'eau, la productivité, et l'élasticité par rapport à l'utilisation de l'eau).

²Étant donné que les institutions sont définies conjointement par des aspects juridiques, politiques et organisationnels, tous les instruments de gestion de la demande en eau (sauf les techniques d'économie d'eau) peuvent eux-mêmes être considérés comme des institutions (Saleth et Dinar, 2004 ; Saleth et Amarasinghe, 2010).

Section 1. Cadre théorique : décomposition et analyse des institutions de l'eau.

1.2. Essence de l'économie néo-institutionnelle.

1.2.1. Théories institutionnelles et néo-classiques.

‘L'ancienne’ et la nouvelle économie institutionnelle (NEI) sont les deux approches qui constituent l'économie institutionnelle. Ces dernières possèdent certaines caractéristiques communes qui les distinguent de l'économie orthodoxe (néo-classique). Celle qui nous intéresse est l'intégration des institutions et des mécanismes institutionnels dans l'analyse économique (North, 1992 ; Rutherford, 1996). L'ancienne et la nouvelle économie institutionnelle ont une perspective critique d'un grand nombre d'hypothèses de l'économie néo-classique. Cette dernière considère que le marché est un mode d'organisation optimal. Car régulé par une concurrence pure et parfaite, supposant de ce fait que l'information est parfaite (transparence, libre accès, et absence de coût). La NEI quant à elle soutient que certains facteurs, par exemple le comportement opportuniste des agents, les coûts de transaction supérieurs à zéro, l'asymétrie de l'information, et les droits de propriété devraient être intégrés à l'analyse économique (Rutherford, 1996 ; Rossiaud et Locatelli, 2010). Dans cette situation, les institutions sont considérées comme des structures clés pour façonner le comportement des agents économiques (Madigele, 2017).

Contrairement à l'ancienne économie institutionnelle qui rejette la théorie économique néoclassique, la nouvelle économie institutionnelle, quant à elle, cherche à s'y inspirer dans le but de prendre en compte un éventail de facteurs qui sont généralement ignorés par la théorie néoclassique (Rutherford, 1989 ; North, 1993). Les défenseurs de la NEI estiment que «les déterminants des institutions sont susceptibles d'être analysés par les outils de la théorie économique» (Matthews, 1986). En d'autres termes, la NEI est une méthode d'investigation qui tente de sauver l'économie néo-classique en intégrant les institutions dans son analyse. Selon North (1978), abandonner la théorie néoclassique signifie abandonner l'économie comme science.

Ce lien entre l'économie néo-classique et la NEI est important, car cela signifie que l'approche de cette dernière accepte certaines des hypothèses de l'économie néoclassique (Hodgson, 1989). Par exemple, les marchés sont au cœur de l'approche néoclassique et sont censés être les principales structures institutionnelles dans l'approche de la NEI. Au côté de l'acceptation des marchés comme un moyen de répartir les ressources, l'accent mis par les néo-classiques sur

l'efficacité est conservé dans la nouvelle économie institutionnelle et est destiné à réduire les coûts de transactions qui existent sur le marché (Chavance, 2009).

L'ancienne et la nouvelle économie institutionnelle diffèrent significativement quant à leur analyse. L'approche de la vieille économie institutionnelle est souvent dénommée « holisme méthodologique » Langlois (1986) alors que l'approche de la nouvelle économie institutionnelle est souvent dénommée « individualisme méthodologique » (Rutherford, 1989). Selon Brochier (1994) « La règle fondamentale de l'individualisme méthodologique serait de considérer que tout phénomène économique ou social global est le résultat d'actions ou d'états de conscience individuels ». L'individualisme « refuse par principe de traiter comme acteur un groupe qui, comme l'individu, serait doté d'une identité, d'une conscience et d'une volonté » (Boudon, 1988). L'holisme prive les individus de leur liberté et de leur responsabilité d'être rationnels et libres, en déplaçant le déterminisme naturel à la société, « Ce sont les structures de la société qui sont supposées être les éléments actifs, tandis que les individus sont décrits comme se comportant de manière passive et comme n'ayant d'autre liberté que celle de réaliser un destin fixé d'avance » (Boudon, 1988).

1.2.2. Application de la nouvelle économie institutionnelle aux problèmes de mauvaise gestion.

Les théoriciens de l'économie et d'autres chercheurs de diverses disciplines ont, au fil des ans, accordé une attention croissante, non seulement à la compréhension de la position des institutions dans les systèmes économiques (Saleth et Dinar 2004; Rossiaud et Locatelli 2010). Ils se sont concentrés sur le développement de paradigmes nécessaires à l'évaluation des problèmes de mauvaise gestion, de mauvaise allocation, et de rareté des ressources d'un point de vue institutionnel (Rossiaud et Locatelli, 2010). Il a été observé que l'économie institutionnelle est devenue l'un des domaines les plus intéressants et les plus animés de l'économie et c'est parce que ce domaine de l'économie a mis en place deux propositions: d'abord, «les institutions sont importantes» et, deuxièmement, «les déterminants des institutions sont sensibles d'être analysés par les outils de la théorie économique» (Matthieu, 1986).

L'économie institutionnelle cherche à démontrer comment les institutions influent sur le choix du public et sur le comportement humain. L'économie institutionnelle est donc le domaine de l'économie qui utilise un large éventail de la littérature à partir d'autres domaines d'études tels que le droit, la sociologie, l'écologie, la sociobiologie, et beaucoup d'autres, ceci dans un effort d'établir le rôle joué par les institutions dans le développement économique et du comportement

(Brousseau et Glachant, 2008). Ce domaine de l'économie vise à démontrer comment les institutions formelles et informelles telles que les contrats, les droits de propriété, les entreprises et d'autres arrangements sociaux peuvent conduire à une croissance économique positive et à une réduction des coûts de transaction.

Certains économistes néo-institutionnels se sont intéressés au secteur de l'eau. Ces derniers ont identifié un certain nombre de caractéristiques essentielles d'une institution de l'eau efficace, notamment être : objective et non ambigu, adaptable, rationnelle techniquement, politiquement, et organisationnellement, et avoir bonne interaction avec les autres institutions (Nystrom et Starbuck, 1981; Ostrom, 1992). Une institution de l'eau doit aussi être équitable et devrait offrir des possibilités accrues d'inclusion sociale, répondre aux besoins des groupes défavorisés et être sensible aux besoins locaux (Ostrom, 2011).

Les approches de la NEI ont été particulièrement pertinentes pour l'étude des échecs liés aux institutions des pays en développement. Harris et al. (1995) rapportent que la NEI est une contribution théorique importante aux études de développement et confirme la nécessité de l'étude du changement institutionnel dans le temps pour les analystes et les décideurs concernés dans le tiers monde. Bates (1995) a noté que l'institutionnalisation joue maintenant (et continuera à jouer) un rôle majeur dans l'histoire du développement. North (1990a), quant à lui, fait valoir que le processus de développement économique consiste à remplacer les institutions inefficaces³ par des institutions qui favorisent la croissance. Il note en outre que les institutions qui réduisent les coûts de transaction sont des caractéristiques des sociétés avancées, tandis que les institutions inefficaces sont des caractéristiques des économies moins développées. En d'autres termes, les sociétés sont économiquement fructueuses quand ils ont «de bonnes» institutions économiques et ce sont ces institutions qui sont la cause de la prospérité. De même, Shirley (2005) affirme que les économies de marché prospères sont caractérisées par des institutions qui (i) favorisent l'échange en réduisant les coûts de transaction et en encourageant la confiance, et (ii) stimulent les acteurs étatiques à protéger les biens et les droits individuels plutôt que de les exproprier et de les exploiter.

Le développement économique peut donc être considéré comme une réponse à l'évolution des institutions qui soutiennent une relation sociale et commerciale progressive. À son noyau, l'hypothèse que les différences dans les institutions économiques sont la cause fondamentale de

³ Le concept d'efficacité utilisé ici est celui de la NIE, qui rattache l'efficacité à la performance (Herrera et al., 2004).

différents schémas de croissance économique est basée sur la notion que c'est la façon dont les humains eux-mêmes décident d'organiser leurs sociétés qui détermine si elles prospèrent ou non (Khan et Ansari, 2008). En effet, certaines façons d'organiser les sociétés encouragent les gens à innover, à prendre des risques, à épargner pour l'avenir, à trouver de meilleures façons de faire, à apprendre et à s'éduquer, à résoudre les problèmes d'action collective, et à fournir des biens publics. D'autres non.

1.3. Définition des institutions.

Dans la littérature, il n'existe pas de définition universelle des institutions. Cependant, il y a une littérature variée qui tente de définir les institutions (voir, par exemple, North, 1991 ; Searle, 2005 ; et Hodgson, 2007). La définition de North (1991) semble être la base de la plupart des recherches dans le domaine du droit et de l'économie. Selon le même auteur « les institutions sont des contraintes conçues par l'homme afin de structurer les interactions sociales, économiques et politiques ». Cette définition, qui porte la marque de la NEI, implique que les êtres humains font des choix rationnels dans leurs transactions marchandes qui, sur la base de préférences données et inchangées maximisent leur utilité. La fonction des institutions est de donner aux individus la possibilité et la volonté d'avoir des activités marchandes profitables en transmettant l'information, en faisant respecter les droits de propriété et les contrats, et en régulant la concurrence (United Nations, 2007). La définition donnée par Ostrom (2008) est également utile dans le contexte de la recherche sur les institutions et l'environnement – «... les institutions se réfèrent aux règles que les humains utilisent lors de l'interaction au sein d'une grande variété de situations répétitives et structurées à plusieurs niveaux d'analyse ». Enfin, dans un sens très restrictif et simpliste, les institutions pourraient être définies comme « un accord entre deux agents qui établit les limites acceptables d'un comportement humain dans une situation et un environnement donnés » (Ménard, 2003 ; Khan et Ansari, 2008).

Selon North (1991), les institutions peuvent être formelles⁴ (les constitutions, les lois, les droits de propriété) ou informelles (sanctions, tabous, coutumes, traditions, et codes de conduite). Il existe une complémentarité entre les deux types d'institutions, par exemple, Trouinard (2004) souligne le caractère dynamique des types d'institutions. Des institutions formelles deviennent, au fil du temps, informelles de par leur intériorisation par les acteurs concernés. Cela nous

⁴Dans une perspective de la théorie des jeux, les règles formelles sont celles qui ne peuvent pas être changées ou modifiées par les joueurs pendant le jeu et doivent être déterminées avant que le jeu commence. Ils donnent l'incitation aux joueurs qui cherchent la meilleure façon de se comporter afin de maximiser leur utilité (Saleth et Dinar, 2004).

ramène à la « construction sociale » des institutions, selon Berger et Luckmann (1967), où les pratiques des individus se conforment à des règles et des sanctions formelles et ces pratiques deviennent graduellement des habitudes et des routines et représentent la « réalité sociale ». Il arrive aussi que des institutions informelles deviennent formelles comme dans le cas où les institutions émergent d'un consensus socialement construit de façon informelle au départ. En effet, dans la réalité, les institutions formelles sont également dérivées et dépendantes des institutions informelles, notamment pour leur stabilité et leur vigueur. Ainsi, tout effort visant à concevoir des institutions formelles efficaces doit prendre en compte la façon dont les nouvelles institutions formelles interagissent avec les institutions informelles qui règnent (Eggertsson, 1996)

Bien que les institutions formelles et informelles sont étroitement liées et reliées, elles diffèrent de par leurs sources et leur niveau de variation (North, 1990b). Les institutions informelles ne sont pas volontairement conçues, mais évoluent par une interaction spontanée, tandis que les institutions formelles peuvent être conçues (Commons, 1968 ; North, 1990a). Les institutions formelles peuvent être changées par le biais de programmes de réforme, mais leurs homologues informels ne sont pas modifiables. De même, à la différence des institutions formelles créées et maintenues habituellement par l'État ou par un processus politique, les institutions informelles telles que les conventions, les normes, et les coutumes évoluent essentiellement grâce à un processus socioculturel. Ainsi, les changements dans les institutions formelles peuvent être évalués. Mais, les changements dans les institutions informelles ne peuvent être expliqués purement du point de vue économique (Eggertsson, 1996). Une autre différence est la temporalité de changement. S'il est relativement facile de changer les premières, les secondes ne se modifient que très progressivement. Voilà pourquoi les transformations révolutionnaires ne sont jamais aussi profondes que le souhaitent leurs partisans, ou pourquoi le transfert ou l'imitation des institutions formelles d'un pays à l'autre n'aboutissent pas aux résultats espérés (Chavance, 2007).

1.4. Décomposition et analyse de la performance des institutions de l'eau.

1.4.1. Définition des institutions de l'eau.

Suivant la définition des institutions d'une manière générale donnée par Commons (1968), Bromley (1989), North (1990a) et Ostrom (1990), les institutions de l'eau peuvent être définies dans cette thèse comme « les règles qui ensemble décrivent et limitent les actions, offrent des incitations et déterminent les résultats, aussi bien dans les décisions individuelles

que collectives relatives à l'allocation, l'utilisation et la gestion des ressources hydriques » (Saleth et Dinar, 2004). L'état de la durabilité des ressources dépend alors, entre autres, de l'état et des performances de ces institutions. Comme toutes les institutions, les institutions de l'eau sont également subjectives⁵, dépendantes⁶, hiérarchiques, imbriquées structurellement et incorporées dans le contexte culturel, social, économique et politique (Saleth et Dinar, 2005).

Les règles mentionnées dans la définition des institutions de l'eau apportée par Saleth et Dinar (2004), peuvent être formel et macro, mais aussi informelles et micro. Elles constituent une configuration structurellement liée (structure institutionnelle) incorporée dans un contexte social, économique et culturel donné (environnement institutionnel) (Saleth, 2005). En outre, l'institution de l'eau telle qu'utilisée dans cette étude ne couvre que ses dimensions formelles. C'est à dire, Loi sur l'eau, politique de l'eau et administration de l'eau, et exclut l'aspect informel tel que les conventions, les coutumes, et les traditions administratives.

1.4.2. Décomposition des institutions.

Les institutions fonctionnent comme un système caractérisé par des liens complexes et multiples. En effet, « *les institutions étaient parfois traitées comme des entités uniques, mais, en réalité, ils sont constitués de composantes et d'éléments analytiquement et fonctionnellement distincts* (Saleth et Dinar, 2004) ». L'approche analytique la plus utilisée pour résoudre ce problème consiste à décomposer les institutions en leurs principales composantes.

La décomposition des institutions a été identifiée par North (1997) comme un problème très important dans les études de la NEI. En procédant ainsi, il est possible d'étudier la performance de chaque composante et d'établir des liens entre elles. La méthode de décomposition permet également de faire la distinction entre les caractéristiques endogènes et exogènes des institutions. Ce raisonnement a été suivi dans de nombreux cadres de recherche sur les institutions, parmi eux, la Décomposition et l'Analyse Institutionnelle (Institutional Decomposition and Analysis ou IDA) fournie par Saleth et Dinar (1999, 2000, 2004).

⁵Les institutions sont subjectives dans l'origine et le fonctionnement, mais objectives dans la manifestation et l'impact (Hodgson, 1998). Leur nature subjective est reconnue comme le « système de croyance » (Veblen, 1919), « les habitudes comportementales » (commons, 1934), « construction mentale » ou le « modèle subjectif » des individus (North, 1990 a) et « artefacts » qui pensent et agissent par l'intermédiaire du milieu humain (Douglas, 1986 ; Stein, 1997 ; Ostrom, 1999).

⁶ Signifie que l'état actuel et l'orientation future des institutions ne peuvent être dissociées de leur parcours antérieur et des antécédents (North, 1990 a).

Les tentatives de décomposition sont répandues dans les études empiriques de l'économie institutionnelle. On peut trouver dans la littérature une multitude de décompositions en différentes composantes et sous-composantes. Par exemple, Adelman et Head (1983) décomposent les institutions en trois catégories : les mœurs sociales et les normes, les lois et les règlements et enfin les arrangements contractuels. Clague (1997), aussi, identifie trois catégories d'institutions : l'ordre constitutionnel (règles fondamentales), les arrangements institutionnels (les règles de fonctionnement mises au point au sein de l'ordre constitutionnel) et les dotations culturelles (les normes comportementales et les modèles mentaux partagés par la société). Coriat et Dosi (1998) distinguent trois composantes des institutions : les organisations formelles (entreprises, organismes d'État, organisations économiques et sociales, etc.), les modes de comportement communs (codes d'éthique, comportement social, etc.) et les normes et les contraintes (règles morales et lois formelles).

Il existe aussi des approches plus systématiques à la décomposition institutionnelle. Par exemple, les institutions peuvent être décomposées en des termes plus généraux, fondées sur la distinction entre l'environnement institutionnel (ou cadre institutionnel) et la structure institutionnelle (ou structure de gouvernance) (Bromley 1989 ; North, 1990 a ; Williamson, 1994). Williamson (1985) fournit quelques avancées dans la NEI, basée sur l'interaction entre ces niveaux (coûts de transaction et organisation), soulignant l'importance de la décomposition des institutions. L'environnement et la structure institutionnels peuvent également être divisés en composantes et sous-composantes comme cela a été entrepris dans d'autres tentatives de décomposition.

Malgré la croissance et la diversité de l'analyse de l'économie institutionnelle, une taxonomie complète des institutions et un cadre permettant une distinction claire entre les structures institutionnelles fait encore défaut dans la littérature (Johnson et Nielsen, 1998). Il existe quelques tentatives de décomposition des institutions des ressources naturelles (Oakerson, 1986 et 1992 : modèle pour l'analyse des problèmes de la propriété commune ; Ostrom et al. 1994 : Cadre de l'analyse et du développement institutionnel ou « Institutional Analysis and Development (IAD) framework » ; Saleth et Dinar, 2004 : cadre d'analyse et décomposition institutionnelle (IDA) ; Hagedorn et al. 2002 : cadre des institutions du développement durable).

1.4.2.1. Niveaux des institutions selon Williamson.

Les partisans de la NEI notent que certaines des inefficacités du secteur de l'eau sont en partie dues à l'échec de la politique de l'eau à incorporer les normes sociales, les règles et les

comportements des agents, et le recours aux paradigmes économiques néoclassiques dans les stratégies de tarification North (1990a). En outre, ils affirment que le manque de succès peut être attribué au non-respect des interconnexions entre les niveaux des institutions économiques au cours des étapes de formulation et de mise en œuvre de la politique de l'eau (Williamson, 2000 ; Brousseau et Glachant, 2008 ; Lieberherr, 2009).

Il existe quatre niveaux d'interconnectés et interdépendants par lesquels on peut examiner les rôles des institutions économiques, politiques, sociales, et culturelles des activités économiques (Lieberherr, 2009). La Figure 1-1 illustre les principales caractéristiques de ces niveaux.

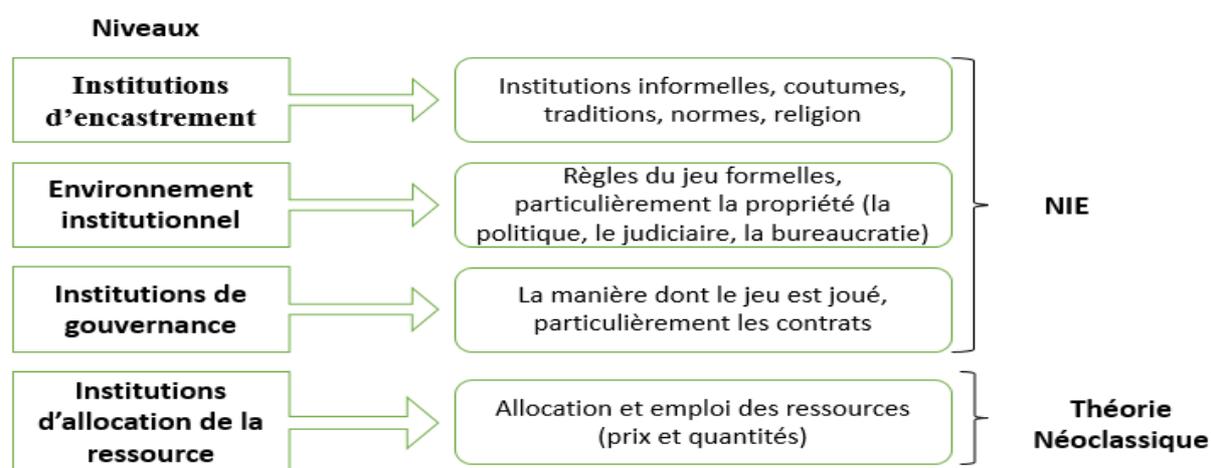


Figure 1-1. Les différents niveaux des institutions économiques (sources :Williamson (2000), Brousseau and Glachant (2008) ; Lieberherr (2009))

Le niveau 1, qui est le niveau le plus élevé de la hiérarchie institutionnelle, est constitué d'institutions d'encastrement ou culturelles. Ces institutions comprennent les institutions informelles, les normes, l'éthique, les traditions, la religion et les coutumes qui influent sur les choix et les individus, ainsi que sur les principes de la société (Williamson 2000; Lieberherr 2009). Williamson (2000), fait remarquer que « les institutions d'encastrement sont une partie importante, mais cette dernière n'a pas été développée dans la littérature ».

Le niveau 2 décrit les éléments qui constituent l'environnement institutionnel de base et est également appelé "les règles du jeu", le niveau constitutionnel, ou "le cadre de gouvernance" (Brousseau et Glachant 2008). Il s'agit notamment d'institutions formelles telles que la constitution, les droits de propriété, les tribunaux, le droit et d'autres institutions qui appliquent le pouvoir du gouvernement pour allouer et distribuer les ressources en eau de manière efficace, efficiente, durable et équitable (Williamson 2000; Lieberherr 2009).

Le troisième niveau englobe les institutions de gouvernance⁷ (Lieberherr, 2009). Les institutions de gouvernance ou « structures de gouvernance » sont nécessaires pour réglementer les relations entre les agents dans le secteur de l'eau afin de gérer les conflits, assurer la stabilité, et permettre aux agents du secteur de maximiser leurs gains au moindre coût possible. Les institutions de gouvernance varient d'un pays à l'autre, selon l'environnement économique et politique à un moment donné (Madigele, 2017).

Enfin, le niveau 4 comprend les institutions d'allocation et d'emploi des ressources (Williamson 2000; Brousseau et Glachant 2008; Lieberherr 2009). C'est à ce niveau que les individus prennent des décisions quant à l'allocation des ressources et aux opérations quotidiennes de l'économie. Les décisions prises par les individus sont donc conditionnées par leurs préférences endogènes et leurs attributs comportementaux, ainsi que par l'environnement et les institutions englobées dans les trois précédents niveaux.

Le cadre de Williamson illustre un élément clé de la nouvelle économie institutionnelle. Cette caractéristique est sa nature dynamique ou évolutive. En effet, les différents niveaux des institutions présentées dans la Figure 1-1 évoluent au fil du temps. Cela signifie que l'analyse des phénomènes peut être évaluée au fil du temps. Par exemple, les changements dans les structures de gouvernance (les institutions du niveau 3), au fil du temps, auront un impact sur les institutions du niveau 2 et du niveau 4, et vice versa.

1.4.2.2. Cadre d'Analyse et du Développement Institutionnel (IAD) de Ostrom.

Pour Ostrom (1990 ; 2011) et Ostrom et al. (1994), les processus politiques et les externalités sont affectés, dans une certaine mesure, par quatre types de composantes (voir Figure 1-2) qui sont: (1) les attributs du monde physique, (2) les attributs de la Communauté dans lesquels les acteurs sont inclus, (3) les règles qui créent des incitations et des contraintes pour certaines actions, et (4) les interactions avec d'autres individus.

⁷On entend par gouvernance l'exercice des compétences politiques, administratives et économiques pour la gestion des affaires d'un pays à tous les niveaux, cela englobe un ensemble complexe de mécanismes, processus, relations et institutions par l'intermédiaire desquels les citoyens et différents groupes font connaître leurs intérêts, exercent leurs droits, honorent leur obligations et règlent leurs différends. Les institutions sont donc une partie des structures de gouvernance, mais leur rôle ne se limite pas à cela. Elles englobent des structures et mécanismes sociaux formels et informels, notamment les règles et règlements qui influent sur le comportement des personnes et les fonctions de l'Etat (United Nations, 2007).

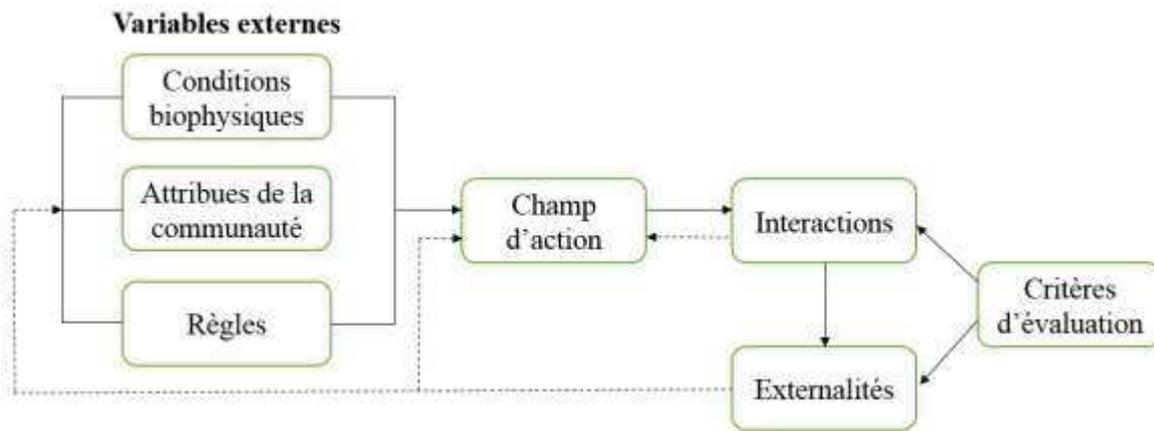


Figure 1-2. Cadre IAD pour l'analyse institutionnelle (Source : Ostrom (2011))

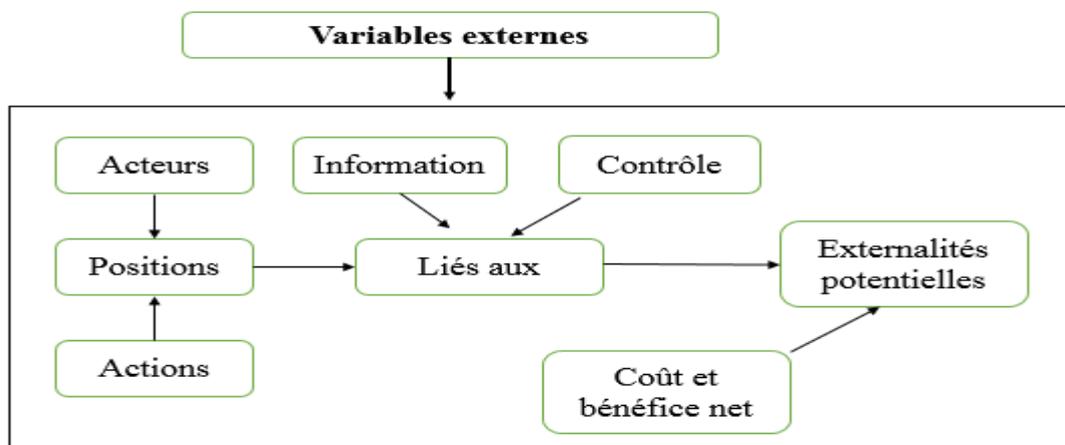


Figure 1-3. Structure interne du champ d'action (Source : Ostrom (2011))

Le champ d'action “action situation”, détaillé dans la Figure 1-3, est considéré comme l'unité d'analyse et de focalisation pour l'investigation. C'est «l'espace social où les individus interagissent, échangent des biens et des services, s'engagent dans des activités d'appropriation et d'approvisionnement, rencontrent ou résolvent des problèmes» (Ostrom et al. 1994). Selon Ostrom (2011), le champ d'action comprend les éléments suivants: (1) l'ensemble des acteurs qui occupent, (2) des postes spécifiques et qui doivent choisir entre, (3) un ensemble d'actions admissibles en liaison avec, (4) les externalités potentielles qui résultent des séquences d'actions individuelles, (5) le niveau de contrôle de chaque participant sur le choix de ses actions, (6) l'information disponible aux participants sur la structure du champ d'action, et (7) les coûts et les bénéfices, qui servent d'incitations ou de dissuasions, attribuées aux actions et aux externalités.

Le monde physique (Figure 1-2) varie d'une situation à l'autre et est affecté par les paramètres physiques et les interactions humaines. La communauté constitue également un contexte

important qui affecte les actions individuelles, y compris «les normes de comportement, le niveau de compréhension commune des champs d'action, la mesure dans laquelle les préférences sont homogènes, et la répartition des ressources entre les membres» (Ostrom et al. 1994).

Les règles (Figure 1-2) sont des énoncés définissant les actions requises, permises ou prohibées ainsi que les sanctions si les règles ne sont pas respectées (Crawford et Ostrom, 2005 ; Ostrom, 1997 ; Siddiki et al. 2011). Ces règles peuvent être changées dans l'espoir que de nouveaux résultats émergent. Ostrom (1990) et Ostrom et al. (1994) décomposent les règles en trois catégories différentes: (1) les règles « opérationnelles » appliquées aux actions au jour le jour, qui définissent notamment les droits et les obligations des parties, tels que, dans le cas des ressources communes ou ‘‘Common pool ressources’’, les droits d'accès aux ressources et les droits d'obtenir des produits (Ostrom et Basurto, 2011) (2) « les règles de choix collectifs » qui déterminent notamment qui participe aux activités opérationnelles et comment les règles opérationnelles peuvent être modifiées, et (3) « les règles de choix constitutionnels » qui fondent une organisation, encadrent les règles de choix collectifs en déterminant qui peut y participer, et quelles règles sont mises en œuvre pour construire ou modifier les règles de choix collectifs.

En plus d'évaluer les externalités obtenues, l'analyste institutionnel peut prédire les externalités qui pourraient être obtenues dans le cadre d'arrangements institutionnels alternatifs. Bien qu'il existe de nombreux critères d'évaluation, Ostrom (2011) se base dans son analyse sur les critères suivants : (1) l'efficacité économique, (2) l'équité au moyen de l'équivalence fiscale, (3) l'équité en matière de la distribution, (4) la responsabilisation, (5) la conformité aux valeurs des acteurs locaux, et (6) la durabilité.

1.4.2.3. Cadre d'Analyse et Décomposition des Institutions de Saleth et Dinar.

Saleth et Dinar (1999, 2000, 2004) ont élaboré le cadre de « l'analyse et de la décomposition institutionnelle » ou « Institutional Decomposition and Analysis (IDA) » en se basant sur le cadre d'analyse et du développement institutionnel proposé par Ostrom (1990 et 2011). Le cadre IDA a été adapté et appliqué au secteur de l'eau d'irrigation par Saleth et Amarasinghe (2010), et Saleth et al. (2016) afin d'évaluer la performance des institutions en mettant l'accent sur les relations institution-performance du secteur irrigué. En relation avec les trois catégories de règles fournis par le cadre IAD de Ostrom et qui sont liées hiérarchiquement. Saleth et Dinar ont décomposé les institutions en trois principales composantes, ils associent les règles de choix

constitutionnelles aux « lois », les règles des choix collectifs aux « politiques » et les règles opérationnelles à « l'administration ». Ces dernières sont considérées comme les principaux éléments des institutions de l'eau.

Saleth et Dinar (2004, 2005) définissent les institutions comme des « entités constituées par un ensemble de règles légales, politiques, et organisationnelles, ainsi que par des conventions et des pratiques qui sont structurellement liées et opérationnellement intégrées dans un environnement bien spécifié ». D'après cette définition, ils soutiennent le fait que la décomposition des institutions est une étape essentielle dans l'analyse de la performance des institutions. Conformément à Williamson (1975), ces mêmes auteurs établissent une distinction entre l'environnement institutionnel de l'eau (cadre de gouvernance) et sa structure institutionnelle (structure de gouvernance). Ils considèrent également qu'étant donné que la structure institutionnelle est intégrée dans l'environnement institutionnel, l'évolution du premier est invariablement conditionnée par des changements dans le second. Ainsi, les changements dans la structure institutionnelle influent aussi sur le cadre de gouvernance (Williamson, 1996).

- **Structure institutionnelle dans le secteur de l'eau.**

La structure institutionnelle de l'eau, telle que présentée par Saleth et Dinar, est définie par trois composantes institutionnelles interreliées, qui sont la loi sur l'eau, la politique de l'eau et l'administration/organisation de l'eau (Figure 1-4). Ces composantes institutionnelles couvrent non seulement le niveau des arrangements formels et macroéconomiques, mais aussi les arrangements informels et microéconomiques tels que les coutumes locales, les conventions et les contrats informels (Saleth, 2004). Aussi, comme le montre la Figure 1-4, le cadre IDA met en évidence certains aspects essentiels sous chacune de ces trois composantes.

La loi sur l'eau (Figure 1-4) constitue le support juridique de la politique de l'eau, ainsi que le cadre opérationnel pour l'administration de l'eau (Saleth, 2004). Les aspects institutionnels les plus importants dans la composante « loi sur l'eau » sont : les droits de l'eau, la résolution des conflits, la décentralisation, l'intégration, etc..... Cette composante influe sur la politique de l'eau par ses liens⁸ avec certains aspects politiques tels que la tarification de l'eau, le recouvrement des coûts, la décentralisation de la gestion, et la participation du secteur privé. Elle est aussi liée à certains aspects administratifs. En effet, les trois aspects juridiques : les

⁸Certains de ces liens sont directes et proches, tandis que d'autres sont indirectes et éloignés (Saleth et Dinar, 2005).

droits de l'eau, la résolution des conflits et la responsabilisation, ont également des liens étroits avec l'administration de l'eau dans la mesure où ils nécessitent des mécanismes administratifs et des capacités techniques et fonctionnelles spécifiques.

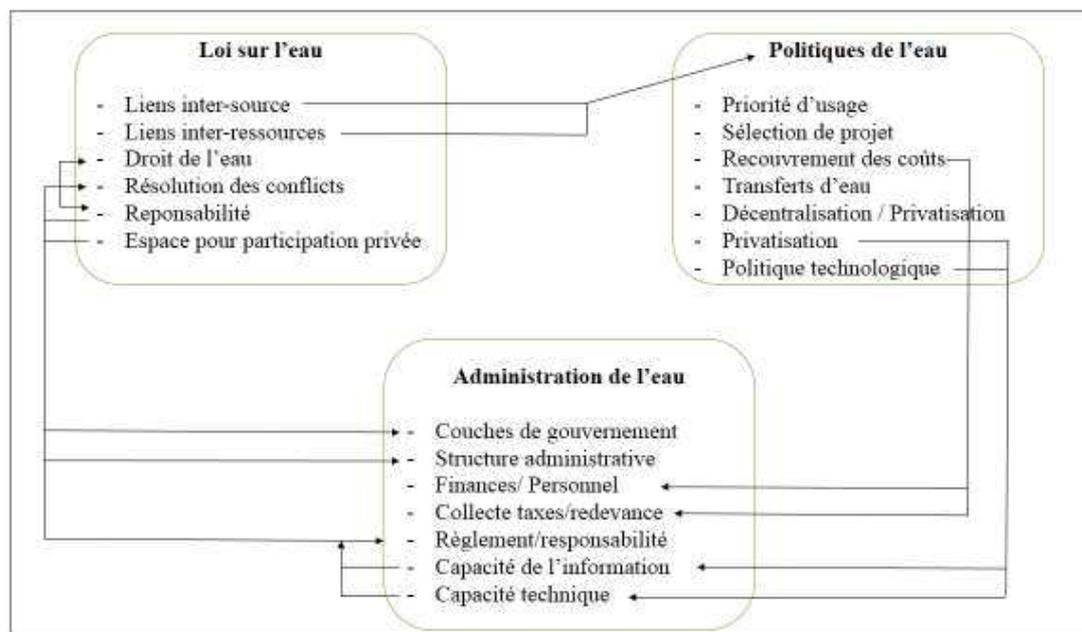


Figure 1-4. Représentation de la structure institutionnelle de l'eau (Saleth et Dinar, 2004)⁹

Les politiques de l'eau se rapportent à la planification, le développement, l'allocation, et la gestion des ressources en eau par le gouvernement. Elles décrivent non seulement le cadre politique général, mais aussi certains aspects particuliers tels que la sélection des projets, le recouvrement des coûts et les politiques de tarification, et la participation des utilisateurs et du secteur privé, etc... (Figure 1-4). Enfin, l'administration de l'eau couvre les organisations administratives (comprenant les organisations spatiales et les ressources humaines), financières et de gestion de l'eau, les mécanismes de résolution de conflits, la responsabilisation administrative, l'accès à l'information et l'application technologique (Saleth, 2004). Ce sont les mécanismes administratifs qui aident les règles à être interprétées en actions (Hailu et al. 2017).

Dans ce cadre de décomposition, Saleth et Dinar (2005) insistent sur deux points importants. Tout d'abord, la performance globale des institutions de l'eau dépend non seulement des aspects institutionnels individuels, mais aussi de la manière dont ceux-ci sont structurellement et fonctionnellement interreliés. Deuxièmement, une évaluation de ces liens et les voies

⁹Voir Saleth et Dinar (2004) pour plus de détails sur la description de chacun des aspects institutionnels et leur interdépendance.

institutionnelles à travers lesquels leur impact est transmis est une tâche très importante pour toute réforme et mise en œuvre d'un processus dans le secteur de l'eau.

- Environnement institutionnel de l'eau.

Les institutions de l'eau existent dans un environnement caractérisé par le rôle de nombreux facteurs qui interagissent entre eux et qui sont en dehors des limites strictes des institutions et du secteur de l'eau (Figure 1-5). Saleth et Dinar considèrent que l'environnement institutionnel est caractérisé par l'ensemble des milieux physique, culturel, historique, socio-économique et politique d'un pays ou d'une région. Dans la Figure 1-5, on peut distinguer deux segments analytiques, i) le premier capture l'interaction entre les institutions de l'eau et la performance du secteur de l'eau, ii) le second, capture l'environnement général dans lequel ces interactions interagissent (Saleth et Dinar, 2004). Quelques facteurs environnementaux exogènes ont un impact direct sur la performance du secteur de l'eau, tandis que d'autres l'affectent en déterminant les caractéristiques et le fonctionnement des institutions de l'eau. Ainsi des chocs exogènes sur les institutions introduisent des changements dans les règles formelles et informelles qui affectent les acteurs/organisations, aussi appelés « les joueurs » (North, 1990a). Les chocs exogènes à un niveau macro peuvent aussi remettre en cause les institutions d'un secteur (niveau méso) et forcer les acteurs qui y évoluent à faire des choix stratégiques (Peng, 2003).

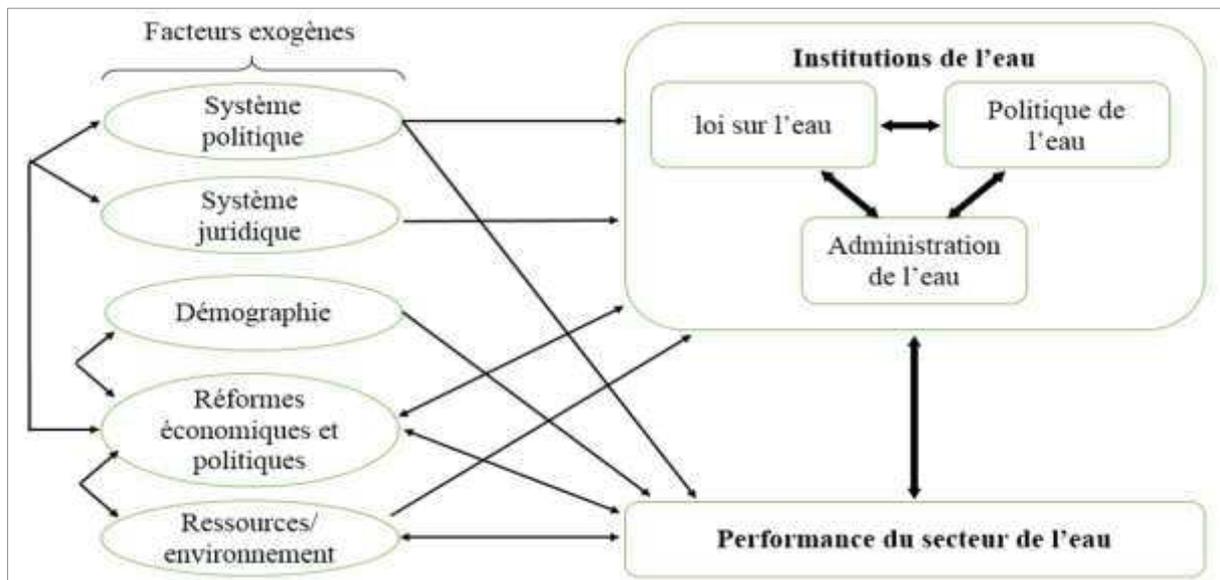


Figure 1-5. Représentation partielle de l'environnement institutionnel de l'eau (Saleth et Dinar, 2004).

- **Lien institutions-performance et influence exogène.**

La force des liens institutions-performance dépend directement de l'efficacité opérationnelle et fonctionnelle des différents types de liens au sein de l'institution de l'eau. Les liens institutionnels et la performance du secteur de l'eau sont également soumis à certaines influences exogènes et contextuelles. En effet, puisque l'interaction entre l'institution de l'eau et le secteur de l'eau se produit dans un environnement caractérisé par de nombreux facteurs en dehors de leurs sphères, les liens entre les institutions et la performance sont également soumis à des influences exogènes et contextuelles. Les rôles que jouent ces facteurs exogènes dans l'interaction institution-performance au sein du secteur de l'eau sont illustrés dans la Figure 1-5.

Le lien institutions et performance est illustré par une flèche bidirectionnelle (Figure 1-5). Ce lien bidirectionnel a quelques implications importantes. Premièrement, il indique le rôle évident que jouent les facteurs économiques dans l'instauration de changements institutionnels dans le secteur de l'eau. Deuxièmement, il montre comment les facteurs hydrogéologiques peuvent expliquer les variations institutionnelles entre les pays et les régions. Puisque les institutions de l'eau sont façonnées par la nature du secteur de l'eau, ils ne sont pas entièrement indépendants des caractéristiques de base du secteur de l'eau lui-même. Ainsi, les institutions de l'eau dans les zones où l'eau est abondante peuvent différer de celles des zones où la rareté est aiguë. Et, troisièmement, cette liaison bidirectionnelle indique également la façon dont la crise dans le secteur de l'eau peut renforcer la pression politique pour le changement institutionnel. Les réponses institutionnelles induites par la crise observée dans de nombreux pays à travers le monde fournissent des preuves suffisantes pour ce phénomène (Saleth et Dinar, 1999a, et 2000).

Pour des raisons de commodité et de simplicité analytiques, Saleth et Dinar (2004) se sont concentrés, dans leur représentation des facteurs exogènes (Figure 1-5), uniquement sur les facteurs qu'ils ont considéré comme étant les plus importants, tels que le système politique, le cadre juridique, le développement économique, la condition démographique, et la dotation en ressources. Bien que ces facteurs soient eux-mêmes interdépendants, nous soulignons seulement la nature de leur influence sur le processus de l'interaction institution-performance. Bien que le système politique et le cadre juridique affectent principalement la structure institutionnelle de l'eau, les autres facteurs influencent et sont également influencés par la performance du secteur de l'eau. Étant donné que ces facteurs représentent les contraintes exogènes auxquelles le secteur de l'eau est confronté, ils jouent un rôle important dans la définition de la nature et du caractère de l'interaction institution-performance dans le secteur de l'eau.

- **Décomposition de la performance du secteur de l'eau.**

Selon Saleth et Dinar (2004), les performances du secteur de l'eau sont considérées comme un concept avec quatre dimensions : i) dimension physique (écart offre-demande, santé physique des infrastructures de l'eau), l'efficacité de résolution des conflits (coût bas et temps réduit), fluidité des transferts d'eau entre les secteurs, les régions et les usagers), ii) financière (déficit d'investissement: actuel par rapport aux besoins, déficit financier: dépenses par rapport au recouvrement des coûts), iii) économique (écart de tarification: prix de l'eau par rapport aux coûts d'approvisionnement, écart incitatif : prix actuel de l'eau par rapport à la valeur accordée à la rareté de l'eau, et iiiii) d'équité (équité entre les régions, l'équité entre les secteurs, l'équité entre les groupes).

Parallèlement au lien interdimensionnel entre les composantes et les aspects institutionnels, il existe également des liens solides entre la dimension physique, financière, économique, et d'équité de la performance sectorielle (Saleth et Dinar, 2004). Par exemple, les aspects de la tarification et du recouvrement des coûts influent sur la santé physique des infrastructures d'eau en raison de leurs implications dans le financement des activités d'entretien et d'amélioration du système d'une manière régulière. De même, une amélioration de la qualité des services, telle qu'induite par une infrastructure d'eau saine, est susceptible de faciliter le recouvrement des coûts. De même, des mécanismes efficaces de résolution des conflits peuvent faciliter le processus de transferts intersectoriels et interrégionaux de l'eau, contribuant ainsi à une allocation plus efficace et plus équitable des ressources en eau. Outre leurs implications financières, une tarification efficace de l'eau peut également contribuer à l'efficacité de l'utilisation de l'eau et à la résolution des conflits. Finalement, c'est en raison de sa capacité à capter de tels liens que le cadre IDA est d'une grande importance en tant qu'outil méthodologique pour l'évaluation systématique de l'interaction institution-performance dans le secteur de l'eau.

- **Evaluation de la performance des institutions.**

Afin d'évaluer la performance des différentes composantes institutionnelles, Saleth et Dinar ont développé un ensemble d'indicateurs en relation avec les aspects institutionnels inclus dans chaque composante. Le cadre IDA fournit donc une base pour l'élaboration d'une méthode d'évaluation quantitative des liens institutionnels décrits dans la Figure 1-4 et des liens institution-performance décrits dans la Figure 1-5. Pour traduire le cadre analytique en une forme empiriquement applicable, Saleth et Dinar ont identifié et défini des variables qui peuvent capter différents niveaux : niveaux des liens institutionnels et le niveau des liens

institutions-performance du secteur de l'eau. À cet égard, ces mêmes auteurs ont identifié deux ensembles de variables. Le premier ensemble tente de capturer des caractéristiques qui sont endogènes à l'institution de l'eau et au secteur de l'eau. La sélection de ces variables est guidée non seulement par leur capacité à refléter la « performance » d'une composante ou d'un aspect donné, mais aussi par leur aptitude à la traduire numériquement dans un contexte empirique (Balint et al. 2002). Certaines de ces variables sont quantitatives ou quantifiables d'une manière indirecte, tandis que d'autres sont intrinsèquement qualitatives et, par conséquent, relatives, impliquant des considérations subjectives ou de jugement. La deuxième série de variables vise à capter certains des facteurs exogènes, tels que le développement économique, le changement démographique, le statut éducatif, importance de la pénurie d'eau et la situation de la ressource et de l'environnement qui affectent l'interaction institution-performance dans le secteur de l'eau.

1.5. Voies d'impacts des instruments de gestion de la demande en eau d'irrigation.

Dans une de leurs applications empiriques, Saleth et Amarasinghe (2010) ont élaboré un cadre qui capture l'analyse de la gestion de la demande en eau d'irrigation pour le cas de l'Inde. Ils illustrent dans leur cadre les différentes voies d'impact ainsi que les liens opérationnels entre les instruments de gestion de la demande et le secteur irrigué et celui de l'eau. Bien qu'il existe une variété d'instruments de gestion de la demande en eau, le cadre élaboré par Saleth et Amarasinghe (2010) ne capte que six d'entre elles : tarification de l'eau, marchés de l'eau, droits de l'eau, régulation énergétique, technologies d'économie d'eau, et association d'usagers (Figure 1-6).

Le cadre de Saleth et Amarasinghe (2010) illustré dans la Figure 1-6 est donc en mesure de placer la gestion de la demande en eau dans le contexte des institutions de l'eau, ainsi que dans un contexte plus large pour tenir compte des objectifs sectoriels et économiques.

La Figure 1-6 comporte trois segments analytiquement distincts, mais opérationnellement liés. Le premier segment montre les liens entre les instruments de gestion de la demande. Le second segment capte les effets conjugués de ces instruments sur le secteur irrigué, où l'amélioration de l'efficacité qui résulte conduit soit à des économies d'eau, soit à une extension des superficies irriguées. Le troisième segment capte les conséquences sectorielles et économiques résultantes des effets sur le secteur de l'irrigation.

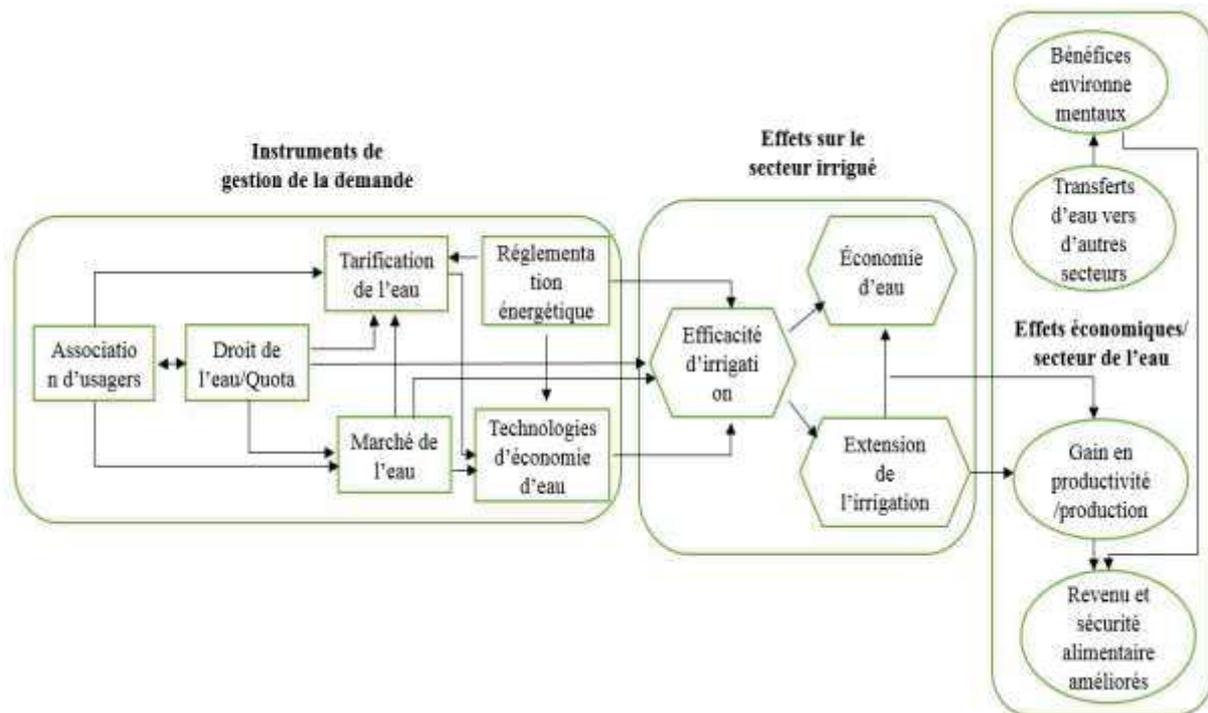


Figure 1-6. Voies d'impacts des instruments de gestion de la demande en eau d'irrigation.

Etant donné les liens entre les instruments de gestion de la demande en eau, certaines sont évidemment plus importantes que d'autres. C'est soit parce qu'elles représentent une condition nécessaire pour les autres (par exemple, les usagers et les organisations communautaires) ou en raison de l'étendue de leurs liens avec les autres instruments (par exemple, les droits de l'eau et le système de quotas). Ainsi, la capacité d'un instrument à influencer l'utilisation de l'eau dépend non seulement de la façon dont elle est conçue et mise en œuvre efficacement, mais aussi de la façon dont il est aligné avec d'autres instruments connexes, et dans quelle mesure les conditions institutionnelles et techniques de soutien sont efficaces (Saleth et Amarasinghe, 2010).

Enfin, d'un point de vue d'impact, la performance globale d'une stratégie de gestion de la demande dépend de la façon dont elle est conçue et mise en œuvre. La stratégie doit être conçue de manière à exploiter les liens fonctionnels et structurels entre les instruments de gestion et à tirer parti des synergies des politiques sectorielles et macroéconomiques. Par exemple, les avantages de l'efficacité et de l'équité des marchés de l'eau peuvent être accrus lorsque ces marchés opèrent dans le cadre d'un système volumétrique de droits de l'eau et soit également appuyés par des mécanismes de gestion et d'application basés sur l'utilisateur. De même, la politique de tarification de l'eau peut être plus efficace à la fois dans le recouvrement des coûts

et dans l'allocation de l'eau, si elle est combinée avec l'approvisionnement volumétrique (Saleth et al. 2016).

1.5.1. Droit d'eau et instruments limitatifs¹⁰.

Pour que les droits de l'eau soient efficaces et durables en tant qu'instrument institutionnel de gestion de l'eau en général et d'irrigation en particulier, la première étape consiste à convertir la notion juridique abstraite en un cadre volumétrique applicable sur le plan opérationnel (Narain, 2009 ; Saleth et Amarasinghe, 2010).

Dans la gamme des restrictions quantitatives, on trouve les quotas non échangeables (annuels ou définis sur des périodes plus courtes)¹¹ et les procédures administratives d'interdictions d'arrosage. Les dispositions précédemment citées sont les plus couramment mises en place, mais sont rarement défendues par les auteurs dans la littérature : certains leur reprochent de favoriser le gaspillage (Dinar et al. 1997) ou d'échouer à donner aux usagers les incitations permettant d'accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau (rien ne garantit que la ressource est allouée en priorité à ceux qui la valorisent le mieux) (Meinzen-Dick and Jackson, 1997). En effet, d'une part, les quotas constituent des "stocks d'eau" attribués aux irrigants sur la base de variables arbitraires ("droits d'eau" historiques et rattachés à la terre ou octroyés selon des principes d'équité). D'autre part, les procédures d'interdictions de l'irrigation sont des mesures de rationnement uniformes, qui ne tiennent pas compte des différentiels de profitabilité du facteur "eau" entre les irrigants (Lanzanova, 2011).

1.5.2. Tarification de l'eau.

Les mécanismes de tarification visent à contrôler la demande et à financer les infrastructures. Il existe de nombreuses méthodes de tarification de l'eau dans le monde. La tarification forfaitaire est la plus courante (Lanzanova, 2011). Dans ce cas, les frais de l'eau sont déterminés selon des critères de taille ou basés sur le type de cultures cultivées au niveau des exploitations. Cette méthode est la plus répandue par rapport à d'autres méthodes en raison de sa mise en œuvre facile et à son faible coût (Montginoul, 2007 ; Veetil et al. 2011). Cependant, cette dernière a tendance à ne pas inciter les usagers à économiser de l'eau, contrairement à toutes les autres structures tarifaires. Des tarifications qui tiennent compte de la rareté de la

¹⁰ En plus de l'étude de l'impact des quotas d'eau sur les scores d'efficacité que nous allons présenter dans le ce chapitre, des simulations de modifications de la demande en eau et du choix d'assolement résultant à une hausse du prix ou une baisse des quotas d'eau sont présentées dans le chapitre 6.

¹¹ Les quotas échangeables sont évoqués ultérieurement dans le paragraphe sur les marchés de l'eau.

ressource comme la tarification volumétrique est également un instrument tarifaire largement connu et utilisé pour le cas de l'eau d'irrigation. Dans cette méthode, les frais de l'eau sont proportionnels à la quantité d'eau consommée par les agriculteurs dans un intervalle de temps spécifique. La tarification de l'eau d'irrigation peut également être librement réglée basée sur le marché de l'eau d'irrigation. Selon Huang et al. (2010), ce type de tarification permet d'encourager la conservation et améliorer l'allocation de l'eau.

Le prix économiquement optimal de l'eau est celui pour lequel tous les coûts sont recouverts, y compris les coûts environnementaux et sociaux (ce prix est une notion variable puisque les effets externes liés à l'utilisation de la ressource sont fonction des périodes et des lieux) (Brouwer et al. 2009 ; Lanzanova, 2011). Horbulyk (1997) note cependant que le recouvrement des coûts et la tarification efficiente sont dans une certaine mesure deux objectifs distincts, dans le cas où le financement des infrastructures est assuré par le paiement de droits non liés au volume. D'autres auteurs soutiennent qu'il suffit que la structure des prix soit telle que la dernière unité est payée au coût marginal (PRI, 2005 ; Tsur, 2010). Une fois la capacité déterminée, plus le produit est utilisé, plus le coût marginal, et donc le prix, est faible. Lorsque de nouvelles capacités d'offre s'avèrent nécessaires (au-delà d'une certaine quantité de ressource fournie), un schéma de prix de l'eau croissant par bloc (où le prix de l'eau évolue selon le bloc du volume d'eau consommé) est approprié. En effet, le coût marginal, qui est principalement celui de la nouvelle infrastructure, peut devenir supérieur au coût moyen, et la tarification au coût marginal entraîne alors des tarifs excessifs pour le consommateur. Pour corriger ce déséquilibre, le prix du premier bloc est inférieur au coût marginal de sorte que les services d'eau produiront uniquement des recettes suffisantes pour couvrir leur coût d'exploitation, tandis que le prix du dernier bloc est égal au coût marginal (Hanemann, 1997). Un autre mode de tarification est le tarif binôme (barème en deux volets, avec une partie fixe et une partie variable selon la consommation), les coûts d'exploitation étant couverts par la partie variable "au volume". En pratique, c'est la finalité principale des tarifs binômes : leur mise en place n'est pas motivée par le souhait de communiquer des signaux aux préleveurs, mais est plutôt vue comme un procédé adapté pour recouvrir les coûts de distribution. En effet, elle permet de recouvrir une partie des coûts fixes de l'eau même si les agriculteurs n'utilisent pas l'ensemble de l'offre disponible. Ce type de tarification vise principalement à améliorer le taux d'intensification. Car, elle repose sur l'hypothèse que l'approvisionnement en eau excède la demande dans un périmètre donné et que le taux d'intensification est faible (Frija, 2009).

1.5.3. Marchés de l'eau¹².

L'allocation de l'eau via le marché peut constituer un moyen pour pallier aux inefficiences des systèmes d'attribution de droits d'eau (comme les quotas par exemple) ou de la tarification. Ces derniers ne fournissent pas la souplesse nécessaire dans les conditions de sécheresse (Dinar et Jammalamadaka, 2013). Les marchés de l'eau contribuent à l'établissement du juste prix sans recourir à une planification. Selon Dinar et Letey (1991), et Easter et al. (1999), Les marchés de l'eau permettent de révéler la valeur réelle de l'eau, ce qui donne des incitations à l'utilisation efficace de la ressource par les divers usagers. Dans un contexte parfaitement compétitif, l'introduction de dispositif d'échanges commerciaux sur les droits permet aux utilisateurs qui leur accordent une valeur faible (à cause des conditions pédoclimatiques locales ou parce qu'ils sont moins performants) de les rentabiliser en les vendant à des utilisateurs plus susceptibles de les utiliser (qui en feront l'acquisition dans la mesure où leur disposition à payer, c'est-à-dire, la valeur du profit marginal généré par une unité de ressource supplémentaire, est supérieure au prix du marché) (Lanzanova, 2011). Le secteur agricole irrigué, par exemple, bénéficie d'un potentiel de rentabilité accrue engendré par une meilleure utilisation de la ressource. En effet, les marchés de l'eau encouragent une utilisation des technologies et une amélioration de la gestion globale de l'eau (Dinar et Letey, 1991). Il existe aussi des formes de marchés pour l'eau souterraine qui ont évolué en Inde, au Pakistan et en Californie (Dixon et Moore, 1993 ; Kolvalli et Chicoine, 1989 ; Meinzen-Dick, 1996).

Il est, cependant, important de noter que l'appui des infrastructures (pour mesurer le volume utilisé, transférer l'eau d'une utilisation à faible valeur vers une activité à haute valeur, etc. ..), mais aussi, l'appui d'institutions supplémentaires, telles que le cadre juridique pour l'attribution des droits sur l'eau, l'utilisation correcte des recettes issues de la vente de l'eau, et le respect des normes par les usagers, sont nécessaires pour le bon fonctionnement des marchés et de la tarification de l'eau (Dinar et Jammalamadaka, 2013).

1.5.4. Technologies d'économie d'eau.

Les technologies d'économie d'eau couvrent non seulement celles impliquées dans l'irrigation (système goutte à goutte et aspersion), mais aussi celles liées aux pratiques agricoles telles que le choix des variétés, le paillage, et l'irrigation déficitaire. Contrairement aux autres instruments,

¹²Les marchés de l'eau peuvent réallouer l'eau non seulement à l'intérieur d'un même secteur, mais aussi entre les différents secteurs. Ces marchés peuvent être temporaires (location des droits de l'eau) ou sur une base permanente (transfert permanent des droits de l'eau).

telles que les droits d'eau, les technologies d'économie d'eau sont politiquement plus faciles à mettre en œuvre et peuvent être adoptées immédiatement. Cet instrument a aussi l'avantage d'avoir un effet direct et immédiat sur la consommation de l'eau d'irrigation (Saleth et al. 2016).

1.5.5. Organisations et associations d'utilisateurs.

Ces organisations couvrent non seulement les Associations d'Utilisateurs de l'Eau formelles (AUE), mais aussi celles qui comprennent les systèmes informels et semi-formels d'allocation de l'eau. En tant qu'instruments de gestion de la demande, ces organismes peuvent contribuer à l'économie de l'eau à la fois en promouvant l'efficacité de l'utilisation de l'eau au niveau des exploitations agricoles et directement en contrôlant les pertes de transport. Leur contribution réelle dépend toutefois de leur couverture géographique et de leur efficacité opérationnelle (Saleth et Amarasinghe, 2010). Pour ce qui est des organisations informelles, Reddy (2009) et Narain (2009) ont démontré le rôle central des droits volumétriques et spécifiques à l'utilisation de l'eau dans le renforcement du rôle de gestion de la demande par les organisations d'utilisateurs. En effet, il existe un lien bidirectionnel entre les droits de l'eau et les organisations d'utilisateurs parce qu'un système efficace de droits de l'eau repose également sur l'existence d'une organisation d'utilisateurs efficace pour permettre l'application des règles.

1.5.6. Réglementations énergétiques.

Les réglementations énergétiques, qui couvrent à la fois le prix et l'offre des sources d'énergie utilisées à des fins d'irrigation, peuvent influencer de façon significative le prélèvement et l'utilisation de l'eau, en particulier de l'eau souterraine. Dans une étude d'évaluation de la réglementation de l'énergie comme instrument de gestion de la demande, Malik (2009) a conclu que beaucoup dépend de leur nature et de la rigueur de leur application. Un certain nombre de facteurs spécifiques à l'exploitation et à la région, tels que, la taille des exploitations, la profondeur des puits, et le modèle de culture sont aussi à prendre en considération. En outre, les réglementations énergétiques basées sur une mesure des quantités consommées et un tarif relativement plus élevé peuvent être plus efficaces par rapport à celles avec une tarification forfaitaire par exemple. Par ailleurs, les réglementations sur l'approvisionnement direct impliquant des heures d'approvisionnement fixes auront plus d'impact que la tarification, peu importe son niveau et sa structure¹³.

¹³A condition que les agriculteurs ne fassent pas recours à : plusieurs puits, l'utilisation illégale de l'énergie, et/ou remplacement de l'électricité par d'autres sources d'énergie, comme le diesel.

Le potentiel des réglementations énergétiques pour influencer la demande d'eau d'irrigation ne peut pas être effectif si les conditions d'accès aux eaux souterraines restent non réglementées (Saleth et Amarasinghe, 2010). Malik (2009) a défini quelques lignes directrices pour assurer le rôle de la réglementation de l'énergie dans la gestion de la demande de l'eau et de l'énergie. Premièrement, étant donné les limites pratiques auxquelles les prix de l'énergie peuvent être augmentés et la difficulté qu'ils ont à influencer directement les prélèvements d'eau, ils sont surtout utiles pour le recouvrement des coûts énergétiques. Deuxièmement, la politique des coûts variant avec la consommation doit également être combinée au rationnement de l'offre afin d'influencer directement le prélèvement d'eau. Troisièmement, une expérience réussie en Chine, aux États-Unis et dans l'État du Gujarat en Inde suggère que l'État ne doit distribuer l'énergie qu'aux organisations locales (conseils de village et coopératives d'électricité), qui, à leur tour, vont la vendre au détail et collecter des frais. Enfin, des changements sont également nécessaires dans les réglementations relatives à l'eau, en particulier celles relatives à la régularisation de l'espacement et de la profondeur des forages ainsi que la mise en place de droits d'eau volumétriques gérés localement et officiellement reconnus. Lorsque ces changements se produisent, les réglementations énergétiques peuvent être beaucoup plus puissantes à la fois en tant que mécanisme de recouvrement des coûts et en tant que mécanisme de gestion de la demande (Saleth et Amarasinghe, 2010).

Section 2. Cadre conceptuel : étude des institutions de l'eau d'irrigation en Algérie.

Notre cadre analytique pour l'étude de la performance des institutions de l'eau d'irrigation dans les périmètres irrigués en Algérie sera largement basé sur une simplification du cadre analytique proposé par Saleth et Amarasinghe (2010) et Saleth et al. (2016) qui, comme indiqué dans la section 1.5., met le lien entre les instruments de gestion de la demande en eau d'irrigation et leurs effets sur le secteur irrigué et celui de l'eau. Le cadre conçu pour l'analyse des institutions de gestion de l'eau d'irrigation en Algérie, dans cette thèse, est présenté dans la Figure 1-7. Les simplifications et les adaptations apportées au cadre originel sont examinées ci-dessous.

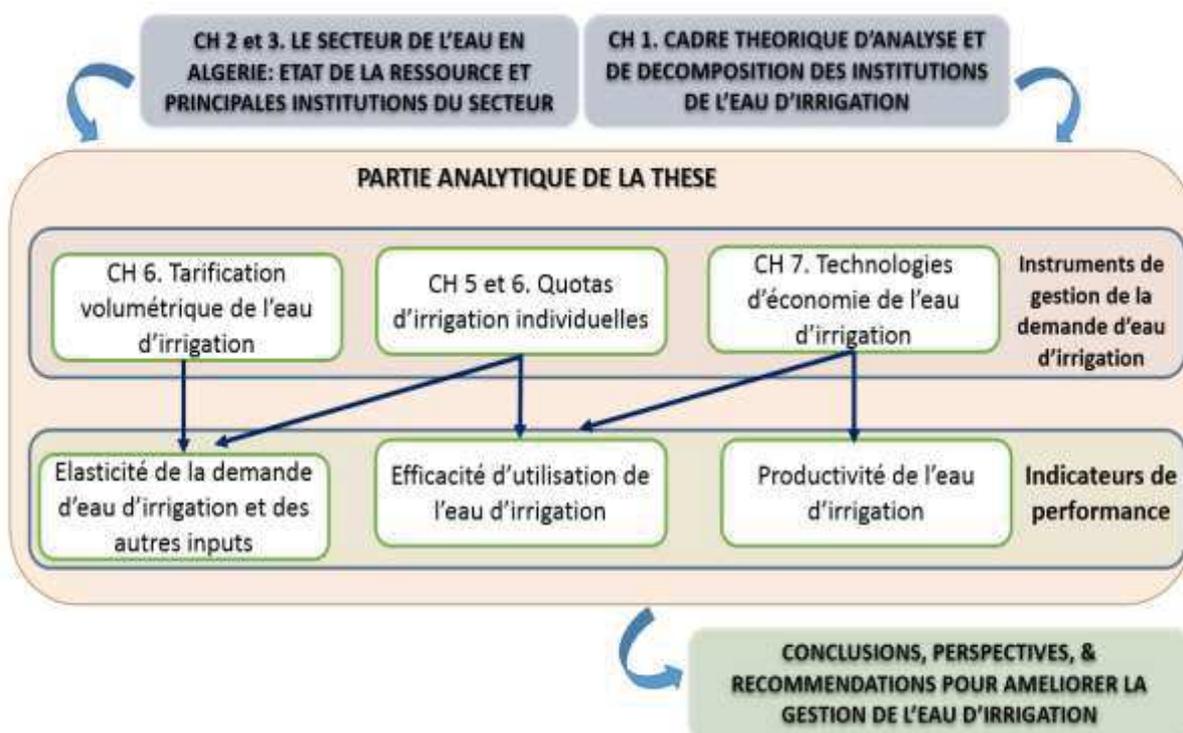


Figure 1-7. Cadre conceptuel et analytique pour l'étude de la performance des instruments institutionnels de gestion de l'eau d'irrigation dans les périmètres irrigués algériens.

Le cadre conceptuel illustré dans la Figure 1-7 se compose de 3 parties interreliées. La première partie renferme une revue de la littérature des institutions et des instruments économiques de gestion de la demande en eau dans le monde (Chapitre 1) ainsi qu'une revue de la situation du secteur de l'eau en Algérie (état de la ressource et des institutions de l'eau en Algérie (Chapitres 2 et 3)). La deuxième partie est représentée par le cadre analytique de la thèse dans laquelle nous allons analyser l'impact des différents instruments de gestion de la demande en eau d'irrigation sur les performances au niveau de l'exploitation. La partie analytique est composée de trois thèmes : i) l'impact des quotas d'eau et des technologies d'économie d'eau sur

l'efficacité d'utilisation de l'eau (Chapitre 5), ii) l'impact de la tarification et des quotas d'eau sur l'élasticité de la demande en eau d'irrigation et des autres inputs (Chapitre 6), et iii) l'impact des technologies d'économie d'eau sur la productivité totale des facteurs de production et celle de l'eau d'irrigation (Chapitre 7). La troisième partie (Conclusion générale) apporte des perspectives et des recommandations pour améliorer la gestion de l'eau d'irrigation, en se basant sur les indicateurs de performances illustrés dans le deuxième groupe.

Dans les travaux menés par Saleth sur l'analyse des institutions de l'eau, l'accent a été mis sur les institutions formelles, les institutions informelles comme les conventions, les coutumes et les normes de comportement sont écartées de l'analyse. La raison de ce choix est justifiée par le fait que le changement institutionnel n'affecte que les règles formelles. Les règles informelles dérivées de ces règles formelles changent beaucoup plus lentement (North, 1990a). L'impact des institutions formelles est de ce fait plus facile à modéliser et à estimer. Dans ce sens, lors de notre évaluation de la performance des institutions de l'eau d'irrigation en Algérie, nous nous concentrons principalement sur les institutions formelles qui sont les plus utilisées et étudiées dans les études des institutions de l'eau.

1.6. Instruments économiques de gestion de la demande en eau d'irrigation.

Les instruments économiques sont souvent promus comme des instruments politiques pour la gestion de la demande en eau (Tardieu et Préfol, 2002; Hellegers et Perry, 2006; Russel et al. 2007; Molle et al. 2008). Ces instruments peuvent être utilisés pour fournir des ressources financières pour couvrir les coûts de la fourniture d'eau, mais ils peuvent également favoriser l'utilisation efficace de l'eau. Ceci est possible par une réallocation de l'eau de sorte qu'elle permet une meilleure valorisation de la ressource. Ces instruments favorisent l'utilisation rationnelle et l'innovation, et fournissent des signaux pour induire des changements comportementaux (Abu-Zeid, 2001; Bazzani, 2005; PRI, 2005). De cette façon, ils pourraient être utilisés pour atteindre les trois objectifs identifiés pour le secteur de l'irrigation dans les périmètres irrigués en Algérie: i) amélioration de la productivité et de ii) l'efficacité d'utilisation de l'eau, et iii) permettre la récupération des coûts d'approvisionnement en eau et d'investissement dans les infrastructures.

Suivant le cadre, proposé par Saleth et Amarasinghe (2010) et Saleth et al. (2016), qui capte différents liens entre les instruments institutionnels de l'eau et le secteur irrigué dans une logique de gestion de la demande en eau, et compte tenu des objectifs précédemment cités, nous allons nous intéresser dans cette thèse à trois instruments institutionnels qui nous semblent être

des outils efficaces pour influencer l'utilisation de l'eau dans le secteur irrigué. Ces instruments sont : i) la politique de tarification et le recouvrement des coûts, ii) l'imposition de quotas, et iii) la subvention des technologies économes en eau (Figure 1-7).

1.6.1. Tarification de l'eau d'irrigation et recouvrement des coûts.

La tarification de l'eau, l'outil incitatif le plus répandu dans le monde, a été suggérée comme étant un instrument important afin de permettre une meilleure gestion de la demande. Dans notre thèse et d'après la Figure 1-7, nous allons étudier le lien entre cet outil et l'élasticité de la demande en eau et des autres intrants qui entrent dans le processus de production. C'est dans le but de choisir une tarification incitative de l'eau d'irrigation que nous allons étudier ce lien.

Dans la littérature, la tarification a été promue comme étant en mesure de donner des incitations pour réduire l'utilisation de l'eau et/ou améliorer l'efficacité (Perry, 2001 ; Oster et Wichelns, 2003 ; Tsur, 2004 ; Wichelns, 2004 ; PRI, 2005 ; Scheierling et al. 2006 ; Easter et Liu, 2007 ; Liao et al. 2007 ; Singh, 2007 ; Molle et al. 2008). En effet, selon Dinar et Subramanian (1998), Johansson (2000), Dinar et Mody (2004), Adusumilli et al. (2011), la tarification de l'eau pourrait révéler la valeur économique et la rareté de cette ressource précieuse et encourager les utilisateurs de l'eau à l'utiliser plus judicieusement. En outre, la tarification pourrait orienter les agriculteurs à adopter des technologies d'irrigation plus efficaces ou les inciter à changer leurs pratiques culturales vers des cultures plus productives (Caswell et Zilberman, 1985 ; Caswell et al. 1990 ; Berbel et Gómez-Limón, 2000 ; Schoengold et al. 2006 ; Adusumilli et al. 2011 ; Frija et al. 2011).

Dans une publication de la banque mondiale sur les politiques de gestion des ressources hydriques (Banque Mondiale, 1993), il a été noté que les pertes et les inefficiences dans le secteur de l'irrigation proviennent du manque d'utilisation des instruments tarifaires pour gérer la demande et l'allocation de l'eau. La tarification de l'eau a également été promue pour internaliser les coûts environnementaux et sociaux liés à l'utilisation de la ressource, et sert à financer les infrastructures et les opérations publiques d'approvisionnement (Perry, 2001 ; Massarutto, 2003 ; PRI, 2005 ; Easter et Liu, 2007 ; Molle et Berkoff, 2007 ; Molle et al. 2008). Par ailleurs, un prix de l'eau faible implique des pertes publiques en raison du déficit budgétaire de l'État (Fragoso et Marques, 2015).

Enfin, pour la mise en œuvre et la réussite de la politique de tarification de l'eau, de nombreux experts proposent qu'elle doit être accompagnée d'un ensemble de politiques complémentaires

qui, simultanément, permettraient d'améliorer la productivité de l'eau et l'efficacité (Gómez-Limón et Berbel, 1999 ; Gómez-Limón et Riesgo, 2004 ; Liao et al. 2007 ; Molle et al. 2008).

En raison de la compatibilité des résultats atteignables grâce à la tarification et les objectifs de la politique de l'eau en Algérie, et d'autant plus qu'il y a déjà assez de critiques sur la faiblesse de la tarification de l'eau appliquée en Algérie, l'analyse de cette dernière est très pertinente.

1.6.2. Imposition de quotas d'eau d'irrigation.

Notre attention va aussi se porter sur l'étude de l'impact de l'imposition des quotas d'eau d'irrigation sur l'élasticité des facteurs de production et sur l'efficacité d'utilisation de l'eau (Figure 1-7). En effet, nous soutenons le fait que la façon dont les droits pour un bien sont définis influera sur les valeurs que les utilisateurs lui donnent. Dans la plupart des cas cités dans la littérature, la valeur que les utilisateurs assignent à l'eau est limitée, ce qui entrave gravement l'utilisation efficace de l'eau (Randall, 1978 ; Ostrom, 2000 ; Heltberg, 2002 ; Wichelns, 2004 ; PRI, 2005 ; Linde-Rahr, 2008). Les agriculteurs, par exemple, peuvent être motivés à appliquer plus d'eau que nécessaire lorsque les droits ne sont pas bien définis et lorsque l'approvisionnement en eau est irrégulier ou incertain (Wichelns, 2002; Oster et Wichelns, 2003). Par ailleurs, si les quotas volumétriques étaient bien conçus, cela permettrait une meilleure valorisation de l'eau (Medellín-Azuara et al. 2012).

1.6.3. Subventions pour l'adoption des technologies d'économie d'eau d'irrigation : l'exemple du « Goutte à goutte ».

Le lien entre l'utilisation des technologies d'économie d'eau avec l'efficacité d'utilisation de l'eau au niveau de l'exploitation et la productivité a aussi été abordé dans cette thèse (Figure 1-7). Plusieurs travaux ont démontré un lien positif entre l'utilisation des nouvelles technologies et entre l'efficacité d'utilisation de l'eau et la productivité. En effet, la modernisation de l'irrigation est considérée comme l'une des options technologiques possibles pour accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau des exploitations irriguées (Dinar et Jamalamadaka, 2013). En outre, Letey et al. (1990) rapportent des augmentations significatives du rendement des cultures et des baisses considérables de la consommation d'eau d'irrigation ont été observées lorsque des systèmes d'irrigation pressurisés (arrosage ou goutte à goutte) remplacent les méthodes d'irrigation gravitaires. Selon Playan et Mateos (2006), ces technologies permettent non seulement d'économiser 48% à 67% d'eau, mais aussi de réduire de 44 à 67% les coûts énergétiques et de 29 à 60% des coûts liés aux salaires (Narayanamoorthy, 2009). Une autre étude, notamment celle menée par Dechmi et al. (2003) dans le nord-est de l'Espagne, montre

que l'efficacité de l'utilisation de l'eau au niveau de l'exploitation est améliorée et atteint 90% dans le cas des systèmes d'irrigation par aspersion. L'analyse de l'irrigation le long du canal Roi Abdullah en Jordanie, par Battikhi et Abu-Hammad (1994), montre des résultats similaires, avec une plus grande efficacité d'irrigation provenant des systèmes pressurisés. Ces auteurs ont enregistré une amélioration de l'efficacité par 30% par rapport aux systèmes d'irrigation de surface (non pressurisés). Cette augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau grâce aux systèmes pressurisés est attribuée à une meilleure uniformité d'irrigation, à la réduction des pertes dues à l'évaporation, à la percolation profonde, et au ruissellement superficiel.

1.7. Critères d'évaluation des instruments économiques de gestion de l'eau d'irrigation retenus.

Dans des conditions de pénurie croissante dans les ressources, y compris l'eau, la mesure des indicateurs de performance (voir Figure 1-7) joue un rôle important dans l'identification des possibilités d'améliorer la performance des systèmes d'irrigation à l'échelle microéconomique (Speelman, 2009). Dans ce sens, l'objectif de l'évaluation de la performance est de mettre en place des institutions efficaces et performantes qui se traduisent par un feedback pertinent à différentes échelles (Akbari et al. 2007).

D'après la littérature, l'évaluation des programmes, des projets ou des institutions se réfère à l'examen de leur performance et de leur impact à la lumière des objectifs spécifiques à atteindre (Nadeau, 1988). Cette définition suggère que les critères d'évaluation doivent être définis en fonction des objectifs escomptés par l'application des instruments de gestion (Frija et al. 2015).

Suivant l'approche utilisée par Saleth et Amarasinghe (2010) qui tente de quantifier la performance des instruments institutionnels par le biais des liens entre ces instruments de gestion et la performance du secteur irrigué et celui de l'eau. Les instruments institutionnels sont évalués de façon indirecte, en analysant leur impact sur le bien-être des groupes ciblés (Balint et al. 2002). Ainsi, comme présentée dans la Figure 1-7, la partie analytique de la thèse s'intéresse à l'étude des liens entre les instruments de gestion retenus et la performance au niveau des exploitations agricoles de notre région d'étude. Cette analyse est cruciale pour mettre en avant le potentiel et les opportunités pour améliorer la gestion de l'eau d'irrigation. Les indicateurs de performances utilisés dans l'analyse de la performance des politiques de l'eau d'irrigation des périmètres irrigués en Algérie (Figure 1-7) sont les suivants : i) élasticité de la demande en eau et des autres intrants, ii) efficacité d'utilisation de l'eau au niveau de l'exploitation, et iii) productivité de l'eau et productivité totale des facteurs de production.

1.7.1. Efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation.

Les niveaux de l'efficacité technique sont déterminés par les décisions prises par les producteurs. Ces décisions à leur tour sont influencées par les instruments politiques et de réglementation, et par le niveau d'interventions complémentaires telles que le développement des infrastructures (Cook et al. 2006). Le concept d'efficacité utilisé dans notre cadre d'analyse met en relation les résultats obtenus (output) et les objectifs fixés. Ainsi, plus la valeur générée par un certain volume d'eau est grande, plus un producteur est efficace; ou encore, un producteur peut également être efficace s'il utilise moins d'eau pour générer une certaine valeur. La mesure de l'efficacité de l'utilisation de l'eau au niveau de l'exploitation peut donc nous renseigner sur la possibilité d'améliorer la production sans pour autant augmenter la quantité d'eau utilisée, ou de diminuer l'utilisation de l'eau tout en conservant le même niveau de production.

1.7.2. Productivité de l'eau d'irrigation et des autres facteurs de productions.

La productivité est généralement définie comme le rapport entre une production quelconque et l'ensemble des intrants nécessaires pour la produire. Elle représente donc le degré d'efficacité avec laquelle une entreprise met à profit les ressources dont elle dispose pour fabriquer un produit (Gamache, 2005). L'augmentation de la productivité implique une plus grande quantité de produits en utilisant les mêmes intrants. Au sens strict du terme, le rendement est la production par unité de terre. Il mesure donc le rapport entre la quantité de produits agricoles récoltée et la superficie de terre qui a produit cette récolte (Beitone et al. 2008). Dans ce sens, le rendement concerne la terre, alors que la productivité concerne le travail et le capital. La productivité peut être exprimée par des mesures unifactorielles, mettant en relation la production avec un seul intrant comme le travail ou le capital (par exemple, la productivité de l'eau indique la marge d'amélioration des rendements par rapport à l'eau utilisée (Hanafi, 2011)), ou multifactorielles qui combinent simultanément les effets de plusieurs intrants (Gamache, 2005).

La différence aussi bien que les interdépendances entre la productivité et l'efficacité peut être ambiguë. Cependant, ce sont deux concepts différents. L'efficacité est déterminée par la quantité de ressources nécessaires pour obtenir un niveau de résultat. Il compare le niveau de production actuel avec un niveau potentiellement atteignable. L'efficacité est ensuite calculée sur la base de l'écart avec d'autres secteurs ou entreprises, et nous montre comment nous pouvons produire plus en comparaison avec d'autres objectifs. Par contre, la productivité est calculée comme une mesure statique de la performance d'une entreprise ou d'un secteur à

produire un output (Frija et al. 2015). Nous pouvons, au final, dire que l'efficacité est une mesure des pertes dans un système tandis que la productivité est une mesure de la production par unité d'input.

1.7.3. Élasticité de la demande en eau et des autres intrants.

Suivant la définition générale de l'élasticité « l'élasticité mesure la variation d'une grandeur provoquée par la variation d'une autre grandeur (Eisenhut, 2008) ». A partir de là, l'élasticité de la demande en eau par rapport au prix de l'eau définit la variation de la demande en eau provoquée par la variation du tarif de l'eau. On distingue deux types d'élasticité, une élasticité long terme liée aux choix d'investissements (matériel d'irrigation, réseau) et une élasticité court-moyen terme à équipement fixe (Michalland, 1994). Nous ne nous intéresserons dans notre analyse qu'à l'élasticité court-moyen terme.

De nombreux auteurs ont utilisé cet indicateur pour mesurer l'effet de la variation des prix de l'eau d'irrigation et des politiques de rationnement dans des régions où la ressource en eau est rare, à savoir Gómez et Riesgo (2004) et Riesgo et Gómez-Limón (2006) en Espagne, Frija et al. (2011) en Tunisie, Medellín-Azuara et al. (2012) en Californie, Aidam (2015) au Ghana, et Zhou et al. (2015) en Chine. Leurs résultats montrent que des prix de l'eau d'irrigation faibles ne conduisent pas à une diminution de la demande en eau, ceci est principalement attribué à la faible élasticité des fonctions de demande. Les changements dans les pratiques des agriculteurs se produisent uniquement lorsque le prix de l'eau atteint un niveau où la marge brute générée par les cultures irriguées est profondément affectée.

1.8. Méthodologie : Evaluation comparative des différents instruments de gestion de la demande.

Dans une perspective de réforme institutionnelle, Eggertsson (2009), introduit le concept « d'institutions imparfaites ». Cet auteur a donné une définition des institutions imparfaites qui est dans l'esprit d'une analyse institutionnelle comparative « les institutions peuvent être imparfaites (ou inefficaces), aux yeux d'un observateur, s'il estime qu'un ensemble d'institutions alternatives fournirait un meilleur résultat, tel que défini par le critère de performance utilisé par l'observateur ». Dans cette même logique, Schmid (2004) fournit un cadre pour l'évaluation des performances d'institutions alternatives en fonction des performances économiques engendrées par ces dernières. La performance, dans ce contexte, est une mesure relative associée à un ensemble d'objectifs sociaux (efficacité, équité, etc.). Les résultats attendus peuvent être fondés sur des notions d'objectifs sociaux à partir de la théorie, des données

recueillies auprès des parties intéressées ou à partir des enseignements tirés à partir de cas (pays ou région) ayant des situations similaires. Cette évaluation de la performance permet d'avancer des conclusions et/ou des estimations concernant la probabilité que des structures alternatives permettent d'atteindre les objectifs ciblés (Kaplowitz et al. 2008).

Suivant Schmid (2004) et Eggertsson (2009) et leurs analyses de l'impact des institutions, nous essayons, dans cette thèse, d'étudier l'impact de certains instruments institutionnels alternatifs à ceux existants sur la prise de décision des agriculteurs et d'analyser les résultats économiques engendrés. Pour ce faire, l'approche précédemment présentée sera combinée à une typologie des exploitations agricoles de notre échantillon. Faire une typologie va nous permettre de capter la diversité qui existe dans la région d'étude. En effet, on suppose que les agriculteurs ne réagissent pas tous de la même manière aux différentes politiques de gestion de la demande en eau. Notre approche sera basée sur les points suivants: i) l'écart entre la situation actuelle et une situation hypothétique : l'introduction et l'application de nouvelles politiques de gestion de l'eau d'irrigation dans les périmètres irrigués en Algérie, par exemple l'imposition des quotas d'eau d'irrigation, et ii) comparer les instruments institutionnels actuels à d'autres options futures, par exemple la comparaison entre la tarification actuelle avec une situation future où le prix de l'eau sera augmenté.

1.9. Conclusion.

Comparée à l'économie néo-classique, l'approche de la nouvelle économie institutionnelle pour la gestion des ressources élargit la portée de l'analyse en intégrant les institutions et les arrangements institutionnels. L'assouplissement de certaines hypothèses (telles que la rationalité sans limites et la disponibilité de l'information) tout en conservant d'autres (comme le concept d'efficacité – par rapport à la minimisation des coûts de transaction) signifie qu'une nouvelle approche d'économie institutionnelle est capable de faire face à un large éventail de phénomènes, et donc ne se limite pas qu'aux considérations économiques, et comprend les considérations sociales et politiques.

Cette revue de littérature sur l'économie néo institutionnelle et ses approches en relation avec le secteur de l'eau, nous donne une grille de lecture et un référentiel théorique qui nous a permis de proposer un cadre analytique en relation avec le contexte empirique Algérien. Ce cadre va nous permettre d'analyser la performance de certains instruments institutionnels de gestion de l'eau en Algérie. Ainsi, un ensemble d'indicateurs de performance ont été sélectionnés. Ces derniers vont être considérés comme une référence pour le processus d'évaluation. Dans cette

thèse, nous optons pour un ensemble d'externalités ou d'effets socialement et économiquement souhaitables générés au niveau de l'individu (par exemple : l'efficacité d'utilisation de l'eau, amélioration de la productivité, etc.). Ceux-ci seront utilisés pour l'évaluation comparative de la performance des divers instruments institutionnels considérés.

Chapitre 2 . Disponibilité, offre, demande et utilisations des ressources en eau en Algérie.

2.1. Introduction.

Afin de mieux cadrer la problématique et l'analyse conduite dans cette thèse, ce chapitre propose de présenter la disponibilité, la demande et l'utilisation de la ressource en eau en Algérie tout en mettant l'accent sur la situation de stress hydrique physique que rencontre le pays. Cette situation est due au fait que l'Algérie fait partie de la région de la MENA (Middle East and North Africa) qui est parmi les régions dans le monde qui font face à de graves pénuries d'eau, à des températures croissantes, et à une pluviométrie décroissante. La quantité des précipitations disponibles est, de ce fait, insuffisante pour garantir le besoin des cultures, en raison des niveaux très élevés d'évaporation (Hamdy et Lacirignola, 1999).

Nous exposerons aussi les réalisations du gouvernement (à partir de l'an 2000) ainsi que l'intérêt que porte le gouvernement à la mobilisation des ressources en eau non conventionnelles (dessalement et réutilisation des eaux usées) en vue d'accroître la stabilité en termes d'approvisionnement de la ressource (Benmechlia, 2004, Benblidia et Thivet, 2010). Cette dernière a été rapidement mobilisée et l'utilisation de l'eau d'irrigation a atteint des niveaux maximums. En effet, la demande en eau d'irrigation ne cesse de croître à cause principalement de l'extension et la création de nouveaux périmètres irrigués. L'offre va de ce fait atteindre ses limites ce qui va se répercuter sur la performance du secteur irrigué et sur sa viabilité.

2.2. Climat en Algérie.

L'Algérie est située au cœur d'une des régions du monde (MENA) les plus déficitaires en eau. C'est un pays majoritairement aride et semi-aride (Figure 2-1) qui comprend trois grands ensembles géographiques : le Tell au Nord, les hauts plateaux et l'Atlas saharien au centre, et le Sahara au Sud (FAO, 2015a).



Figure 2-1. Carte climatique de la région méditerranéenne (Source : Plan bleu, 2002).

- Le littoral et les massifs montagneux occupent 6% de la superficie totale et disposent d'un tiers des superficies cultivées du pays. Ces dernières sont très menacées par la concentration excessive de la population et des activités, ainsi que par l'urbanisation anarchique. Ces terres sont fragiles et peu résistantes à l'érosion. Le climat est de type méditerranéen, avec des pluies très violentes en hiver provoquant une forte érosion. En été, les précipitations sont extrêmement rares et les chaleurs très fortes. Les pluies, pouvant atteindre 1 600 mm/an sur les reliefs, sont irrégulières d'une année sur l'autre et sont inégalement réparties.
- Les hauts plateaux qui occupent environ 9% de la superficie totale sont caractérisés par un climat semi-aride (pluviométrie comprise entre 100 et 400 mm/an). Près des deux tiers des superficies cultivées y sont concentrés. Les terres y ont une forte teneur en sel. Le processus de désertification est important du fait de la sécheresse, de la fragilisation des sols soumis à l'érosion éolienne, de la faiblesse des ressources hydriques, et de la pratique intensive de l'agropastoralisme.
- Le Sahara, ensemble désertique aride (pluviométrie moyenne inférieure à 100 mm/an), couvre 85% du territoire et ses superficies cultivées sont très limitées, 100 000 ha environ. Les terres y sont pauvres, les conditions climatiques extrêmes et les amplitudes thermiques très fortes.

En moyenne, l'évapotranspiration potentielle varie de 800 mm dans le nord-est du pays à plus de 2 200 mm dans le sud-est.

2.3. Potentialités hydriques.

Sur l'ensemble du pays, les précipitations moyennes s'élèvent à 89 mm/an, ce qui permet un débit de 212 Km³ (Tableau 2-1). Ce niveau moyen de la pluviométrie est considéré comme l'un des plus faibles dans le bassin méditerranéen. A noter que l'essentiel des précipitations s'écoule vers la mer du fait de la topographie du sol. Le potentiel des ressources en eau du pays est estimé à un peu moins de 18 Milliards de m³. 71% seulement sont renouvelables (estimées à 12,7 milliards m³/an): 55% pour les eaux de surfaces, ce qui représente 9,8 milliards de m³ et 16% pour les eaux souterraines, c'est-à-dire 2,9 milliards de m³ dont 800 millions m³ dans le sud du pays.

La disponibilité de l'eau par habitant a chuté d'une moyenne de 1 500 (m³/hab/an) en 1962 à 630 m³/hab/an en 1998 à 325 m³/hab/an en 2014 (Kettab, 2001 ; FAO, 2015a) (Tableau 2-1). Ce ratio est plus élevé dans les autres pays de la méditerranée comme le Maroc (879 m³/hab/an) et Tunisie (420 m³/hab/an). Cette situation positionne l'Algérie parmi les pays qui vivent en dessous du stress hydrique, avec des ressources par habitant très inférieures au seuil de rareté de l'eau fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³/hab/an (Chabane, 2011).

Tableau 2-1. Ressources en eau.

Ressource en eau renouvelable		
Précipitations moyennes	89	mm/an
	212 000	Million m ³ /an
Ressources en eau renouvelables	12 700	Million m ³ /an
Ressource en eau renouvelable totale par habitant	325	m ³ /hab/an
Capacité totale des barrages	5000	Million m ³

Source : MRE, FAO (2015a).

Environ 420 millions m³/an quittent l'Algérie dont 320 millions m³/an d'eau de surface vers la Tunisie principalement par le bassin de la Medjerda et 100 millions m³/an d'eau souterraine aussi vers la Tunisie. L'indice de dépendance du pays est égal à 3,6%.

L'approvisionnement en eau fraîche et potable est fourni par les deux sources suivantes :

- Eaux conventionnelles : eaux de surface (réservoir d'eau de pluie), eaux souterraines.
- Eaux non conventionnelles : eau usée épurée, déminéralisation et dessalement.

2.3.1. Eaux conventionnelles.

Il s'agit de l'eau provenant de sources d'eau douce, rivière, puits, retenues, barrages, forages ...etc., c'est de l'eau qu'on peut tout simplement utiliser à l'état naturel même si celle-ci subit une légère déminéralisation. Les Ressources conventionnelles se subdivisent en deux catégories : les ressources conventionnelles renouvelables et les ressources conventionnelles non renouvelables.

2.3.1.1. Eaux de surface.

Les ressources renouvelables (75 % du total) se concentrent dans la partie nord du pays qui couvre environ 6 % du territoire. Les eaux renouvelables internes sont évaluées à 12,7 milliards m³/an pour l'ensemble du pays dont le Sahara. Elles sont réparties selon cinq bassins hydrographiques comme spécifiés dans la Figure et le Tableau 2-2.



Figure 2-2. Découpage de l'Algérie en régions hydrographiques (Agency Hydrographic Basin Sahara, 2005).

Tableau 2-2. Répartition des eaux renouvelables (en milliard de m³) selon les cinq bassins hydrographiques.

Régions hydrographiques	Eaux superficielles	Eaux souterraines	Totale ressource
Oranie – Chott Chergui	1	0,6	1,6
Cheliff - Zaher	1,5	0,33	1,83
Algérois –Hodna -Soummam	3,4	0,74	4,14
Constantinois-Seybouse-Mellegue	3,7	0,43	4,13
Sahara	0,2	0,8	1

Source : MRE, FAO (2015a)

Il existe quelques cours d'eau côtiers, au centre et à l'Est comme Aïn El Hammam, Soummam, Medjerda, Rhummel, Sebaou, Aïn El Hammam, Hamiz, Macta, Mazafran, etc. en revanche, le Chelif reste le plus long fleuve d'Algérie, sa longueur étant de 725 km. Ce fleuve est situé au nord-ouest de l'Algérie, il prend sa source dans l'Atlas tellien et se jette dans la Méditerranée. Il débite, dans les périodes de crues, 1 500 m³ par seconde.

Au sud de la région du Tell, les cours d'eau ne sont pas permanents. Il existe de nombreux lacs dans les régions désertiques, mais ce sont des lacs temporaires et salés pour la majorité comme Chott el Chergui et Chott el Hodna. Les cours d'eau du Tell se déversent dans la Méditerranée. Mais, ceux qui descendent vers l'Atlas saharien font partie de la plus grande réserve d'eau au monde. Ils forment une nappe phréatique dite la nappe de l'Albien.

Depuis 1999 à nos jours, l'état algérien a énormément investi dans la construction des barrages dans différentes régions afin de contrôler l'eau de surface en Algérie. Selon Drouiche et al. (2012), au cours des 20 dernières années, le gouvernement algérien a dépensé environ 130 millions d'USD/an sur ce sous-secteur. Cet investissement a résulté par la construction de 73 barrages, 163 petits barrages (d'une hauteur ne dépassant pas les 12 mètres et destinés à des fins agricoles), et 524 retenues collinaires en 2014, permettant le stockage d'environ 70 millions m³/an additionnels (FAO, 2015a). Certains barrages sont interconnectés en systèmes régionaux pour permettre des transferts d'eau et d'équilibrer les besoins en eau concentrés sur le littoral (MRE, 2014b ; Mozas et Ghosn, 2013).

Ces barrages se concentrent presque exclusivement dans la partie tellienne du pays où les conditions naturelles (ressources en eau et sites favorables) sont optimales. La répartition du taux de remplissage de ces barrages en 2014 était plus ou moins équilibrée entre les quatre régions du pays, puisqu'on enregistrait : 68 % pour les barrages de la région de l'Ouest, 60 % pour la région du Chelif, 67 % pour les barrages du Centre, et un léger avantage pour ceux de l'Est avec 74 %. Avec un taux de remplissage qui s'élevait à 68%. Les 73 barrages du pays en exploitation enregistraient un volume d'eau stocké de 5 milliards de m³ lors des dernières mesures effectuées en 2016 (MRE, 2017a).

Par leurs dispositions géographiques et capacité de stockage (surtout avec l'apport du barrage de Beni Haroun), les barrages de l'Est du pays ont enregistré, en 2014, le plus fort volume de mobilisation avec 1895 millions de m³, soit 41 % du volume total enregistré dans la même année, suivi, successivement, des barrages de la région du centre avec 1046,5 millions de m³ correspondant à 22,5 % du total, les barrages du Chellif avec 1032 millions de m³ soit un

pourcentage de 22 %, et enfin, les barrages de la région de l'Ouest (15 %) avec seulement 686 millions de m³ d'eau mobilisée. Les pertes sont très importantes en raison des fuites et de l'évaporation. Elles représentent un volume total de 14,9 millions de m³ (MRE, 2014a).

Par ailleurs, le phénomène d'envasement des barrages se pose avec acuité et constitue un problème majeur en Algérie (dégradation des sols agricoles, alluvionnement des retenues). Plusieurs paramètres entrent en jeu dans ce processus, il s'agit d'une part, des caractéristiques du milieu : le climat, la topographie, la lithologie, le couvert végétal (Touati, 2012). L'ampleur des dégâts provoqués par l'envasement des barrages est souvent considérable. La réduction de la capacité des barrages en est directement liée. Par conséquent, la diminution des volumes stockés qui s'en suit, agit ainsi sur la satisfaction des besoins qui est déjà loin d'être optimale (Maliki et Bouziani, 2009). Néanmoins, la lutte contre l'envasement occupe, aujourd'hui, une place importante dans les programmes de l'état puisque des actions ont été menées dans ce sens. En effet, l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) a lancé un vaste programme de dévasement depuis l'an 2000 : la réponse à ce problème peut être préventive (réduction des apports solides par un traitement des bassins versants, la protection des bassins versants contre l'érosion, etc....) ou curative (réalisation d'un barrage de décantation à l'amont, dévasement par divers procédés, etc....).

2.3.1.2. Eaux souterraines.

Les ressources en eaux souterraines renouvelables contenues dans les nappes phréatiques situées dans le nord du pays sont estimées à 2 milliards de m³ et sont exploitées à 90 % soit 1,8 milliard de m³/an qui est produite et consommée (MRE, 2017a). Par ailleurs, le sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraine très importante provenant des nappes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal, ou du Système aquifère du Sahara Septentrional, mais ces ressources sont faiblement renouvelables. Les réserves exploitables sans risque de déséquilibre hydrodynamique sont estimées à 5 milliards de mètres cubes par an (56 % pour le continental intercalaire et 44 % pour le complexe terminal), dont 1,6 milliard de mètres cubes qui sont utilisés (Drouiche et al. 2012). Néanmoins, le renouvellement des eaux souterraines n'est assuré qu'à hauteur de 800 millions de mètres cubes environ provenant des nappes superficielles, soit un taux de renouvellement de 15%. De ce fait, la plus grande partie des eaux souterraines sont exploitées comme des gisements (Mouhouche, 2014).

Toutefois, la pollution des ressources en eau acquiert des proportions inquiétantes, notamment dans le nord où se trouve la plus grande partie de ces ressources. Les eaux utilisées en irrigation

sont, en général, de qualité assez moyenne et minéralisées, ce qui cause la salinisation des sols agricoles. En outre, le développement de l'agriculture entraîne lui-même des dégradations fâcheuses de la qualité de l'eau destinée aux autres usages (pollution par les nitrates des nappes d'eau douce utilisées pour l'AEP) (Kessira, 2005).

2.3.3. Eaux non conventionnelles.

C'est dans le but d'augmenter la dotation en eau potable (par le dessalement) et protéger l'environnement (STEP) que l'Algérie s'est orientée vers les ressources non conventionnelles. En effet, en dépit des investissements et des réalisations en structures de stockage, la demande reste en constante croissance, mais surtout insatiable. Les ressources en eau non conventionnelles offrent un potentiel d'eau significatif à l'Algérie. Elles impliquent la réutilisation des eaux usées, la recharge artificielle des nappes souterraines et la production d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou par la déminéralisation d'eaux saumâtres.

2.3.3.1. Épuration des eaux usées.

Les pouvoirs publics ont vu dans le recours aux eaux usées épurées une opportunité de réduire ou du moins de préserver les ressources en eaux traditionnelles tout en accroissant la production agricole. En effet, l'Algérie peut tirer un important potentiel hydrique à partir des eaux usées domestiques. Le volume de ces dernières est estimé à 660 millions de m³ produit en 2004, 730 millions de m³ en 2010, 820 millions de m³ en 2012 et 1 100 millions de m³ en 2014 (Tableau 2-3).

Dès les années 70, la notion de protection des ressources en eau contre les effets de la pollution a été prise en considération par les pouvoirs publics. Ces eaux usées épurées servent alors à l'irrigation des cultures pérennes, principalement à l'arboriculture fruitière. Elles ne servent pas, cependant, à la culture maraîchère. L'effort en matière de systèmes d'épurations a été fait essentiellement depuis le début des années 80, puisque 70% des stations d'épurations, dites STEP, ont été livrées après cette date, avec une capacité totale de 3,5 millions d'équivalent habitant, soit 83% de la capacité totale (PRCNES, 2000).

En 2012, l'Algérie disposait de 145 stations d'épuration (boue activée et lagunes) avec une capacité installée estimée environ à 12 millions équivalent/habitant, soit 800 millions m³/an (Tableau 2-3). En 2014, 20 autres stations ont été réceptionnées ce qui a porté le nombre des stations d'épuration en exploitation à 165 stations avec une capacité installée estimée à environ

12,5 millions équivalent/habitant soit 900 millions m³/an. Cependant, seuls 324 millions de m³/an étaient effectivement traités en 2014 (Tableau 2-3).

Tableau 2-3. Evolution des indicateurs d'épuration 2004-2014.

Année	2004	2010	2011	2012	2014
Volume eaux usées rejetées (m³/an)	660	730	-	820	1100
Nombre de STEP	34	134	138	145	165
Capacité nationale de traitement des eaux usées (hm³/an)	166	669	700	800	900
Volume des eaux usées traitées (m³/an)	/	253	/	285	324

Source : (MRE, 2014)

Parmi les STEP exploitées par l'ONA (Office Nationale d'Assainissement), 17 sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. Le volume réutilisé jusqu'à fin août 2016 est estimé à 14,6 Millions de m³ afin d'irriguer plus de 11 076 ha de superficies agricoles (ONA, 2016). Les investissements du gouvernement algérien dans ce sous-secteur au cours des 30 dernières années sont importants. Ces dernières s'élèvent à 15 milliards de dollars (Banque Mondiale, 2012).

2.3.3.2. Dessalement et déminéralisation.

Le dessalement a fortement contribué à la sécurisation de l'approvisionnement en eau potable des villes côtières. En une décennie, l'Algérie a mis en place un grand programme d'installations de 13 grandes stations de dessalement d'eau de mer sur tout le littoral algérien dont 9 seulement sont fonctionnelles. La capacité de production a considérablement augmenté ces dernières années en passant d'une capacité de 47 000 m³/jour en 2002 à 2,26 millions m³/jour en 2014. La station d'El-Mactaa, près d'Oran, inaugurée fin 2014 dispose à elle seule d'une capacité de 500 000 m³/jour, soit, l'une des plus grandes unités de dessalement par osmose inverse¹⁴ au monde, permettant la couverture à long terme des besoins de cinq millions de personnes en eau potable. La production actuelle est de 515 millions m³/an (Tableau 2-4), desservant ainsi plus de 6 millions d'habitants. En plus de ces grandes stations, l'Algérie possède 21 stations monoblocs d'une capacité globale de 57 500 m³/j (20,9 millions m³/an)

¹⁴L'osmose inverse est la technique généralement utilisée pour traiter l'eau de mer en Algérie (Amitouche, 2016). Elle consiste à éliminer des sels dissous dans l'eau saumâtre par migration à travers des membranes sélectives sous l'effet d'un gradient de concentration (Violleau, 1999).

pour desservir 247 406 habitants. Ainsi, le nombre de stations de dessalement est de l'ordre de 34 stations avec une capacité totale de production d'eau douce de 2 317 000 m³/j.

Par ailleurs, la déminéralisation des eaux saumâtres a également une place importante dans les hauts plateaux et le Sahara. Cette technique est introduite dans la perspective d'améliorer et de renforcer la mobilisation des eaux destinées à la consommation humaine. Il a été prévu de déminéraliser les eaux saumâtres dans les hauts plateaux et le sud par ordre prioritaire depuis 1999. Le volume d'eau mobilisé est d'environ 72 000 m³/jour, soit 26 millions m³/an sont déminéralisés dans les 15 stations de déminéralisation en exploitation et est utilisée soit par les collectivités locales soit par l'entreprise nationale Sonatrach (MRE, 2014b).

2.4. Utilisation des ressources en eau disponibles.

Les ressources en eau prélevées en 2014 sont estimées à 8,4 milliards m³, dont 4,8 milliards m³ provenant d'eaux superficielles, 3 milliards m³ d'eaux souterraines (soit au-delà du volume renouvelable annuel), 515 millions m³ d'eau dessalée (MRE, 2014b) et 14,6 millions m³ d'eaux usées traitées directement utilisées pour l'irrigation.

Les prélèvements attribués à chacun des secteurs sont répartis comme suit : la part de l'agriculture correspond à 62 % soit 5223,5 millions m³, le prélèvement des municipalités est estimé à 35 pour cent, soit 2948,7 millions m³, et la part des industries à 3 %, soit 252,8 millions m³ (Tableau 2-4).

Tableau 2-4. Prélèvement d'eau conventionnelle et non-conventionnelle.

Prélèvement en eau :		
Prélèvement total en eau	8330	Million m ³ /an
- Agriculture	5164,6 (62%)	Million m ³ /an
- Municipalités	2915,5 (35%)	
- Industrie	249,9 (3%)	
Par habitant	219	m ³ /an
Prélèvement d'eau de surface et souterraine	7800	Million m ³ /an
Eaux non conventionnelles :		
Utilisation directe des eaux usées municipales traitées	14,6	Million m ³ /an
Eau dessalée produite	515	Million m ³ /an

Source : MRE (2017a) et FAO (2015a)

2.4.1. Eau potable.

Au cours des trois dernières décennies, le gouvernement algérien a mené une politique ambitieuse afin d'assurer l'approvisionnement en eau potable pour toutes les villes du pays, atteignant un taux de couverture de 95 % en milieu rural. La capacité de production d'eau potable dans les zones urbaines a été multipliée par 2,5 entre 1999 et 2012, pour atteindre 3 milliards m³/an. De ce fait, tout le monde a accès à l'eau potable dans les zones urbaines et dont 95 % sont fournis par des connexions individuelles (OMS et UNICEF, 2013).

La dotation moyenne par habitant en eau potable a atteint 175 litres/jours/habitant en 2014, alors qu'elle n'était que de 150 l/j/hab en 2004 et de 123 l/j/hab en 1999. Au niveau des chefs-lieux de wilaya, les dotations journalières atteignaient 196 l/j/hab en 2014.

2.4.2. Industrie.

Les industries sont alimentées soit à partir des réseaux urbains soit à partir d'installations leur appartenant et qu'elles exploitent elles-mêmes. Ceci rend l'évaluation de leurs consommations et demandes d'eau complexe. Selon Eurostat (2015), le secteur industriel consomme en moyenne 3% des prélèvements d'eau douce en Algérie. La consommation d'eau la plus importante est celle de la branche des hydrocarbures (près de 45% du total). La sidérurgie représente 18 % de la consommation totale industrielle. Cependant, il est à noter qu'en Algérie, il n'existe pas encore de recyclage d'eau dans les industries.

2.4.3. Irrigation.

De par les potentialités que renferme le pays en matière agricole et en raison de la nécessité primordiale d'assurer la couverture des besoins nationaux en produits alimentaires, l'agriculture occupe une importance de premier plan. Cette situation est essentiellement due à la mise en œuvre du Plan National de Développement Agricole et Rural (PNDAR). Le PNDAR a été lancé en 2000 avec pour objectifs la sécurité alimentaire, le développement rural et la préservation des ressources naturelles.

La quantité d'eau provenant des barrages¹⁵ et des eaux souterraines utilisée pour l'irrigation en 2014 est estimée à environ 5,2 milliards m³ en moyenne (27% proviennent des eaux

¹⁵En Algérie, la détermination de la quantité d'eau provenant des barrages et allouée au secteur agricole est faite selon la disponibilité de l'eau stockée et après avoir soustrait le volume d'eau affecté à l'usage urbain et industriel. En effet, le code de l'eau en Algérie stipule que la priorité est donnée à l'approvisionnement en eau potable (Mouhouche, 2014).

superficielles, 72% des eaux sous-terraines, et 1% des eaux épurées), dont 4,9 milliards utilisées par les petites et moyennes hydrauliques et 0,3 milliard par les grands périmètres d'irrigation. Ce niveau d'alimentation est inférieur de la quantité supposée satisfaire la demande en eau de ce secteur. Ce manque est compensé par la surexploitation des eaux souterraines. En effet, la grande majorité des aquifères de l'Algérie sont surexploités et leurs niveaux piézométriques sont en baisse de plusieurs mètres par an (Hamiche et al. 2015).

Sur les 1 226 000 ha irrigués en 2014, 51% sont irrigués par irrigation de surface, 27 % par aspersion et 22 % par irrigation localisée. Cependant, malgré la prédominance des techniques d'irrigation traditionnelles, ces dernières font progressivement place à l'irrigation par systèmes sous pression (aspersion et localisée) qui a en effet progressé de 21 % en 2000 à 42 % en 2012 et 49 % en 2014 (FAO, 2015b).

2.5. Ressources en sols et évolution des superficies irriguées.

L'Algérie occupe une surface totale de 238 millions d'ha, alors que la SAU ne couvre que 8,5 millions d'ha, soit 3,6 % de la surface totale. Pour ce qui est de la superficie irrigable, le plan de Constantine (1959-1963) de la période coloniale, indiquait déjà un potentiel de 1,3 million d'ha, et un rapport plus récent indique que 2,2 millions d'ha sont irrigables en ne considérant que la nature des sols, dont 137 000 ha dans les régions sahariennes (SOFRECO, 2012). Mais seuls 1,3 million ha sont aptes à l'irrigation sans travaux d'épierreage, de drainage ou de lessivage (MRE, MRDA, 2008).

Depuis les années 2000, la mise en œuvre du ‘plan d'action de l'économie de l'eau’ et les investissements engagés par l'état ont permis une forte augmentation non seulement des superficies équipées, mais également des superficies réellement irriguées. Elles passent de 350 000 en 2000 à 816 898 ha en 2008 (dont 53 000 ha équipés pour l'irrigation par épandage de crue en PMH) et 1 226 000 ha en 2014 ce qui représente 15% de la SAU à l'échelle nationale (Van Steenberg et al. 2008 ; FAO, 2015a) (Tableau 2-5). Malgré cela, l'agriculture irriguée, joue un rôle économique important dans la mesure où elle contribue à près de 50% de la valeur ajoutée agricole du pays.

Les superficies irriguées se répartissent en deux ensembles nettement différenciés à la fois par la taille des aménagements et par le mode de gestion : les grands périmètres d'irrigation (GPI) gérés par l'Office Nationale de l'irrigation et de Drainage (ONID) et les irrigations de petite et

moyenne hydraulique (PMH) gérées directement par les agriculteurs et utilisant en grande partie des ressources en eau souterraine.

2.5.1. Les Grands Périmètres Irrigués (GPI).

Dépassent en général 500 ha d'un seul tenant. Ils sont alimentés en eau à partir de barrages ou de forages profonds avec d'importants investissements collectifs totalement réalisés par l'État. Les GPI comprennent, en plus des 8 anciens périmètres de la préindépendance, 22 périmètres récents additionnels d'environ 109 402 ha pour une superficie équipée totale de 229 907 ha en 2012. En 2014, 5 nouveaux périmètres ont été construits pour atteindre une superficie totale en GPI de 260 600 ha ce qui représente 20% de la superficie équipée en maîtrise totale (Tableau 2-5) et (Figure 2-3). En 2013, le volume d'eau alloué aux GPI était de 663 millions m³ provenant des eaux superficielles stockées dans les grands barrages (FAO, 2015a) et seuls 86 000 ha ont été réellement irrigués, soit 37 % de la superficie équipée. Cette différence provient d'une part de la dégradation des réseaux et/ou des sols (salinisation, déclassement de certaines superficies). En 2008, environ 57 000 ha nécessitaient en effet une réhabilitation, alors qu'environ 24 270 ha étaient considérés comme «perdus», c'est-à-dire, que même une réhabilitation ne suffisait pas (SOFRECO, 2012). D'autre part, la priorité accordée à l'alimentation en eau potable au détriment de l'irrigation, et aux problèmes de gestion/exploitation /maintenance.

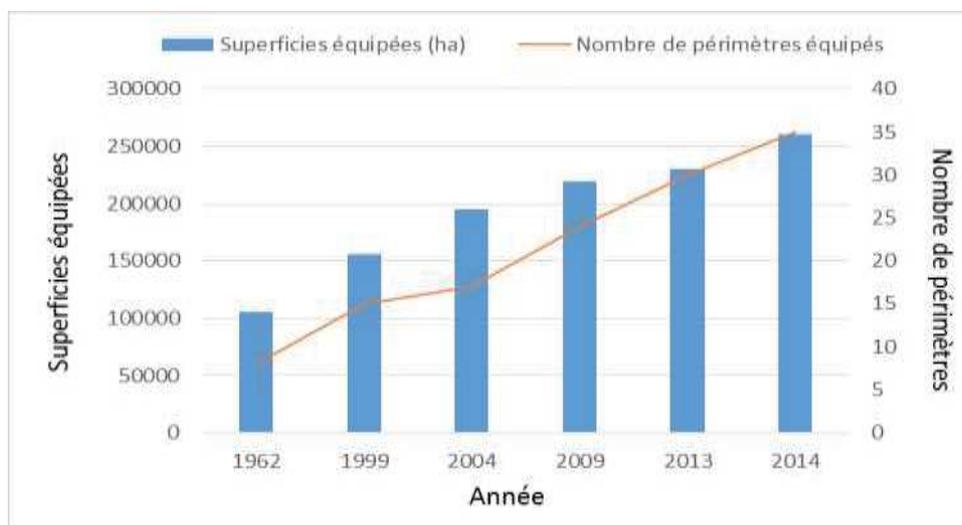


Figure 2-3. Superficie équipée des grands périmètres d'irrigation.

Tableau 2-5. Evolution des superficies équipées pour l'irrigation depuis l'indépendance (incluant l'irrigation par épandage de crue).

		1962	1986	1999	2008	2012	2013	2014
GPI	équipé	105 500	146 120	156 000	213 378	229 907	231 737	260 600
	irrigué	44 000	66 170	50 500	39 923	97 310	86 000	
PHM	équipé		290 000	350 000		1 000 000	1 118 070	1 155 033
	irrigué	120 000	216 000	300 000	776 975	967 268	1 033 259	
Total	équipé			506 000		1 229 907		
	irrigué	164 000	282 000	350 000	816 898	1 064 578	1 119 259	1 226 000

Source: (MRE, 2017a; FAO, 2015a).

2.5.2. Les périmètres de Petite et Moyenne Hydraulique (PMH).

Les périmètres de PMH sont caractérisés par des surfaces éparses et ont en majorité une superficie inférieure à 500 ha. Une partie ou la totalité des investissements est y réalisée par les agriculteurs. L'eau d'irrigation provient en grande partie des sources souterraines. En effet, en 2013, les ressources souterraines (forages et puits) destinées à l'irrigation ont contribué à irriguer 895 600 ha, soit 86,7% du volume total, contre seulement 117 800 ha de surfaces irriguées par les autres ressources superficielles (sources, petits barrages, retenues collinaires, Chotts), soit 11,4% sur un total de 1 033 000 ha. Les autres ressources ne représentent que 1,9% et n'interviennent qu'à hauteur de 19 600 ha de terres irriguées (MRE, 2014).

L'importance de la superficie des PMH par rapport à celle des GPI fait que le secteur privé est à l'origine d'une part essentielle de la production agricole irriguée. Toutefois, cette production reste faible au regard des besoins du pays à cause, principalement, du manque d'eau disponible. Une partie des PMH (notamment les palmiers dans les oasis dans le sud et des cultures saisonnières comme les céréales) est irriguée à partir des épandages de crues, elle est estimée à environ 110 000 ha en 1984 et 1992, 56 000 ha en 2001 et 53 000 ha en 2012.

2.6. Demande en eau future.

Selon Hamiche et al (2015), la demande en eau pour tous les secteurs d'utilisation est évaluée à environ 19 milliards m³ en 2030. La répartition de cette dernière selon les différents secteurs est présentée comme suit (Tableau 2-6).

Tableau 2-6. Demande en eau future.

Secteur	2030
Potable et industrie (Million m ³)	3 500
Tourisme	200
Irrigation	15 400
Total	19 100

Source : *Benblidia (2011) et Hamiche et al. (2015)*

2.6.1. Demande en eau potable et industrielle.

Dans l'hypothèse où la gestion de la demande reste à son niveau actuel (sans action de réduction sur la dotation en eau individuelle et sans action plus forte sur les pertes) la demande en eau en 2030 est estimée à environ 3,5 milliards de m³/an (Hamiche et al, 2015). Par ailleurs, dans l'hypothèse d'une gestion de la demande volontariste (avec une dotation individuelle ramenée de 120 l/hab/jour à environ 100 l/hab/jour et un rendement de distribution porté de 55 % à 80 %) la demande en eau en 2030 serait de l'ordre de 2,5 milliards de m³/an (Benblidia, 2011).

2.6.2. Demande en eau d'irrigation.

La demande en eau agricole qui correspond aux besoins potentiels en eau d'irrigation, afin d'assurer une sécurité alimentaire satisfaisante, a été évaluée à environ 15 à 20 milliards de m³ par an (Maliki et Bouziani, 2009). D'autres études viennent étayer ces chiffres. En effet, des évaluations de l'évolution de la demande en eau ont été faites sur deux scénarios, le premier scénario prévoit peu de changement dans l'efficacité d'utilisation de l'eau, une extension moyenne des surfaces irriguées et le maintien des spéculations actuelles, le deuxième scénario envisage une amélioration des efficacités d'utilisation de l'eau, une extension des surfaces jusqu'à 2 000 000 ha et le développement de cultures céréalières et fourragères, montrent que la demande en eau d'irrigation serait de 15,4 milliards de m³ et 20 milliards de m³ pour l'hypothèse 1 et 2, respectivement (Hamiche et al., 2015).

2.7. Projection des disponibilités en eau.

Les projets et programmes, identifiés par le Plan National de l'Eau, ont pour objectif de maximiser la mobilisation des ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles pour assurer et sécuriser la couverture, à long terme, de la demande en eau des populations et des activités agricoles et industrielles. Ceci par la constitution de réserves régionales autour de barrages de grande capacité, de grands transferts régionaux, d'interconnexion des barrages, et par la construction de station d'épuration et de dessalement.

2.7.1. Projection de l'eau de surface.

À l'horizon 2030, l'ANBT envisage la construction de près de soixante-dix barrages dans tous les bassins hydrographiques afin de sécuriser l'approvisionnement en eau et satisfaire les besoins en Algérie. Les barrages prévus sont destinés à être construits de plus en plus loin du lieu d'utilisation de l'eau. Leur construction est, de ce fait, de plus en plus complexe et coûteuse en termes techniques et économiques. Néanmoins, ces derniers vont permettre d'exploiter 5 milliards de mètres cubes d'eau supplémentaires soit un volume d'eau exploitable de 13 Milliards de m³ (Leconews, 2013). Principalement, ces projets impliquent d'augmenter l'approvisionnement en eau d'irrigation pour les zones déjà équipées. Mais nécessiterait, selon la stratégie nationale des ressources hydriques, la construction de nouveau projet de transfert de l'eau.

2.7.2. Projection de l'eau souterraine.

La projection de l'eau souterraine prend en compte l'impact des mesures prévues par la stratégie nationale des ressources hydriques. Qui s'articule principalement sur :

- La mise en œuvre de programmes de conservation de l'eau d'irrigation, qui conduira à une réduction significative des prélèvements d'eau ;
- L'utilisation des ressources de surface pour remplacer le pompage de l'eau provenant de la nappe phréatique. Un volume d'environ 100 millions de m³/an d'eau souterraine utilisée pour l'AEP sera remplacé par une eau de surface d'ici 2025 ;
- La recharge artificielle des nappes souterraines. La stratégie nationale des ressources en eau a évalué cette recharge à environ 200 millions m³/an en 2030, avec environ 100 millions m³ de traitement des eaux usées ;
- Le renforcement du système de surveillance et de sanctions du gaspillage et la restriction de pompage des eaux souterraines (cadre de tarification révisé, suppression des subventions qui incitent à la surconsommation, la mise en œuvre des mesures pour la mise en place de zones protégées et interdites, etc.).

2.7.3. Projection des ressources en eau non conventionnelle.

Les prévisions pour 2030 ont estimé que la quantité des eaux non conventionnelles pouvant être exploitées est de près de 3 milliards m³, dont 1 milliard de m³ provenant du dessalement de l'eau de mer et environ 2 milliards m³ de l'épuration des eaux usées (MRE, 2012, Hamiche et al, 2015). Le potentiel hydrique de ce dernier est destiné à être utilisé pour l'arrosage des espaces verts et des terrains de sports, ainsi qu'au développement de l'irrigation dans les zones

urbaines. Pour ce faire, l'Algérie a lancé un programme de constructions de nouvelles unités d'épuration de l'eau. Actuellement, le secteur des ressources en eau compte 69 systèmes épuratoires en cours de travaux avec une capacité installée estimée à environ 6 millions équivalent habitant soit 244 millions m^3 /an. Une fois ce programme achevé (horizon 2020) le parc de stations d'épuration atteindra plus de 270 unités avec une capacité installée de près de 1,3 milliard de m^3 /an (MRE, 2016). D'autres programmes ambitieux de développement d'infrastructures de mobilisation et de déminéralisation des eaux saumâtres sont en voie de réalisation afin d'améliorer la qualité de l'eau potable mise à la disposition des populations du sud. En effet, 14 stations de déminéralisation sont en cours de réalisation. À terme, un volume global journalier de l'ordre de 205 560 m^3 /j (75 hm^3 /an) sera mis à disposition de ces populations pour subvenir à leurs besoins.

2.8. Conclusion.

Au cours des dernières décennies, les autorités ont mené à bien la mission pour le développement en matière d'accès à l'eau potable et à l'assainissement, avec une capacité de production d'eau potable multipliée par trois en dix ans et des taux de raccordement de la population aux réseaux publics d'eau potable et aux réseaux d'assainissement de respectivement 95 % et 87 % (Mozas et Ghosn, 2013). Cependant, la disponibilité des ressources en eau conventionnelle est affectée par la croissance de la demande et la détérioration de la qualité des eaux de surface et souterraines. En outre, le changement climatique aggrave encore la situation et, de ce fait, les ressources mobilisées ne suffisent pas à couvrir la demande.

L'équilibre entre l'offre et la demande en eau en Algérie est en grave déficit. La projection pour la demande future de l'eau et sa disponibilité montre qu'une situation critique en termes de bilan hydrique est susceptible de se produire au cours de la prochaine décennie (horizon 2020-2030). En effet, en 2030, la demande en eau est estimée à environ 20 milliards m^3 , tandis que les ressources renouvelables disponibles sont évaluées à seulement 12,7 milliards de m^3 . En réponse à ce dilemme et afin de préserver la pérennité de l'irrigation et d'assurer un meilleur approvisionnement en eau potable, l'Etat a opté pour le développement de l'eau non conventionnelle, à savoir les eaux usées épurées et les eaux de drainage ainsi que le dessalement d'eau de mer. En effet, outre l'impact écologique, les eaux usées épurées constituent une alternative, à la fois, pour développer la mise en valeur des terres notamment dans les régions déficitaires (de l'ouest du pays par exemple), mais aussi pour recharger artificiellement les

nappes en situation de surexploitation, notamment les nappes côtières connaissant une salinisation (Akli, 2015).

Pour le secteur de l'agriculture, et outre la surexploitation des nappes phréatiques au niveau des périmètres irrigués surtout au niveau des PMH dont l'irrigation est effectuée à partir des puits et forages privés, la demande en eau est loin d'être satisfaite (Benblidia, 2011 ; Boudjellal et al. 2011). Ceci rend difficiles l'intensification des cultures et/ou l'extension des surfaces irriguées. La sécurité alimentaire du pays est à son tour difficile à satisfaire d'où la forte dépendance vis-à-vis du marché international, et place l'Algérie parmi les dix principaux pays importateurs mondiaux de produits alimentaires (Boussard et Chabane, 2011).

Chapitre 3 . Lois, politiques et administration de l'eau en Algérie.

3.1. Introduction.

En plus de la rareté physique des ressources eau, certains parlent aussi de problèmes organisationnels et institutionnels, en se référant au manque d'organisation et à la faible gouvernance du secteur. C'est dans ce cadre qu'une présentation des institutions existantes dans le pays et les relations entre elles est utile pour fournir une idée générale du cadre de gouvernance dans lequel opèrent les instruments qui vont être étudiés dans cette thèse.

Le présent chapitre présente un aperçu des composantes institutionnelles de l'eau d'irrigation en Algérie. Une distinction est faite entre les trois principales composantes institutionnelles : la loi, la politique, et l'administration de l'eau. De même, quelques aspects institutionnels clés dans chacune des principales composantes seront avancés. Dans ce chapitre nous nous sommes limités uniquement à la présentation de certains de ces aspects institutionnels clés. Ce choix a été fait en fonction de la disponibilité de la bibliographie.

3.2. Lois sur l'eau¹⁶.

La gestion du secteur de l'eau en Algérie s'organise principalement dans le cadre de la Loi relative à l'eau (loi 0512 du 4 août 2005). Instrument juridique à double finalité, normative et de politique sectorielle. Cette loi fondamentale est issue du Code de l'eau de 1983. Celui-ci a subi des modifications successives pour prendre en compte les évolutions économiques du pays et pour adopter les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion, et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale.

La loi sur l'eau de 2005 consacre le droit d'accès à l'eau et à l'assainissement pour tous et définit les principes sur lesquels se fondent l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau :

- le droit d'accès à l'eau et à l'assainissement pour tous ;
- le droit d'utilisation des ressources en eau pour tous dans les limites de l'intérêt général ;
- la planification des aménagements dans le cadre d'unités hydrographiques naturelles ;

¹⁶ Tous les documents relatifs aux décrets et lois citées dans ce qui suit peuvent être trouvés sur le lien : <http://FAOLEX.FAO.org/FAOLEX>

- la prise en compte des coûts réels des services d'approvisionnement en eau à usage domestique, agricole et industriel et des services d'assainissement ;
- la récupération des coûts d'intervention publique liés à la protection quantitative et qualitative des ressources en eau, à travers des systèmes de redevances d'économie d'eau et de protection de sa qualité ;
- la systématisation des pratiques d'économie et de valorisation de l'eau par des procédés et des équipements appropriés ainsi que le comptage des eaux produites et consommées pour lutter contre les pertes et le gaspillage ;
- la concertation et la participation de tous les acteurs.
- la possibilité de concession ou de délégation du service public de l'eau à des personnes morales de droit public ou privé.

3.2.1. Loi sur l'eau et la décentralisation.

Jusqu'en 1985, les grands périmètres irrigués étaient gérés par un service administratif centralisé ; les subdivisions d'exploitations étaient rattachées aux Directions de l'hydraulique des wilayas (Guemraoui et Chabaca, 2005). À partir de 1985, le gouvernement a entrepris un programme de décentralisation de la gestion du secteur de l'eau. Il a consisté en premier lieu à déléster l'État d'un certain nombre de prérogatives et à en transférer la charge vers les collectivités locales. La gestion des périmètres d'irrigation a été prise en charge par les agences d'irrigation (Office des Périmètres Irrigués, sous tutelle du ministère de l'hydraulique) et a été financée par les ventes d'eau et les subventions de l'Etat. Ces entreprises disposaient d'une relative autonomie et d'une meilleure souplesse de gestion par rapport à la situation antérieure. Ces établissements disposaient d'un Conseil d'administration qui comporte un représentant de toutes les autorités locales concernées ainsi que celui des usagers. Les périmètres ont été donnés en concession aux offices sur la base d'un cahier des charges approuvé par décret (Mouhouche et Guemraoui, 2004).

En 2005, un nouveau code de l'eau a été adopté, et un nouvel arrangement institutionnel a restructuré les agences d'irrigation en un seul organe de gestion de l'irrigation, l'ONID (Office Nationale pour l'Irrigation et le Drainage), qui a été créé en tant qu'entité juridique indépendante financièrement (Brebica et Kungolos, 2007). En effet, conformément au décret 05-183 du 18 mai 2005 portant le réaménagement du statut de l'AGID (l'agence nationale de réalisation et de gestion des infrastructures hydrauliques pour l'irrigation et le drainage), c'est l'ONID qui se mettra en place en récupérant les attributions de l'AGID ainsi que le patrimoine, les moyens,

les droits et les obligations des 5 offices des périmètres irrigués nationaux qui seront dissous. L'ONID, conformément à l'article 16 du décret 05-183, a été conçu dans la perspective de la décentralisation et de la gestion par régions hydrographiques.

Dès 2005, la décision politique de décentraliser et d'intégrer des parties concernées dans la gestion de l'eau est affichée à travers la loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau. Ainsi cette loi prévoit en son article 3 : « la concertation et la participation des administrations, des collectivités territoriales, des opérateurs concernés et des représentants des différentes catégories d'usagers, pour la prise en charge des questions liées à l'utilisation et à la protection des eaux et à l'aménagement hydraulique, au niveau des unités hydrographiques naturelles et au niveau national ». La participation est ainsi ouverte à tous, comme le montre l'article 76 : « La concession d'utilisation des ressources en eau relevant du domaine public hydraulique naturel est un acte de droit public délivré à toute personne physique ou morale, de droit public, ou privé, qui en fait la demande, conformément aux conditions fixées par la présente loi et selon les modalités définies par voie réglementaire ».

3.2.2. Participation du secteur privé.

En 1992, la Banque Mondiale soutenait l'émergence d'un modèle basé, entre autres, sur l'adoption de Partenariat Public Privé (PPP) où l'État conserve une légitimité juridique lui permettant de rédiger un code de l'eau et d'établir divers contrats avec les agents privés, notamment financiers. Le PPP est défini comme une entente contractuelle entre les pouvoirs publics et la sphère privée pour fournir des services traditionnellement proposés par l'État.

Depuis 1996, le Code de l'eau en Algérie autorise le secteur privé à participer en tant qu'opérateur d'une concession au développement du secteur. La loi de 2005 en apporte d'une certaine manière la confirmation et en précise les conditions juridiques et réglementaires. En effet, ces partenariats publics-privés sont réglementés par la nouvelle loi sur l'eau, promulguée en 2005, qui fixe les conditions de participation du secteur privé sous forme de gestion déléguée par contrat. Cette loi permet la possibilité d'effectuer une concession ou une délégation de service public de l'eau à des personnes morales de droit public ou privé. Cependant, la décision de faire appel au secteur privé pour améliorer la qualité et l'efficacité des services d'eau et d'assainissement n'a pas fait l'unanimité. La gestion de l'eau demeure, de ce fait, marquée par une forte centralisation (Benblidia et Thivet, 2010 ; Benblidia, 2011).

De nombreuses critiques et oppositions se sont manifestées contre l'intervention de sociétés privées étrangères. Ces réticences ont conduit les responsables du secteur de l'eau à adopter

une démarche prudente, à limiter la participation privée à des contrats de gestion dans une première étape, se réservant la possibilité, dans une deuxième phase, de passer à des formules engageant davantage le partenaire privé (affermage par exemple).

3.2.3. Loi sur l'eau et la tarification.

La Loi sur l'eau requiert l'application de tarifs pour les services de l'eau sur la base des principes de viabilité financière à long terme (équilibre financier), de solidarité sociale, d'incitation à la conservation de l'eau et la protection de la qualité de l'eau. Ces redevances, fixées et recouvrées par l'exploitant des services d'eau, doivent couvrir tout ou une partie des coûts d'investissement, d'exploitation, de maintenance et de renouvellement des infrastructures liés à la gestion du service public.

La tarification de l'eau d'irrigation est définie pour les exploitations agricoles approvisionnées à partir d'installations dont la gestion relève du pouvoir public. Il est à noter qu'il n'existe pas de redevances particulières pour les exploitations privées alimentées par des installations individuelles réalisées par les propriétaires eux-mêmes (puits, forages, prises en rivières...).

Les modalités de tarification de l'eau à usage agricole et les tarifs correspondants ont été fixés en 2005 (décret n°05-14 du 9 janvier 2005) et en 2007 (décret n°07-270). Ces deux derniers décrets ont précisé les zones tarifaires et procédé à une augmentation des bases tarifaires.

3.2.4. Droits de propriété.

Si l'eau en Algérie appartient au domaine public, des droits d'utilisation de l'eau sont octroyés aux personnes privées ou aux sociétés. Selon l'Article 72, les autorisations ou concessions de l'utilisation de l'eau confèrent à un détenteur des droits sur un volume prédéterminé pour une durée spécifiée à partir des ressources disponibles au niveau national pendant une année moyenne.

Pour ce qui est de l'eau souterraine, les droits fonciers que les agriculteurs acquièrent par le biais de politiques foncières (APFA ou concession) se réfèrent implicitement à un droit d'accès aux eaux souterraines¹⁷. Cependant, ces droits à l'eau liés aux droits fonciers accordés par le

¹⁷ En Algérie, l'eau est une ressource publique et tout forage demande une autorisation administrative. Cette règle n'est pas toujours respectée et les autorités administratives locales font preuve d'une certaine tolérance, qui est variable selon les rapports de force du moment entre les acteurs de la sphère marchande (exploitants agricoles, entreprises de réalisation de forage, etc.) et les agents de l'administration (Daoudi et Lejars, 2016).

gouvernement aux nouveaux usagers ne sont pas clairement définis (durée de validité, durée du pompage autorisé, volume de pompage, redevance, etc.) (Daoudi et al. 2015).

3.2.5. Promouvoir les nouvelles technologies.

Pour assurer une gestion et une utilisation efficaces de l'eau, il est nécessaire de veiller à ce que les technologies mises en place soient accessibles, acceptables socialement et faciles à entretenir. En Algérie, la législation sur l'eau est positive pour le développement des techniques d'économie d'eau dans les différents secteurs. En outre, conscient de la nécessité d'utiliser efficacement l'eau dans l'agriculture, l'Etat a mis en place un programme qui fixe une subvention financière directe pour les agriculteurs qui veulent investir dans les technologies d'économie d'eau. En effet, d'après la loi sur l'eau du 4 septembre 2005, l'Etat fournit des aides et soutiens de toute nature et qui peuvent être accordés aux personnes physiques ou morales, de droit public ou privé, qui initient et mettent en œuvre des opérations portant notamment sur le développement, l'implantation ou la modification de technologies, de procédés, d'installations ou d'équipements qui permettent d'économiser, de recycler et de valoriser l'eau.

3.2.6. Protection de la qualité et préoccupations environnementales.

L'ensemble des textes réglementant les activités liées à l'environnement sont régis par la loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable (Décret exécutif n° 90-78 de février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement, Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents d'eaux usées industrielles, Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels), en vue de maîtriser qualitativement et quantitativement les ressources en eau, cette loi souligne l'importance d'intégrer le long terme et la durabilité des ressources dans les choix politiques. Cependant, une marge d'amélioration dans le contrôle et l'application des lois et des textes en vigueur est possible, en particulier concernant l'application de règles contraignantes visant à réduire les pollutions industrielles.

3.3. Politiques de l'eau.

3.3.1. Politique d'approvisionnement.

L'accroissement rapide de la population, le développement de l'urbanisation et l'élévation du niveau de vie ont entraîné une évolution considérable de la demande en eau en Algérie. Ainsi, pour satisfaire cette demande croissante, les stratégies nationales ont privilégié l'accroissement de l'offre en eau et prévoient la poursuite des grands travaux afin d'accroître la maîtrise des

eaux et de réduire les risques face aux contraintes naturelles. Cette politique de l'offre a permis de dégager des ressources supplémentaires en eau et l'Algérie a vu sa capacité de stockage des eaux de surface doubler.

Cette politique axée sur l'augmentation de l'offre en eau s'inscrit dans la stratégie nationale d'aménagement du territoire et elle est basée sur :

- Un accroissement des prélèvements sur les ressources renouvelables via l'intensification et le parachèvement des aménagements hydrauliques, la surexploitation des eaux souterraines et le développement des transferts interrégionaux ;
- l'accroissement de l'exploitation "minière" des réserves d'eau souterraine non renouvelables dans les bassins sahariens, exploitation qui pourrait plus que doubler d'ici 2025 ;
- la réutilisation des eaux usées épurées ;
- la production industrielle d'eau douce par dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre.

3.3.2. Financement des investissements.

Le financement des infrastructures hydrauliques se fait sur budget de l'Etat. Ce dernier est fixé annuellement par la loi de finances qui prévoit et autorise, pour chaque année civile, l'ensemble des ressources et des charges de l'État, ainsi que les autres moyens financiers destinés au fonctionnement des services publics. Elle prévoit et autorise, en outre, les dépenses destinées aux équipements publics, ainsi que les dépenses en capital.

Depuis le début des années 2000, les dépenses publiques liées au secteur de l'eau ont connu une constante augmentation¹⁸ et plus de deux tiers de ces investissements furent destinés à la rénovation et à la construction de grandes infrastructures de mobilisation de transfert, d'adduction et de stockage d'eau. Ceci reflète bien l'importance des efforts déployés pour mobiliser davantage de ressources afin de satisfaire les besoins en eau potable, de protéger la ressource, et de répondre aux besoins de l'agriculture. Près de 470 milliards de dinars ont donc été mobilisés entre 2000 et 2009 pour l'amélioration du secteur de l'AEP, et près de 475 milliards de dinars pour la mobilisation de la ressource au courant de la même période auxquels s'ajoute le budget alloué pour le financement du grand programme de dessalement qui est à la

¹⁸En pourcentage du PIB, les autorisations budgétaires d'investissements dans le secteur de l'eau, incluant l'hydraulique agricole, ont doublé pour passer de 1,3% en 1999 à 2,6% en 2006 (Benblidia, 2011).

charge du Ministère de l'Énergie et des Mines, budget dont plus de 80 milliards de dinars ont été mobilisés (Yessad, 2012).

3.3.3. Transfert d'eau.

Les transferts d'eau en Algérie existent depuis longtemps. En effet, dans un document intitulé : « Campagne d'Afrique en 1830 », rédigé par un officier du corps expéditionnaire français, il y décrit le pays et dit: « ...un grand nombre d'aqueducs amène les eaux jusqu'à la capitale... »¹⁹. Mais, c'est principalement au cours de la dernière décennie que des opérations importantes ont été entreprises, certaines étant en cours de réalisation par l'ANBT. Actuellement, la répartition équitable des ressources en eau entre les différentes régions du territoire algérien constitue un axe important de la politique mise en place par le gouvernement. Ce programme de transferts régionaux vise principalement à assurer une meilleure équité entre les territoires et à pallier aux disparités géographiques pour l'accès à l'eau. Ceci en faisant connecter les ressources en eau des différents systèmes régionaux autour des grands centres urbains tout en desservant les villes alentours par l'intermédiaire d'infrastructures de moindre envergure, par exemple, le barrage de Beni Haroun à Mila qui dessert la wilaya de Constantine (Mozas et Ghosn, 2013). Ces transferts d'eau vont aussi servir à alimenter les régions à fort potentiel agricole. Ainsi, à titre d'exemple, en aménageant de grands transferts vers les wilayas de Sétif et de Djelfa (Tableau 3-1), le gouvernement entend faire de ces deux wilayas des zones productrices de céréales.

Tableau 3-1. Transferts d'eau en Algérie

Désignation	Lieux d'affectations
Transferts Nord-Nord et Nord-Hauts Plateaux	
Béni Haroun	Mila, Constantine, Khenchela, Oum El Bouagui et Batna (504 hm ³ /an)
Takseb	Tizi Ouzou, Boumerdes et Alger (180 hm ³ /an)
Koudiat Acerdoune	Bouira, Tizi Ouzou, M'sila et Médéa (178 hm ³ /an)
Mostaganem-Arzew-Oran	Mostaganem et Oran (155 hm ³ /an)
Erraguène-Tabellout-Draa Diss	Setif (191 hm ³ /an)
Ighil Emda et Mahouane	Setif (122 hm ³ /an)
Transfert Sud-Sud	
Nappe Albienne In Salah	Tamanrasset (36 hm ³ /an)
Transfert Sud-Haut Plateaux	
Nappe Albienne	Djelfa, Tiaret, M'sila, Biskra, Batna, Saïda, Tiaret et Médéa

Source : MRE

¹⁹« Campagne d'Afrique en 1830 », un officier du corps expéditionnaire français, archives de la Bibliothèque National de Paris, France, 1830 Cité par Bouziani (2015).

3.3.4. Réutilisation des eaux usées épurées.

La réutilisation des eaux usées épurées afin de subvenir aux besoins croissants en eau du secteur agricole a longtemps été entravée en raison de la vétusté des stations d'épuration du pays. Cependant, dans la nouvelle politique de l'eau, elle est devenue un axe prioritaire et des investissements ont été consentis dans la réhabilitation des anciennes stations et dans la construction de nouvelles.

Étant donnée la situation de "stress hydrique", les pouvoirs publics ont vu dans cette opportunité un moyen de réduire ou du moins de préserver les ressources en eaux traditionnelles tout en accroissant la production agricole. Les arrêtés interministériels publiés le 15 juillet 2012 ont fixé la liste des cultures autorisées et les spécifications normatives de qualité des eaux usées épurées. L'utilisation des eaux traitées peut bénéficier également aux municipalités (espaces verts, lavage des rues, lutte contre les incendies, etc.), aux industries (refroidissement) et au renouvellement des nappes (protection contre l'intrusion des biseaux salés en bord de mer) et permet de lutter contre la pollution des ressources en eau (oueds, barrages, nappes phréatiques, etc.). En effet, les questions relatives au traitement et à la réutilisation des eaux usées sont en prise directe avec celles du développement durable et indiquent que les enjeux autour de la qualité et de la quantité des ressources en eau sont liés entre eux, puisque les rejets (nitrates, phosphates, etc.) dans l'environnement entraîneront plus tard des coûts non négligeables dans le traitement de l'eau potable (Mozas et Ghosn, 2013). Tout ceci constitue une incitation pour améliorer les capacités d'épuration des eaux usées et augmenter le taux de raccordement des particuliers au réseau d'assainissement.

3.3.5. Dessalement de l'eau de mer.

L'Algérie, qui dispose de 1 200 km de côtes, a mis en œuvre l'alternative du dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre. Le recours au dessalement a pu, dans le cadre de la rénovation des choix et des modes de gestion, être promu comme une alternative stratégique permettant de sécuriser l'alimentation en eau potable de certaines villes du littoral et jusqu'à 60 km aux alentours. Cette alternative permet également de réserver une partie plus importante des eaux de barrages à l'agriculture.

Le recours au dessalement n'est pas récent. Les premières expériences de dessalement dans le pays ont été réalisées après l'indépendance pour des besoins spécifiques liés à l'industrie pétrolière et à la sidérurgie ainsi que pour la déminéralisation d'eaux souterraines présentant un taux élevé de salinité. Il faut pourtant attendre 2001 pour que les décideurs prennent la décision

de retenir le dessalement d'eau de mer, pour l'alimentation en eau potable, comme une priorité de leur stratégie économique. Un programme d'installation d'unités de dessalement de l'eau de mer a ainsi été arrêté puis rapidement mis en œuvre. Ceci a fait passer l'Algérie en 2^{ème} position derrière l'Espagne concernant le développement de cette technique. D'autre part, le coût unitaire de l'eau produite est passé de 10 \$/m³ à 0,6-0,8 \$/m³ d'eau entre les années 1980 et 2013 ce qui rend cette pratique plus intéressante (Mozas et Ghosn, 2013).

3.3.6. Introduction des techniques d'irrigation économes en eau.

Depuis l'an 2000, le ministère de l'Agriculture, dans le cadre du PNDAR (Programme National de Développement Agricole et Rural), a mené une politique d'économie d'eau dans le sous-secteur de l'irrigation en encourageant, par des actions d'aides et de subventions, les exploitants à l'utilisation des systèmes économe en eau (aspersion et goutte à goutte). Cette politique permet aux agriculteurs de bénéficier de subventions pour l'équipement d'irrigation. Le gouvernement a soutenu les agriculteurs pour l'acquisition du système d'irrigation goutte à goutte, avec une subvention à l'investissement de 100% initialement (en 2000), et qui a diminué à 30% à partir de 2005. Les financements accordés par l'administration sur l'achat du matériel ont poussé les agriculteurs à adhérer rapidement à l'utilisation de ces techniques. Cependant, les résultats sur le plan des superficies équipées ne sont pas encourageants. D'après quelques rapports, sur le plan de l'utilisation et de la maintenance des équipements, le Ministère de l'Agriculture juge que « le développement de ces systèmes d'irrigation reste insuffisant par rapport aux préoccupations nationales en matière d'économie de l'eau ». L'irrigation est donc encore dominée par des techniques d'irrigation archaïques non efficaces, principalement le système d'irrigation par gravité (FAO, 2015a). Actuellement, le soutien à l'irrigation agricole se poursuit et figure parmi « les mesures adoptées pour rentabiliser les efforts déployés et développer le domaine de l'irrigation à l'échelle nationale ». Les objectifs sont de développer les systèmes économiseurs d'eau par l'extension et la reconversion des systèmes gravitaires existant en systèmes économiseurs d'eau (notamment le système goutte à goutte et l'aspersion), d'étendre la SAU en irrigué, valoriser le potentiel des eaux non conventionnelles, et de préserver le milieu producteur et l'environnement.

3.3.7. Intégration des usagers de l'eau.

L'orientation progressive vers une gestion intégrée des ressources en eau au cours des années 2000 a renforcé le rôle des Agences de Bassins Hydrographiques (ABH). Elles sont chargées, entre autres, de mettre en place des « actions d'information et de sensibilisation des usagers

domestiques, industriels et agricoles en vue de promouvoir l'utilisation rationnelle et la protection des ressources en eau ». À ce titre, des exposés, séminaires et colloques sur l'eau sont organisés et des brochures sont publiées en vue de toucher en priorité les jeunes générations. Le rôle des ABH mériterait d'être renforcé dans ce domaine afin de leur donner des attributions claires et fortes sur ce sujet.

Le système de gestion intégrée, qui s'articule et s'appuie sur les agences régionales et nationales, a pour rôle de penser ensemble les différents aspects du secteur de l'eau (qualité et quantité, prélèvement et rejet, approvisionnement, et protection). Il est à noter qu'en 2014, l'Agence nationale de Gestion Intégrée des Ressources en eau (AGIR) est officiellement installée pour développer cette approche dans la gestion de l'eau en assurant des missions d'orientation, d'animation, de coordination et d'évaluation des ABH (MRE, 2017b). Cette organisation répond à des normes internationales afin de promouvoir la gestion des ressources en eau, la collecte de l'information, et l'information des usagers.

3.3.8. Politique tarifaire et recouvrement des coûts.

Avec le nouveau code de l'eau de 1996, la tarification a été reconnue comme un instrument important pour conserver l'eau, à améliorer l'efficacité de son utilisation, et à prévoir la durabilité des réseaux d'irrigation. Le principe du recouvrement des coûts a été mis en place, et le prix de l'eau d'irrigation a augmenté en 1998 et 2005 (Laoubi et Yamao, 2009). Cependant, en Algérie, comme dans les autres pays du Maghreb, les tarifs à la consommation qui sont globalement inférieurs au prix de revient de l'eau ont rarement pour effet de faire réduire la consommation des usagers (Salem, 2007). Selon Ayub et Kuffner (1994), cette modicité des tarifs de l'eau d'irrigation est un moyen d'améliorer le revenu des agriculteurs et de les retenir dans les zones rurales.

3.3.8.1. Système de tarification actuel.

Les tarifs dus par l'utilisateur au titre de la fourniture ou du prélèvement d'eau sont calculés suivant une formule binôme sur la base du débit maximum souscrit (partie fixe) et du volume effectivement consommé (partie variable). Actuellement, la partie fixe varie, selon la zone tarifaire, entre 250 et 400 Da par l/s/ha ; la partie variable est calculée sur la base de 2 Da ou 2,50 Da par m³ consommé, selon les régions (Tableau 3-2).

Tableau 3-2. Tarification de l'eau à usage agricole.

OPI	Périmètres d'irrigation	Tarifs volumétriques (Da/m ³)	Tarif fixe (Da/l/s/ha)
Habra et Sig	Habra et Sig	2,5	250
Chélif	Haut Chélif	2,5	400
Mitidja	Mitidja Ouest et Hamiz	2,5	400
Tarf	Guelma-Boucheouf et Bounamoussa	2,5	400
	Saf Saf	2,0	400
Autres		2,0	250

Source : Décret n°05-14 du 09 janvier 2005

3.3.8.2. Recouvrement des coûts.

D'après les décrets précédemment cités, le tarif de l'eau à usage agricole devrait couvrir les frais et les charges d'entretien et d'exploitation des ouvrages et infrastructures d'irrigation et d'assainissement-drainage, ainsi qu'à la contribution au financement des investissements pour leur renouvellement et leur extension. Cependant, et depuis 2005, les tarifs de l'eau agricole ont stagné, et les niveaux des tarifs fixés par décret et appliqués sont loin de répondre à ces exigences d'équilibre des charges dans les périmètres d'irrigation. En effet, ces tarifs ont été nettement insuffisants pour bien gérer les périmètres concédés (Benblidia, 2011). En 2009, Valensuela (2009) a estimé que seulement 20 % des charges d'exploitation sont couvertes.

En outre, l'étude de la tarification de l'eau à usage agricole réalisée en 2005 par le groupement BRL-BNEDER pour le Ministère des Ressources en eau l'avait déjà mis en relief et proposé des réévaluations de tarifs qui n'ont pas encore été décidées. Une autre étude de la Banque Mondiale (2007) montre que le tarif appliqué ne permet pas de réduire significativement l'écart entre les recettes et les niveaux appropriés des coûts d'exploitation et d'entretien. Une grande partie des redevances sert à payer les salaires qui ont été considérablement revalorisés, laissant ainsi une part négligeable pour les dépenses d'entretien (Benmihoub et Bédrani, 2012).

3.3.8.3. Tendances futures.

Bien que les services de l'eau fournis aux agriculteurs, aux ménages, et aux entreprises industrielles puissent être considérés comme des biens marchands, il n'a pas été envisagé pendant longtemps de les facturer à leur coût réel. Ceci a une conséquence directe sur la viabilité financière de l'ensemble du système de gestion de l'eau. Le budget de l'État s'en trouve, ainsi, fortement alourdi. De plus, la dégradation de la qualité des services a tendance à rendre les

usagers encore moins enclins à payer l'eau à son juste prix (Benblidia et Thivet, 2010). Le système de tarification mis en place devait néanmoins contribuer à améliorer la situation et à sortir de ce « cercle vicieux ». Ce système, qui constitue l'un des apports majeurs de la loi sur l'eau de 2005, repose sur les principes d'équilibre financier, de solidarité sociale, d'incitation à l'économie d'eau et de protection de la qualité des ressources en eau.

3.4. Administration de l'eau.

3.4.1. Administration nationale centrale.

La gestion de l'eau est passée par différentes phases et transitée par plusieurs ministères. Entre 1970 et 1989, toutes les missions relatives à l'hydraulique étaient regroupées au niveau d'un seul département ministériel : le secrétariat d'État à l'hydraulique. De 1989 à 1999, le secteur de l'irrigation est une fois de plus repris par le ministère de l'Agriculture. Actuellement, et après être passé par une dizaine de ministères, le secteur de l'hydraulique en Algérie possède enfin son propre ministère : Le Ministère des Ressources en Eau (MRE) qui est l'autorité centrale responsable de l'élaboration et de la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau.

3.4.2. Etablissements publics sous tutelle.

L'administration de l'eau se trouve aujourd'hui articulée et organisée autour de sept administrations avec des missions différentes :

- **L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).**

L'ANRH est un établissement public à caractère administratif et a vocation scientifique et technique doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Créée par le décret N°81-167 du 25 juillet 1981, elle est placée sous la tutelle du ministère chargé de l'hydraulique. L'agence a pour principale mission de mettre en application les programmes d'inventaire des ressources en eau et en sols irrigables du pays. Elle a aussi pour rôle de déterminer et de cartographier, en collaboration avec l'Institut National de Cartographie, les caractéristiques hydrodynamiques des sols irrigables, d'étudier les besoins en eau des cultures ainsi que les périmètres d'irrigation et de drainage destinés à l'élaboration des projets d'aménagements, d'irrigation et de drainage, et d'étudier l'évolution de la salure des sols et des nappes superficielles dans les périmètres irrigués et de fournir les éléments relatifs à leur protection et à leur sauvegarde.

- **L'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT).**

L'agence est un établissement public à caractère administratif et à vocation technique, doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Elle a été créée par le décret N°85-163 de juin 1985. L'agence est placée sous la tutelle du ministère chargé de l'hydraulique. L'agence a pour domaine de compétences la mobilisation des ressources en eaux superficielles par barrages et transferts ainsi que l'exploitation et l'entretien de ces ouvrages aux fins d'utilisation pour l'alimentation en eau potable et industrielle et pour l'irrigation.

- **L'Algérienne Des Eaux (ADE).**

L'Algérienne Des Eaux est un établissement public national à caractère industriel et commercial doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Il a été créé par le décret exécutif n° 01-101 du 21 avril 2001. L'établissement est placé sous la tutelle du ministre chargé des ressources en eau.

Dans le cadre de la politique nationale de développement, l'établissement est chargé d'assurer sur tout le territoire national, la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau potable à travers la prise en charge des activités de gestion des opérations de production, de transport, de traitement, de stockage, d'adduction, de distribution et d'approvisionnement en eau potable et industrielle ainsi que le renouvellement et le développement des infrastructures s'y rapportant.

- **L'Office Nationale de l'Assainissement (ONA).**

L'ONA est un établissement public national à caractère industriel et commercial doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Il a été créé par le décret exécutif n° 01-102 du 21 avril 2001. L'Office est placé sous la tutelle du ministre chargé des ressources en eau. L'Office est chargé, dans le cadre de la politique nationale de développement, d'assurer sur tout le territoire national, la protection de l'environnement hydrique et la mise en œuvre de la politique nationale d'assainissement en concertation avec les collectivités locales. À ce titre, il est chargé, par délégation de la maîtrise d'œuvre et d'ouvrage ainsi que l'exploitation des infrastructures d'assainissement qui relèvent de son domaine de compétence, notamment :

- la lutte contre toutes les sources de pollution hydrique dans les zones de son domaine d'intervention ainsi que la gestion, l'exploitation, la maintenance, le renouvellement, l'extension et la construction de tout ouvrage destiné à l'assainissement des agglomérations et notamment, les réseaux de collecte des eaux usées, les stations de

relevage, les stations d'épuration, les émissaires en mer, dans les périmètres urbains et communaux ainsi que dans les zones de développement touristique et industriel;

- d'élaborer et de réaliser les projets intégrés portant sur le traitement des eaux usées et l'évacuation des eaux pluviales;
- de réaliser les projets d'études et de travaux pour le compte de l'État et des collectivités locales;
- **L'Office National de l'Irrigation et de Drainage (ONID).**

L'agence nationale pour la réalisation et la gestion des infrastructures hydrauliques pour l'irrigation et le drainage, est un établissement public à caractère administratif créé par le décret n° 87-181 du 18 août 1987, modifié et complété, susvisé, est réaménagé dans sa nature juridique en un établissement public à caractère industriel et commercial dénommé "Office National de l'Irrigation et du Drainage", par abréviation. L'ONID est placé sous la tutelle du ministre chargé de l'hydraulique agricole. L'établissement est doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Il est régi par les règles administratives dans ses relations avec l'Etat et, est réputé commerçant dans ses relations avec les tiers.

L'établissement est chargé de la gestion, de l'exploitation et de la maintenance des équipements et infrastructures hydrauliques dans les périmètres d'irrigation y compris les ouvrages de transfert d'eau destinés à l'irrigation que l'État et/ou les collectivités territoriales lui concèdent. À ce titre, dans les périmètres d'irrigation relevant de sa compétence, il est chargé notamment :

- de la commercialisation de l'eau agricole ;
- de la conduite des irrigations ;
- de la gestion, l'exploitation et l'entretien des réseaux d'irrigation et réseaux connexes ;
- d'apporter assistance et conseils aux usagers de l'eau agricole. Il peut, en outre, être chargé par l'État et/ou les collectivités territoriales de la mobilisation des ressources en eau agricole au niveau des forages, puits, prises d'oueds, retenues collinaires et ouvrages de captage divers destinés à l'irrigation des terres agricoles.

L'État et/ou les collectivités territoriales, maîtres d'ouvrages, peuvent confier à l'établissement la qualité de maître d'ouvrage délégué, afin de mener en son nom et pour son compte les opérations concourant à la réalisation des infrastructures et équipements destinés à l'irrigation et l'assainissement/drainage des terres agricoles et aux ouvrages de transfert cités à l'article ci-dessus. Pour chaque projet, les droits et obligations induits par cette mission font l'objet d'une

convention de mandat de maîtrise d'ouvrage déléguée. À ce titre, l'établissement est chargé notamment :

- d'élaborer ou de faire élaborer les études de conception, de faisabilité, d'avant-projet et d'exécution de tous travaux rattachés à cet objet ;
- de constituer les dossiers de consultation des entreprises d'études et de réalisation;
- de signer et de gérer les contrats y afférents ;
- d'assurer la conduite des projets d'études et de réalisation ;
- de procéder à la réception des ouvrages dans les conditions normales de gestion et d'exploitation.

L'établissement peut en outre :

- réaliser ou faire réaliser toutes les études techniques, technologiques, économiques en rapport avec son objet ;
- acquérir, exploiter, déposer toute licence, modèle ou procédé de fabrication se rattachant à son objet ;
- procéder à la construction, l'installation ou l'aménagement de tous les moyens nécessaires à son activité et réaliser pour son propre compte ou pour le compte de tiers, tous les travaux, conformément à son objet ;
- développer toute forme d'assistance et de conseil à la clientèle ;
- faire réaliser certains de ses programmes par voie de sous-traitance, de concession, de management ou toute autre forme de partenariat ;
- effectuer toute opération commerciale, immobilière, industrielle et financière, liée à son objet et de nature à favoriser son développement ;
- contracter tout emprunt ;
- prendre des participations dans toute société et créer des filiales.

L'établissement est également chargé, sous réserve des dispositions de l'article 11 ci-dessous, de prendre en charge toutes les mesures de sécurisation des infrastructures et équipements destinées à l'irrigation et l'assainissement/drainage des terres agricoles.

- **L'Institut National de Perfectionnement de l'Équipement (INPE).**

L'INPE est un établissement public à caractère administratif. Doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière par décret N°2-116 du 03 avril 2002, les statuts de l'institut ont été modifiés pour trois objectifs:

- Dévolution de la tutelle au ministère des Ressources en Eau ;

- Elargissement des missions de l'institut et affinement de ses prérogatives ;
- Faisant du centre de « KSAR EL BOUKHARI » le siège de l'INPE.

L'institut a pour mission d'assurer la formation le perfectionnement et le recyclage des personnels exerçant dans les différentes administrations, structures et établissements publics dépendant du secteur des ressources en eau. Il peut -à titre accessoire et à leur demande- assurer dans le cadre de relations contractuelles, les mêmes missions pour le compte d'autres administrations et structures publiques. Les stages de perfectionnement, de recyclage et de formation continue qu'organise annuellement l'institut national de perfectionnement de l'équipement, visent l'amélioration des qualifications techniques et professionnelles, et l'adaptation aux nouvelles exigences de l'évolution technologique. Ces stages fournissent aux participants les informations de base essentielles aussi bien dans les domaines de l'hydraulique de l'habitat et de travaux publics que dans celui du management public et la conduite de projet. L'INPE propose des programmes de formation riches, répondant aux attentes du secteur des ressources en eau, des entreprises et des collectivités locales. Les formations sont encadrées par des formateurs (cadres administratifs, ingénieurs, experts...) spécialisés dans les différents domaines et dont le savoir-faire et les capacités pédagogiques ont été validés.

- **L'Agence nationale de Gestion Intégrée de l'Eau (AGIRE).**

Créé sous la dénomination d'Agence nationale de Gestion Intégrée des Ressources en Eau, l'AGIRE est un établissement public à caractère industriel et commercial régi par les lois et règlements en vigueur et par les dispositions du présent décret. L'agence nationale est dotée de la personnalité morale et jouit de l'autonomie financière. L'agence nationale est régie par les règles applicables à l'administration dans ses relations avec l'État et est réputée commerçante dans ses rapports avec les tiers. L'agence nationale est placée sous la tutelle du ministre chargé des ressources en eau. Conformément aux dispositions de l'article 64 de loi n° 05-12 du 4 août 2005, susvisée, les démembrements territoriaux de l'agence nationale dénommés ci-après « les agences de bassins hydrographiques » exercent la gestion intégrée des ressources en eau au niveau des unités hydrographiques naturelles. Dans le cadre de la politique nationale de développement, l'agence nationale est chargée de réaliser, au niveau national, toutes actions concourant à une gestion intégrée des ressources en eau. Elle a par exemple pour missions de réaliser toutes enquêtes, études et recherches liées au développement de la gestion intégrée des ressources en eau, de développer et coordonner le système de gestion intégrée de l'information sur l'eau à l'échelle nationale, de contribuer à l'élaboration, à l'évaluation et à l'actualisation

des plans à moyen et long terme de développement sectoriel à l'échelle nationale, et de contribuer à la gestion des actions d'incitation à l'économie de l'eau et à la préservation de la qualité des ressources en eau.

3.4.3. Associations d'usagers de l'eau (AUE).

Dès août 2006, il est lancé au niveau de chaque grand périmètre d'irrigation la création d'un comité de suivi des irrigations dans le cadre de la gestion participative des AUE. Ce comité, présidé par l'Administration locale (hydraulique et agriculture), intègre l'organisme gestionnaire (ONID) et l'ensemble des associations (AUE, CAW, UNPA...). En ce qui concerne la Petite et Moyenne Hydraulique (PMH) et dans le cadre du Transfert de la Gestion de l'Irrigation (TGI), la décision politique est traduite par la condition de création d'une AUE pour toute réalisation (par l'Etat) d'infrastructure destinée à la petite hydraulique.

Aujourd'hui, on constate un intérêt grandissant de la part des AUE dans la gestion de la ressource en eau. En effet, la loi portant sur le foncier agricole et les fonds de soutien mobilisés pour la modernisation de l'irrigation (notamment, dans les systèmes d'économie d'eau), accorde un soutien plus important aux collectifs.

3.5. Conclusion.

Le secteur de l'eau a traversé un processus de réforme en profondeur. Ce dernier a eu pour objectif de restructurer les institutions qui régissent ce secteur. Ces réformes comprennent la mise en place d'outils économiques pour gérer l'eau ainsi que la volonté de décentraliser la gestion de la ressource. Ce chapitre a mis en avant quelques défaillances traduisant une maîtrise insuffisante dans la gestion des ressources hydriques du pays. En effet, à partir de la littérature et vu les performances du secteur irrigué, nous pouvons conclure que les institutions de l'irrigation en Algérie montrent plusieurs lacunes.

L'échec des institutions de l'eau d'irrigation actuellement mise en œuvre nous pousse donc à étudier la performance de celles-ci pour lutter contre les problèmes du secteur de l'eau. À cet égard, le reste de la thèse vise à examiner et évaluer les performances des instruments institutionnels de gestion de l'eau d'irrigation actuelles, ainsi que l'estimation des implications de futurs instruments sur le secteur irrigué. En d'autres termes, nous analyserons le gain potentiel qui pourrait être acquis si ces diverses institutions étaient plus performantes.

Partie 2. Analyse empirique :

Etude de cas

Chapitre 4 . Zone d'étude, collecte de données et typologie des exploitations agricoles.

4.1. Introduction.

L'objectif de ce chapitre est de fournir une brève description géographique, hydrologique et agronomique des différents systèmes de production de la région d'étude. Il présente aussi une analyse des caractéristiques technico-économiques des exploitations agricoles du périmètre irrigué Jijel-Taher. Une base de données sera construite à l'aide des données secondaires obtenues auprès des administrations centrales et régionales concernées par la gestion de l'eau d'irrigation. Ces données serviront à effectuer notre échantillonnage nécessaire à la réalisation des enquêtes individuelles auprès des irrigants. Les enquêtes nous permettront alors de recueillir toutes les données nécessaires pour comprendre la manière dont les agriculteurs répondent et réagissent face aux différents outils institutionnels qui régissent l'allocation et l'usage de la ressource en eau. Vu la diversité des exploitations agricoles (même celles d'une même zone), ce chapitre présente aussi les résultats d'une typologie des exploitations agricoles du périmètre irrigué considéré. Cette dernière sera basée sur la méthode d'Analyse en Composantes Principales (ACP) combinée à une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).

4.2. Présentation de la plaine Jijel-Taher.

4.2.1. Localisation.

L'aménagement hydro-agricole de la plaine côtière Jijel-Taher de 4885 ha a été mis en exploitation en 2010. Il est situé à environ 5 km à l'est du chef-lieu de la wilaya de Jijel et s'étend sur les communes de Taher, Emir-Abdelkader, Chekfa, Kaous et El-Kennar, relevant administrativement de la daïra de Taher. Il est limité au nord par la mer méditerranée au sud par les montagnes, à l'est par oued Chekfa, et à l'ouest par oued Kentara (Figure 4-1).

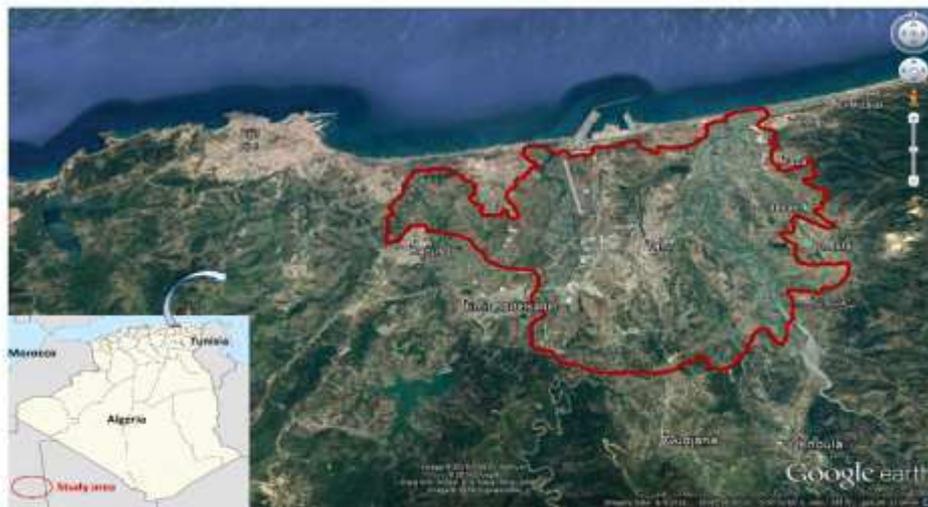


Figure 4-1. Zone d'étude, périmètre irrigué Jijel-Taher situé dans le nord-est de l'Algérie (Source : Google Earth).

La zone d'étude est formée d'un ensemble de collines à faible altitude et de plaines alluviales plus au moins larges le long de la côte, elle est bordée par une plaine littorale et d'un cordon de dunes et de plages. Les altitudes y sont peu élevées (de 0 à 200 m). Ce relief bien que présentant des avantages certains pour le développement et l'intensification agricole, comporte toutefois des problèmes de drainage et d'assainissement dus essentiellement à l'importance de la pluviométrie (une des plus fortes en Algérie) et au changement de pente entre l'arrière-pays à relief prononcé (contreforts de la petite Kabylie) et les plaines.

4.2.2. Climat.

On peut constater que la zone d'étude a un climat méditerranéen typique à hiver tempéré et à été chaud. La moyenne du mois le plus froid (janvier) est de 11,6°C alors que celle du mois le plus chaud (août) est de 26°C. En été, les maximas atteignent rarement 40°C et restent par conséquent relativement modérés. En hiver, il n'est enregistré aucune température inférieure à 0°C, d'où l'absence de risque de gel sur la zone côtière, de plus la moyenne des minimas mensuels est supérieure à 4°C (DSA, 2016). Il est à noter que ces caractéristiques sont valables pour la zone côtière et qu'au fur et à mesure que diminue l'influence marine, il y a risque de gelées nocturnes de décembre à février. Du point de vue de l'agriculture, les températures qui caractérisent la zone d'étude ne constituent pas un facteur limitant pour le développement de la production végétale.

Les précipitations moyennes mensuelles enregistrent une augmentation dès septembre jusqu'à Novembre-Décembre et parfois même jusqu'à janvier, puis une diminution plus lente jusqu'à juin. Durant les mois de juillet et août la pluie est pratiquement absente. La pluviométrie est

abondante avec 1200 mm/an en moyenne. Cependant, la mauvaise répartition des pluies par mois et par saison ne permet pas de couvrir les besoins en eau de certaines cultures, comme le maraichage.

4.2.3. Ressources en eau.

Les bassins versants de la région d'étude font partie du bassin versant côtier Constantinois (Figure 2-2). Du point de vue hydrographique, la région d'étude comprend deux zones homogènes d'une superficie de 39,2 km², le bassin versant Kébir-Rhumel qui occupe la partie Est et comprend 4 sous bassins versants, et le bassin versant Côtier Constantinois occupant la partie ouest et comprenant 6 sous bassins versants. Ces bassins drainent l'eau des précipitations du Sud vers les plaines côtières, dont celle de Jijel-Taher. Ces eaux de ruissellement ont tendance à provoquer des inondations et à influencer sur les conditions de la production agricole au niveau des terrasses et alluvions de vallées. Celles-ci constituent des terres basses dont les pentes n'excèdent pas 8% et qui sont considérées comme des terres irrigables. Ces terres correspondent aux sols formés sur des terrasses, sables alluviaux anciens et alluvions (ANRH Jijel).

La wilaya de Jijel comprend les barrages suivants : Al-Agrem (d'une capacité de 34 millions m³), Kissir (68 Mm³), Boussiaba (120 Mm³), Tabellot (294 Mm³), et Erraguene (250 Mm³). Les ouvrages, comme Erraguene et Tabellout, servent au transfert de 191 hm³/an pour subvenir à l'alimentation en eau potable (AEP) d'El Eulma et des agglomérations avoisinantes et l'irrigation de 30000 hectares.

Le périmètre irrigué Jijel-Taher est alimenté exclusivement par le barrage El-Agrem. Il est situé à une quinzaine de kilomètres au sud-est du chef-lieu de la Wilaya de Jijel. Le Tableau 4-1 illustre les quantités d'eau distribuée à partir de ce dernier ainsi que l'efficacité du réseau (qui représente le rapport entre la quantité des lâchées d'eau et des quantités facturées par l'ONID).

Tableau 4-1. Evolution des lâchers d'eau à partir du barrage et efficacité des réseaux 2010-2016.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Volume distribué (Hm³)	0,12	0,86	1,03	1,19	1,63	1,72	1,83
Efficacité (%)	-	-	34	30	33	75	90

Source : ONID (2016)

Les réserves en eau souterraine existantes sont constituées essentiellement par les réserves des nappes alluviales des oueds : Mencha, Djen Djen, et Nil. La nappe d'Oued Nil dégage un volume utilisable de 2,94 millions m³/an.

4.2.4. Développement agricole et évolution des moyens de production.

L'irrigation est une ancienne pratique au niveau de la zone d'étude. Avant la création du périmètre irrigué, l'eau d'irrigation provenait des oueds et des puits captant les nappes phréatiques et qui sont généralement peu profonds. L'irrégularité des débits et particulièrement celle des oueds, qui passent des crues inondant toutes les terres environnantes durant les périodes pluvieuses à l'assèchement total certaines années en été, causait des préjudices certains à la production agricole. L'état s'est donc engagé à redresser la situation du secteur irrigué dans la région. Les premiers aménagements sur la plaine Jijel-Taher ont été lancés en 2008. Ce projet intitulé «aménagement des plaines côtières Jijel-Taher», comprend plusieurs opérations notamment l'aménagement de oued Nil et oued Boukraâ, et l'aménagement des conduites d'exploitation. Ce projet hydraulique s'inscrit dans le cadre d'un grand programme de développement du secteur agricole dans la perspective d'accroître les superficies à haut potentiel agricole.

La mise en service du périmètre irrigué et l'alimentation en eau à partir du barrage El-Agrem s'est faite en 2010. Ceci a permis une grande diversification des cultures et une augmentation de la superficie irriguée : en particulier des cultures maraîchères (piments, tomates, pastèques, fraise...) (Figure 4-2). Ce développement a conduit la wilaya de Jijel au premier rang national pour la production de la fraise. Pour de nombreux agriculteurs, la production de cette dernière (conduite sous serre ou sous tunnel) est un créneau porteur. Selon les chiffres de la DSA, la superficie de la fraise ne représente que 5% par rapport à celle des cultures maraîchères, alors que sa valeur représente 9% par rapport aux produits maraichers.

Les cultures les plus développées dans la région sont le piment, la tomate, et la pastèque. Pendant l'été, ce sont les cultures de la pastèque et de la tomate de plein champ qui sont les plus rencontrées, alors qu'en hiver, ce sont les cultures de primeur (sous serres) comme le piment, la tomate, la courgette, le concombre et l'aubergine, et principalement le chou-fleur comme culture de plein champ. D'autres cultures comme le maïs, les oignons et les navets sont très secondaires et souvent destinées à l'autoconsommation.

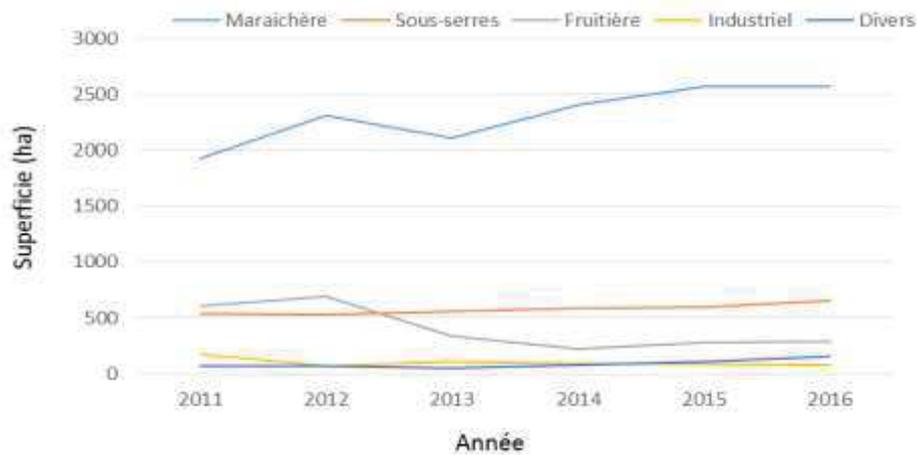


Figure 4-2. Evolution de la superficie irriguée par année et par type de cultures (Source : DSA, 2016).

Concernant l'arboriculture, elle est limitée à l'olivier, en sec. En irrigué, c'est toujours l'olivier qui domine. Cependant, nous trouvons aussi de l'abricotier, du pommier, du poirier, des pêchers, et des agrumes. Pour ces cultures, l'irrigation est systématiquement pratiquée. Enfin, pour ce qui est de l'élevage, il se pratique d'une façon extensive servant d'abord à satisfaire les besoins en lait du ménage. Cependant, selon la DSA, une vingtaine d'exploitations agricoles pratiquent un élevage bovin relativement moderne avec un effectif de 8 à 10 vaches laitières.

En termes d'amélioration des rendements et d'intensification des cultures, les responsables locaux et les agriculteurs affirment que depuis l'introduction de l'irrigation, il y a eu une nette augmentation des rendements. L'évolution du rendement des principales cultures pratiquées dans la zone, illustré dans la Figure 4-3, montre une grande amélioration pour les cultures maraichères notamment celle de la tomate et du piment. Les céréales en sec ont des rendements relativement faibles et restent tributaires de la pluviométrie enregistrée. Les cultures maraichères sous serres et d'été, à forte valeur ajoutée (pastèque, tomate, piment...), ont bénéficié de l'introduction des nouvelles techniques d'irrigation principalement le système goutte à goutte.

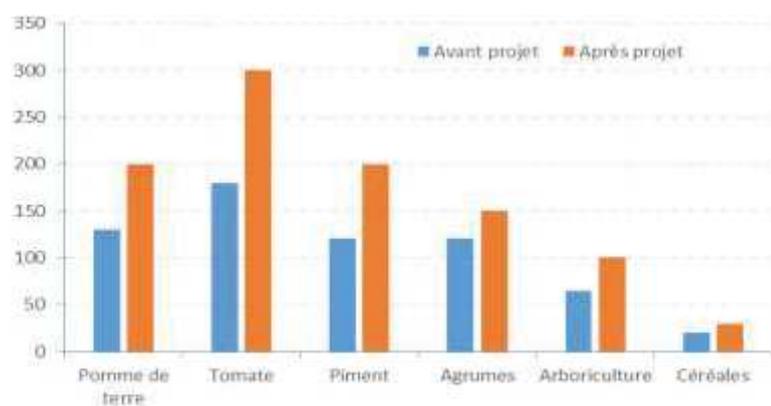


Figure 4-3. Rendement moyen des cultures avant et après l'aménagement (DSA, 2016).

4.3. Méthodologie.

4.3.1. Echantillonnage.

L'objectif de l'échantillonnage est d'obtenir des informations sur une population donnée à l'aide d'un nombre d'individus réduit, ceci afin de faire des inférences sur le milieu étudié. La taille de l'échantillon dépend des objectifs de précision ou de certitude à atteindre. Les méthodes d'échantillonnage existant sont au nombre de deux : l'échantillonnage ciblé et aléatoire. Les méthodes aléatoires consistent à prélever des individus au hasard, de telle sorte que chaque individu de la population a la même probabilité d'être sélectionné. En revanche, pour les méthodes ciblées, les éléments de l'échantillon sont choisis délibérément en fonction de critères préalablement définis comme la suspicion de la présence d'un phénomène donné dans un endroit particulier.

Pour notre cas, l'échantillon est constitué sur la base d'une combinaison entre les deux méthodes d'échantillonnage. En premier lieu, nous avons procédé à un tri sélectif sur la population mère, représentée par les 600 agriculteurs souscrits²⁰ à l'ONID durant l'année 2013. Ces derniers font du maraichage et/ou de l'arboriculture. Ce tri a consisté à éliminer les agriculteurs qui ne font que de l'arboriculture ou des cultures fourragères. Le choix de ne pas les prendre en compte dans notre étude est justifié par le fait que le nombre de ces derniers est réduit (26 agriculteurs souscrits). Nous nous sommes donc volontairement limités au maraichage en raison de la prédominance de ce type de cultures. Par la suite, nous avons sélectionné 93 irrigants à l'aide de la méthode d'échantillonnage aléatoire simple. Le tirage des individus de l'échantillon a été réalisé par une procédure informatique à l'aide du logiciel Excel.

4.3.2. Typologie des exploitations agricoles étudiées.

Vu l'hétérogénéité des exploitations agricoles, et la difficulté d'étudier le comportement de tous les irrigants individuellement, il est adéquat de regrouper les producteurs ayant des structures et pratiques similaires afin d'aboutir à des résultats plus concluants. Il est donc nécessaire de faire une typologie qui a pour principe de regrouper les individus homogènes dans des classes uniques. La typologie est donc un moyen de représenter la diversité des systèmes agricoles et des unités de production dans une région donnée (Poussin et al. 2008).

²⁰Le nombre de souscrits change d'une année à l'autre suivant le quota d'eau dont l'ONID dispose et donc de la quantité d'eau allouée à l'agriculture.

Dans notre étude, nous avons opté pour la méthode d'Analyse en Composantes Principales (ACP) (Perrot et al. 1993 ; Gibon, 1999 ; Ilari et al. 2003 ; Poussin et al. 2008) que nous allons utiliser sur des variables reflétant la structure des exploitations et les pratiques de l'irrigation. L'ACP permet de réduire le nombre des variables initiales en générant un ensemble de variables non corrélées. Ces dernières sont appelées "composantes principales", leur nombre est plus petit que celui des variables de départ, mais expliquent néanmoins la majorité de l'information contenue dans la base de données de départ. La typologie est ensuite créée à l'aide de la méthode de Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Son principe est basé sur le calcul de similarités entre les observations. Il identifie les individus avec des caractéristiques semblables et forme ensuite des classes en minimisant la variance à l'intérieur de chacune d'elles (Maton et al. 2005).

4.3.3. Données empiriques.

Le questionnaire d'enquête (annexe A) a été notre principale méthode d'observation et de recueil d'informations. Il a été conçu en fonction des hypothèses posées précédemment et vise à donner une réponse précise à notre problématique de départ. Nos données ont été recueillies sur la base d'enquêtes auprès de 93 irrigants qui ont soumissionné auprès de l'ONID. Les données collectées correspondent à la campagne agricole 2012-2013 et les enquêtes ont été menées entre le mois de janvier et juin 2014. La matrice de saisie des informations recueillies sur le terrain a été faite à l'aide des logiciels de traitement des données (SPSS et Excel).

Ces enquêtes sous forme d'entretiens personnels avec les agriculteurs nous ont permis de recueillir deux volets d'informations : le premier identifie l'exploitant (caractéristiques sociales : âge, formation...), le deuxième regroupe les informations sur l'exploitation (caractéristiques de l'exploitation : SAU, mode de faire valoir, cultures pratiquées, superficie de chaque culture (sous serres ou plein champ), l'irrigation (fréquence, système d'irrigation utilisé, présence de puits...), quantité des intrants utilisés (engrais, eau, main-d'œuvre...), et la commercialisation) (annexe A).

4.3.3.1. Données relatives aux quantités.

Les données relatives aux quantités concernent les produits et les intrants utilisés dans le processus de production. Pour la détermination de ces données, nous avons utilisé les fiches technico-économiques (annexe A).

Afin d'estimer la quantité d'eau allouée à chaque culture, nous avons eu besoin de deux types de données, i) le débit : nous avons effectué plusieurs mesures de débit sur 20 exploitations. Nous nous sommes basés sur une méthode simple qui consiste à chronométrer le temps de remplissage d'un seau d'eau depuis la source d'eau qui doit irriguer l'exploitation (cas du système gravitaire) ou par le remplissage de gobelet que nous avons mis sous les goutteurs (cas du système goutte à goutte), par la suite une simple règle de trois sera utilisée pour déterminer le volume horaire, et ii) le calendrier d'irrigation de chaque culture : nous avons reconstitué le calendrier d'arrosage des 93 irrigants durant la campagne agricole 2012-2013. Pour ce faire, nous avons défini, pour chaque culture, les mois durant lesquels l'agriculteur a irrigué, ainsi que la durée d'irrigation. En tenant compte des données dont nous disposons, la formule d'estimation des volumes d'eau consommés par culture et par hectare est la suivante (équation 1) :

$$V_c = D_c * T_{ir} * N_{ir} \quad (1)$$

Avec :

V_c : volume d'eau consommé (m^3/ha), D_c : débit d'eau ($m^3/min/ha$), T_{ir} : temps d'arrosage par irrigation (min), N_{ir} : nombre d'irrigation par campagne.

4.3.3.2. Données relatives aux prix.

En plus des enquêtes détaillées sur le fonctionnement économique de chaque exploitation, des compléments d'informations ont été obtenus par des enquêtes supplémentaires concernant les prix de vente sur les marchés de gros et leurs tendances d'évolutions, ainsi que les tarifs de locations des terres et des équipements. Les informations sur les prix de vente ont été recueillies auprès des vendeurs de fruits et légumes sur les marchés de gros de la région Djimar. Pour les prix de location, nous avons interrogé séparément les attributaires et les locataires.

- Prix du travail.

Le prix du travail salarié n'est autre que le salaire agricole correspondant à la campagne agricole en question. Si un individu travaille dans sa propre exploitation, son travail est un input et doit être compté comme un élément du coût. Son salaire est simplement le prix du marché pour son travail, c'est-à-dire, ce qu'il obtient s'il vendait son travail sur le marché extérieur (Varian, 1994).

- **Prix de la terre.**

La terre est considérée comme un facteur variable, donc le producteur peut l'ajuster dans le court terme par rapport à la possibilité de louer une partie de son exploitation. La terre est évaluée à son prix sur le marché pour déterminer les coûts économiques. On parle généralement de coût d'opportunité pour désigner ce type de coût économique (Varian, 1994). Selon le même principe que le travail familial, en exploitant sa terre, l'exploitant renonce à louer la terre à un autre et choisit de louer la terre à lui-même. Ce prix, en réalité, regroupe une valeur réelle de la terre et une valeur indirecte de l'eau ou des aménagements hydrauliques existants sur la parcelle louée. Le coût du foncier est donc évalué en référence au coût moyen habituel de location dans la zone d'étude. Il est en moyenne de 100 000 DZD/ha/an et /ou 10 000 DZD/serre/an.

- **Coût d'usage du capital.**

Les coûts sont déterminés en fonction de la nature des travaux réalisés par chaque agriculteur tout au long de la campagne. Pour les agriculteurs possédant le matériel agricole, le coût est calculé en prenant en compte le prix du carburant nécessaire pour effectuer l'opération, l'amortissement du matériel, et le coût de la maintenance. Pour les autres, nous avons calculé le coût d'usage du capital en fonction de son prix sur le marché, soit son prix de location.

- **Prix des consommations intermédiaires.**

Les consommations intermédiaires comprennent : les bâches (plastique transparent) des serres, le paillage, et la gaine servant à l'irrigation. En prenant en considération la nature et la quantité utilisée par les agriculteurs. La valeur est calculée en divisant le prix actuel d'achat de chaque matériel ou de l'équipement par sa durée de vie.

4.4. Résultats.

4.4.1. Caractérisation des exploitations enquêtées.

4.4.1.1. Age, expérience et niveau d'instruction des exploitants.

A l'échelle globale de l'échantillon, les producteurs sont relativement jeunes puisque 56% d'entre eux ont moins de 40 ans et seulement 4% ont plus de 60 ans (Figure 4-2). La moyenne d'âge est de 40 ans avec un maxima de 69 ans et un minima de 24 ans. Leur niveau de qualification est relativement bon, 16 % des agriculteurs ont reçu une formation en agriculture et au moins 65% des agriculteurs dépassent le niveau primaire (Tableau 4-3). La pratique de l'agriculture irriguée est très ancienne dans cette région (système introduit depuis la période

coloniale). Les agriculteurs de la région ont donc une grande expérience. Le nombre d'années maximum dans la production agricole est de 50 ans avec une moyenne de 18 ans. Ce niveau satisfaisant en éducation et leurs nombreuses années d'expérience sont un préjugé favorable pour tout appui d'amélioration des pratiques répondant à leurs besoins.

Tableau 4-2.Tranche d'âges des agriculteurs enquêtés.

Tranches d'âge	Total	%
<25	2	2
25 – 40	50	54
40 – 60	37	40
>60	4	4
Moyenne	40	

Tableau 4-3.Répartition des exploitants selon l'âge et leur niveau d'instruction.

Niveau	Aucun		Primaire		Moyen		Secondaire		Universitaire		Formation agricole	
	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%
<25	-	-	-	-	2	100	-	-	-	-	1	50
25 – 40	5	10	11	22	23	46	7	14	3	6	6	12
40 – 60	6	16,2	6	16,2	12	32,4	12	32,4	1	2,7	8	21,6
> 60	4	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	15	16,1	18	19,3	37	39,8	19	20,4	4	4,3	15	16,1

4.4.1.2. Main d'œuvre.

Les cultures irriguées et notamment les cultures maraichères sont très exigeantes en main d'œuvre dans les opérations culturales (de la préparation de la terre à la récolte). L'utilisation de la main-d'œuvre salariée est généralisée dans les exploitations agricoles (65% des exploitations utilisent de la main-d'œuvre salariée). La main-d'œuvre salariée utilisée de manière permanente (à l'année) est rare, et représente en moyenne 55% des journées de travail salarié utilisées.

La présence d'aides familiaux (fils, frère, cousin...) dans les exploitations agricoles n'est pas systématique, et dans la majorité des cas, les aides familiales ne sont pas permanentes, mais jouent le rôle de main d'œuvre d'appoint lors d'opérations culturales importantes. Pour d'autres, la main-d'œuvre familiale s'occupe des tâches à l'extérieur de l'exploitation comme l'achat des intrants et la commercialisation par exemple.

De manière générale, les exploitants agricoles rencontrent des difficultés pour trouver de la main-d'œuvre qualifiée (quantité et coût). Cependant, pour recruter la main-d'œuvre nécessaire aux opérations ne demandant pas de qualifications particulières, les exploitants font souvent appel à des collégiens ou lycéens durant les vacances ou pendant les week-ends.

En matière de genre, les chefs d'exploitation de l'échantillon sont tous de sexe masculin. Quant à la participation de la femme dans les activités agricole, elle est surtout notée en aval, au niveau de la phase récolte.

4.4.1.3. Foncier.

La région est caractérisée par des exploitations de petite taille, la superficie moyenne est de 2,55 ha et 60% des exploitations ont une taille égale ou inférieure à 2 ha. D'après notre analyse 66% des exploitations ont une superficie inférieure à cette moyenne et occupent 36% de la superficie totale. A l'opposé les exploitations agricoles dont la superficie est au moins égale à 5 ha représentent 14% du nombre total d'exploitations, mais 38 % de la superficie totale. Le Tableau 4-4 illustre la répartition des exploitations selon leur taille.

Tableau 4-4. Répartition des exploitations de l'échantillon selon la SAU et le mode de faire valoir.

Mode de faire valoir	Direct	Fermage	Métayage	Effectif total	% des exploitations	Superficie (ha)	% de la superficie
< 1,5 ha	16	14	1	31	33	27,5	11,6
1,5= S <3 ha	15	10	6	31	33	60	25,3
3= S <6 ha	9	11	3	23	25	83,5	35,1
S =<6 ha	3	4	1	8	9	66,5	28
Total groupe	43 (46%)	39 (42%)	11 (12%)	93	100	237,5	100

Nous avons identifié dans la zone d'étude trois types de propriétés. i) l'attribution collective, issue de la restructuration des anciens domaines autogérés, ces EAC sont gérées selon les mêmes logiques de fonctionnement que la propriété individuelle. Ces exploitations représentent 40% de la superficie, ii) l'attribution individuelle, proviennent de la restructuration des CAPAM (coopératives des anciens moudjahids, 1982) et des anciens DAS (domaines agricoles socialistes, 1987). Les exploitations de ce type occupent 50% des terres, et iii) la propriété individuelle (Melk) occupe 10% de la superficie.

Enfin, les exploitations agricoles peuvent être exploitées de différentes manières. Le mode de faire valoir direct représente plus de 46% de l'effectif enquêté, le fermage représente 42%, et le métayage 12% du nombre d'exploitations.

4.4.1.4. Equipement et matériel agricole.

Le matériel agricole est essentiellement composé de petits outillages (pelle, pioche, binette...), motopompes, épandeurs à dos, épandeurs à moteur et tracteurs. Le matériel peu coûteux servant essentiellement au désherbage, débroussaillage, à l'épandage de pesticides (épandeur à dos) est présent dans toutes les exploitations. Le paiement, pour cet équipement, est en général comptant. Nous avons aussi constaté que 42% des exploitations possèdent au moins un tracteur et 40% possèdent un épandeur à moteur.

Selon, nos enquêtes, ces équipements, dont le prix est assez élevé (tracteurs, serres, motopompe) sont, soit achetés d'occasion, soit acquis par crédit formel. Ce dernier ne concerne que 12% des exploitants enquêtés. Ce faible taux est en raison de la difficulté à accéder aux crédits. Par ailleurs, 76% des exploitants font recours au crédit informel qui concerne les différents intrants (engrais, semence, matériel d'irrigation... etc.).

L'essentiel des tracteurs (80%) au niveau de la zone d'étude est d'acquisition ancienne grâce au programme d'aide à la mécanisation agricole de 1982. Ceux qui ne possèdent pas de tracteurs font appel à d'autres agriculteurs lors des labours. Cependant, malgré le grand nombre de tracteurs dans le périmètre irrigué, les difficultés que rencontrent les agriculteurs pour les louer au moment voulu et surtout pour effectuer correctement les labours les amènent à préférer la possession plutôt que la location.

4.4.1.5. Activités agricoles.

Grâce à la disponibilité en eau dans la zone d'étude, plusieurs assolements peuvent y être cultivés durant l'année. Les cultures maraichères sont donc échelonnées par saison culturale. En fonction du type de culture (sous serre ou en plein champ), le Tableau 4-5 présente les cultures pratiquées par les exploitants durant l'année par ordre d'importance.

Tableau 4-5. Répartition des différentes cultures dans la sole maraichère.

Cultures	Sous serres					Plein champ			
	Piment	Tomate	Courgette	Concombre	Fraise	Chou-fleur	Pastèque	Tomate	Haricot
% des exploitations	65	58	4	4	5	23	27	14	14
Superficie (ha)	40,5	20,5	2	3	4	61	40	14	11

La région est divisée, en termes de superficie, entre les cultures de plein champ (42,3 % de la superficie) et sous serres (57,7 % de la superficie). Les cultures sous serres sont plus fréquentes au niveau des exploitations de la région, elles y sont pratiquées dans plus de 85% des exploitations enquêtées. La préférence des agriculteurs à pratiquer les cultures sous serres est justifiée par le fait que cette technique, tout en permettant d'augmenter considérablement les rendements, permet aux exploitants de mettre sur le marché des légumes de primeur plus rémunérateurs. Cette technique continue de se développer avec comme seule contrainte le coût relativement élevé de l'investissement.

La culture du piment/poivron occupe la première place suivie par la tomate, ces cultures sont présentes dans 65% et 58% des exploitations, respectivement (Tableau 4-5). Les agriculteurs cultivent des tomates ou des piments/poivron dans la même serre plusieurs années de suite sans tenir en compte des implications que ça aurait sur l'appauvrissement du sol et sur l'apparition de maladies. En réalité, le prix de la tomate et du piment sur le marché justifient ce choix, quitte à augmenter les dépenses en produits phytosanitaires. Il faut cependant noter que certains producteurs associent la tomate et le piment à d'autres spéculations, comme la courgette et le concombre, pour diversifier la production. La culture de fraise, quant à elle, concerne en grande partie des exploitations spécialisées, car elle demande un bon savoir-faire ainsi qu'un grand investissement. Pour ce qui est des cultures de plein champ, elles sont présentes dans 48% des exploitations enquêtées avec le chou-fleur comme principale culture d'hiver (cultivée dans 23% des exploitations), et la pastèque (27 % des exploitations) ainsi que la tomate comme cultures d'été (14% des exploitations) (Tableau 4-5).

4.4.1.6. Pratique de l'irrigation.

Les analyses descriptives faites à l'aide du logiciel SPSS montrent une grande variabilité de la consommation d'eau au sein de l'échantillon. En effet, la consommation par ha se situe entre 2000 et 6500 m³ pour tout l'échantillon. La technique d'irrigation la plus utilisée est l'irrigation par système goutte à goutte. Elle concerne 69% de la superficie irriguée. L'irrigation par

système gravitaire est utilisée majoritairement pour les cultures sous serres et concerne 31% de la superficie irriguée. Chaque irrigant peut donc utiliser une combinaison des deux techniques d'irrigation en fonction des cultures qu'il pratique.

Les irrigants choisissent le moment d'irrigation en fonction d'indicateurs visuels sur la plante et sur l'état de l'humidité du sol. Pour ce qui est de l'arrêt de l'irrigation, les indicateurs diffèrent en fonction de la technique utilisée. L'irrigation par goutte à goutte, par exemple, est conduite avec un indicateur d'arrêt de l'irrigation basé sur l'apparition de l'eau au fond de la raie. Cependant, certains agriculteurs arrêtent l'irrigation lorsque la raie se remplit comme pour le cas de l'irrigation gravitaire.

4.4.1.7. Commercialisation de la production.

Faute de moyens financiers, les petites exploitations sont généralement dépourvues de moyens de transport, ce qui les oblige à vendre leurs récoltes au niveau de l'exploitation à des intermédiaires motorisés qui passent quotidiennement dans la zone d'étude. Une marge importante est tirée par ces intermédiaires qui vendent la production, dans la majorité des cas, au marché de gros de Jimar (Jijel). D'autres vendent leur production au marché de détail le plus proche. Les agriculteurs possédant leur propre moyen de transport ont plus de choix. En effet, ils peuvent soit vendre sur les marchés de gros (Jimar, Chelghoum Laïd ou Batna), soit vendre leurs productions sur place.

Toutefois, les agriculteurs rencontrent quelques problèmes liés à la commercialisation de leur production. Cette dernière est devenue plus dure à cause de la concurrence des produits provenant du sud du pays (Biskra en particulier). Non seulement les agriculteurs ne sont plus en mesure d'exporter, mais ils font face à l'arrivée précoce des produits des wilayas du sud-est du pays. Arrivés à la phase de récolte, les produits de la région s'écoulent à bas prix et ne rapportent pas un grand bénéfice. Selon les services agricoles, cette contrainte sera surmontée par le recours à la culture sous serres multichapelles qui permettent de bénéficier d'une production tout au long de l'année. On note aussi que l'inexistence des usines de transformation agroalimentaire ne fait qu'aggraver la situation. Enfin, le marché des produits maraîchers n'est soumis à aucun contrôle par l'Etat. Les prix de ces produits obéissent à la loi de l'offre et de la demande et subissent donc de grandes fluctuations d'une année à l'autre et même au cours d'une même année en fonction du volume de la récolte.

4.4.1.8. Différentes charges.

La moyenne de la part des charges liées aux frais des exploitations est représentée dans la Figure 4-4. On observe que la part relative des charges liées à la main-d'œuvre est la charge la plus importante dans le processus de production. Elle représente à elle seule 39% des charges totales. Elle est suivie par les consommables relatifs à l'irrigation (gaine) et aux serres (plastique et paillage) avec 23%, les charges d'engrais et des produits phytosanitaires constituent 22% des charges totales. Au final, la part des charges liées au travail du sol (labour mécanique) et à l'eau est la plus faible. Elle ne représente que 2% du total, chacune.

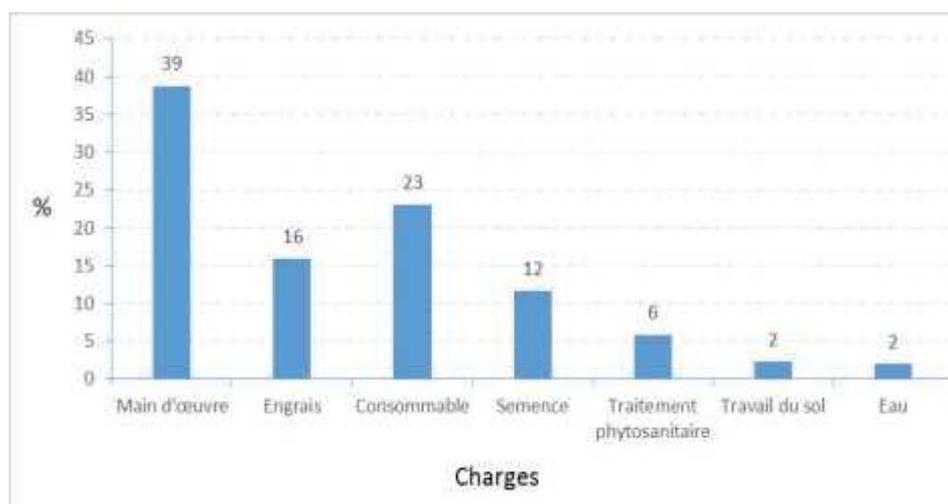


Figure 4-4. Part relative de chaque charge par rapport aux charges totales.

4.4.2. Analyse et typologie des exploitations agricoles.

4.4.2.1. Détermination des axes principaux.

Les axes principaux sont définis par la matrice des vecteurs propres de la matrice des corrélations des variables initiales. Les éléments de la matrice des vecteurs propres sont les coordonnées des variables initiales sur les axes principaux. Cette matrice permet de représenter les variables initiales sur un, deux ou trois axes ou même plus. Le Tableau 4-6 illustre les plans factoriels (où composantes) qui expliquent les corrélations entre les variables utilisées. C'est sur la base de ces composantes que la définition des différentes classes sera basée.

L'ACP fait ressortir trois composantes qui expliquent un total de 79,9% de la variance dans notre échantillon. La première à elle seule représente 48,8%, la deuxième et la troisième représentent, respectivement, 26,4% et 7,6% (Tableau 4-6).

Tableau 4-6. Coordonnées factorielles des variables utilisées dans la typologie d'exploitations.

	Moyen ne	Ecart- type	Composantes		
			1	2	3
Variance expliquée			45,80	26,45	7,66
Variance cumulée			45,80	72,25	79,91
SAUT	2,55	2,24	0,180	-0,026	0,110
Nombre de Serres	11,6	10,35	-0,085	0,249	0,025
Surface plein champ	1,1	1,84	0,198	-0,085	0,037
Main d'œuvre (jours)	825,4	651	0,030	0,172	0,064
Nombre de Cultures	2,3	1,18	-0,023	0,112	-0,233
Volume d'eau	5267	4488	0,076	0,114	-0,050
Dépenses en techniques économiques en eau (Mille DZD)	27,8	16,9	0,116	0,055	-0,024
Serres (% de la surface cultivée)	63,7	40,5	-0,028	0,004	0,268
Capital variable (Mille DZD)	1930	77	-0,006	0,202	,031

Pour identifier ce que représente chaque composante, nous nous sommes basés sur le Tableau 4-6 qui montre la liaison existante entre les plans factoriels et les variables utilisées pour faire la typologie. Les résultats montrent que la composante 1 est représentée par la taille de l'exploitation, la surface dédiée aux cultures de plein champ et l'investissement dans les techniques économiques en eau. La deuxième englobe le nombre de serres dans l'exploitation, les besoins en main-d'œuvre, le volume d'eau consommé, et le capital variable, quant à la troisième composante, elle englobe le nombre de cultures pratiquées ainsi que la répartition de l'espace entre les cultures sous serres et de plein champ.

4.4.2.2. Choix d'une classification des exploitations.

En utilisant les composantes fournies par l'ACP, l'analyse des classes (clusters) nous a permis ainsi d'obtenir deux classes distinctes. Les deux classes obtenues peuvent être interprétées de la manière suivante (voir aussi Tableau 4-7) :

Tableau 4-7. Classes obtenues et leurs caractéristiques.

	Composant e 1	Composant e 2	Composante 3	Interprétation du groupe
Classe 1	0,640	0,719	-0,337	<i>Exploitations de taille moyenne à « relativement grande » cultivant plus de cultures et ayant une plus grande partie de leur SAU dédiées aux cultures de plein champ.</i>
Classe 2	-0,505	-0,566	0,266	<i>Des petites exploitations spécialisées dans la culture de tomates et de piments sous serres.</i>

Classe 1. Composée par les plus grandes exploitations, leur taille moyenne est de 3,6 ha. Cette classe représente 44% des individus de l'échantillon et est surtout représentée par les agriculteurs privés. On y trouve plusieurs assolements orientés majoritairement vers le plein champ avec 67 % de la superficie qui y est dédié. Une minorité de ces agriculteurs pratiquent aussi l'oléiculture en plus de l'élevage bovin. Le système d'irrigation goutte à goutte est le plus répandu, il est utilisé par 78% des exploitations. Les agriculteurs qui constituent cette classe sont les plus âgés. Une partie d'entre eux exercent d'autres activités non agricoles.

Classe 2. Ce type d'exploitations est le plus fréquent dans la zone d'étude. Cette classe représente 56% de l'échantillon. Elle est représentée par des petites exploitations avec une taille moyenne de 1,8 ha. Elles sont en général spécialisées dans la culture de tomates et de piments sous serres. Ces exploitations sont essentiellement gérées par des locataires dont la seule activité est l'agriculture. En effet, nous avons remarqué que la location informelle est très présente dans la région et concerne 52% des exploitations de cette classe. Le système d'irrigation le plus fréquent reste le goutte-à-goutte présent dans 60% des exploitations. Cependant, les exploitations qui ont un nombre de serres réduit continuent à pratiquer l'irrigation gravitaire. Le capital variable investi par les agriculteurs de ce groupe est important. Cette classe consomme plus d'heures de travail par campagne. Ceci peut être expliqué par le fait que les cultures sous serres sont plus exigeantes en main-d'œuvre, car leur pratique s'étend sur une plus longue période dans l'année par rapport aux cultures de plein champ. Des statistiques descriptives et tests de différence des moyennes entre les deux classes sont présentés dans le Tableau 4-8 ci-dessous.

Tableau 4-8. Caractéristiques des différentes classes d'exploitations et significativité d'une analyse de variance (égalité de la moyenne entre les groupes).

Classe	Classe 1		Classe 2		Total		Test ANOVA (t-Signification)
	Moyenne	Ecart-type	Moy.	Ecart-type	Moy	Ecart-type	
Nombre	41		52		93		
SAUT	3,6	2,9	1,8	1,3	2,6	2,2	0,000
Serres (Nombre)	7,0	8,4	15,8	10,4	11,6	10,3	0,000
Serres (% de la SAUT)	12	27,5	55	7,7	27,9	40,5	0,000
Location (%)	29		52		42		0,028
Elevage (%)	29		7		17		0,006
Plein Champ (ha)	2,4	2,1	0,0	0,0	1,1	1,8	0,000
Puits (nombre)	0,6	0,5	0,9	0,3	0,8	0,4	0,000
Cultures (nombre)	3,1	1,2	1,7	0,8	2,3	1,2	0,000

Le Tableau 4-8 illustre la comparaison des moyennes de chaque variable et pour chaque classe. Nous avons utilisé l'analyse de la variance ANOVA pour ressortir celles qui sont responsables de la variabilité. Les résultats obtenus montrent une signification de l'ordre de 1% pour les variables structurelles à savoir la SAUT, le nombre de serres par exploitation, la présence de puits et le nombre de cultures. Ces dernières expriment la majorité de la différence. Elles seront donc la base pour caractériser les classes. Les variables location et présence d'élevage expriment moins cette différence, mais restent cependant significatives.

4.5. Conclusion.

Le périmètre irrigué Jijel-Taher est caractérisé par des exploitations maraichères irriguées de petite taille avec une préférence pour les cultures sous serres d'où l'augmentation de la part de la superficie qui y est dédiée. Ceci traduit l'effort de diversification et d'adaptation des producteurs aux besoins du marché. Parallèlement à ces activités agricoles, se développent des activités de commerce et de service souvent en relation avec l'agriculture locale. L'ensemble de ces activités génèrent des revenus supplémentaires aux exploitants. Cependant, la majorité des producteurs n'ont pas les moyens de prendre en charge à la fois les biens et services nécessaires à la conduite de leurs activités agricoles (intrants, matériels agricoles, etc.). Ils font alors recours au crédit pour le financement de leurs activités agricoles.

L'analyse de la typologie nous a permis d'identifier deux classes d'agriculteurs dans notre région d'étude, et ce, en se basant sur les différentes utilisations des terres, les cultures pratiquées, et des choix d'irrigation. Les grandes exploitations diversifiées (Classe 1) et les petites exploitations (Classe 2) qui sont spécialisées dans la serriculture et qui utilisent la totalité de leur superficie pour ce type de culture. Cette typologie va nous être utile dans les chapitres 5 et 6 lors de la simulation des différents scénarios de politiques de l'eau. Cette dernière va nous permettre de saisir les diversités entre producteurs. En effet, on soutient l'hypothèse que les producteurs d'une même région ne disposent pas souvent des mêmes moyens et ne produisent pas nécessairement dans les mêmes conditions économiques et sociales. Il convient donc de ne pas considérer les producteurs comme un ensemble homogène à qui l'on pourrait proposer des solutions « standards », car la réalité est souvent autre (Brasseur, 1975). Dans ce sens, l'analyse des simulations sur les différents types d'exploitations de la région va nous aider à avoir une vision plus large sur l'effet de ces dernières, et donc, de mettre en œuvre des interventions appropriées en tenant en compte de la diversité qui existe.

Chapitre 5 . Niveau de l'efficacité d'usage de l'eau dans les exploitations maraîchères et les conditions pour l'améliorer²¹.

5.1. Introduction.

Durant ces dernières années, l'agriculture a connu une croissance par rapport aux autres secteurs en Algérie, notamment, grâce à l'extension des superficies irriguées. Cependant, peu d'actions ont été conduites pour agir sur l'évolution de la demande en eau, c'est-à-dire sur les comportements des usagers, l'absence de mesures institutionnelles limitant la consommation, ainsi qu'un prix de l'eau si faible et qui ne représente que 1 à 10% des charges opérationnelles de l'agriculteur, conduisent à une utilisation irrationnelle et au gaspillage de l'eau d'irrigation (Guemraoui et Chabaca, 2005). Ce chapitre vise à contribuer à cette discussion moyennant la caractérisation de l'Efficacité d'Utilisation de l'Eau (EUE) dans les différents types d'exploitations irriguées de la zone d'étude, ainsi que de faire ressortir les déterminants qui affectent cette dernière. En second lieu, nous allons analyser l'impact d'une politique de quota d'eau d'irrigation sur l'évolution des scores d'EUE. L'amélioration de l'EUE peut donc contribuer directement à épargner cette ressource rare et augmenter l'offre pour d'autres utilisations agricoles et non agricoles (Chebil et al. 2013). Les résultats tirés seront d'un grand intérêt pour les décideurs du secteur, car non seulement ils mettront en évidence l'existence ou non de gaspillage d'eau d'irrigation, et fourniront des indications pour améliorer cette efficacité à travers des actions ciblées.

Pour ce faire, l'hypothèse principale qu'on va considérer est que l'activité agricole irriguée est un processus de transformation de plusieurs inputs en outputs (Speelman et al. 2008). Le volume d'eau consommé serait donc considéré parmi d'autres intrants afin de calculer l'efficacité avec laquelle les exploitations irriguées étudiées transforment ces intrants en valeur de production. Le principe de benchmarking de ces exploitations (i.e. comparer les moins performantes aux plus performantes) serait adopté à travers l'utilisation de la méthode de

²¹ Une partie de ce chapitre a été publiée en tant que :

Oulmane A., Frija A., et Brabez F., 2016. Effet des quotas d'eau d'irrigation sur l'efficacité d'usage de l'eau dans les exploitations maraîchères du Nord-est Algérien: Vers une sericulture plus valorisante de la ressource en eau. *New medit: Mediterranean journal of economics, agriculture and environment*, 15(4), 72-81.

Une partie de ce chapitre a été soumise en tant que :

Oulmane A., Chebil A., Frija A., et Brabez F. The water use efficiency and its determinants in small horticultural farms in Algeria. *Irrigation and Drainage*.

« l'Analyse par Enveloppement des Données », aussi appelée « Data Envelopment Analysis » (DEA). Une transformation mathématique du modèle DEA nous permettra de calculer l'efficacité d'usage d'un seul intrant, qui est l'eau d'irrigation dans notre cas. Ce type de calcul nous permet d'estimer de combien les quantités d'inputs des exploitations étudiées peuvent être proportionnellement réduites, et ce sans affecter les niveaux de production (Coelli, 1996). Une autre transformation du modèle DEA nous permettra d'ajouter des contraintes sur les volumes d'eau utilisés (imposition d'un instrument limitatif : quota d'eau d'irrigation) au niveau du périmètre, et de mesurer leurs effets sur les scores d'EUE. Enfin, un modèle Tobit sera utilisé pour ressortir les facteurs affectant les scores d'EUE. Des travaux antérieurs conduits dans la région nord-africaine (Dhehibi et al. 2007 ; Frija et al. 2009 ; Chebil et al. 2010), où en Afrique du Sud (Speelman et al. 2008) démontrent le faible niveau de l'EUE d'irrigation. Selon ces mêmes auteurs, ces faibles niveaux sont généralement dus au niveau d'éducation et à la formation technique des agriculteurs, à la taille de l'exploitation, à la disponibilité de la ressource hydrique, à l'investissement dans les techniques économes en eau, et au choix des cultures.

Le reste du chapitre est composé de quatre parties. La deuxième partie fournit une présentation du cadre théorique en définissant le concept d'efficacité technique (ET) ainsi que les différents modèles de son calcul. La troisième partie méthodologique présente la formulation mathématique du modèle DEA et du modèle Tobit utilisés dans cette étude ainsi qu'une description des données utilisées. Les résultats de l'étude sont présentés et discutés dans les quatrième et cinquième parties, respectivement.

5.2. Définition et méthodes de calcul de l'efficacité.

5.2.1. Définition du concept d'efficacité.

Les premiers travaux sur l'efficacité ont été initiés par Koopmans (1951), Debreu (1951), et Farrell (1957). Koopmans (1951) a été le premier à proposer une définition de l'efficacité technique. Il considère qu'un plan de production d'une firme est techniquement efficace « 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 ». C'est sur la base des travaux de Farrell (1957) que sont nés les modèles de frontière. Farrell (1957) était aussi le premier à diviser l'efficacité économique en deux composantes, à savoir une efficacité technique (liée au savoir-faire technique et aux technologies de production) et allocative (liée à la capacité de la firme à allouer ses inputs d'une manière qui minimise ses

coûts de production). Notre étude est limitée au calcul de l'efficacité technique qui reflète le potentiel des exploitations agricoles à éviter le gaspillage des ressources utilisées. Éviter un tel gaspillage peut se faire par deux méthodes à savoir : i) en produisant plus sans augmenter le niveau des ressources/intrants utilisés, ou ii) en réduisant la quantité des ressources/inputs utilisée sans changer le niveau d'outputs (ou production). C'est dans ce sens que l'efficacité technique peut être calculée, respectivement, pour ces deux orientations précédentes : i) une efficacité technique orientée vers la maximisation de l'output (output-oriented efficiency) ou ii) une efficacité technique orientée vers la minimisation de l'input (input-oriented efficiency) (Coelli et al. 2002 ; Fried et al. 2008). Dans le cas d'exploitations agricoles utilisant des ressources naturelles (à savoir l'eau d'irrigation), une efficacité orientée vers la minimisation des inputs (afin d'éviter le gaspillage) est plus adaptée (Tulkens, 1986 ; Coelli et al. 2002). Afin de calculer l'efficacité d'usage d'un seul intrant, parmi d'autres, des transformations des méthodes mathématiques de calcul de l'efficacité technique peuvent être appliquées. L'une de ces méthodes serait utilisée dans notre étude afin de calculer l'efficacité d'usage de l'eau d'irrigation. Cette méthode sera présentée dans la section méthodologique suivante.

5.2.2. Méthode de l'Analyse par Enveloppement des Données (DEA).

Dans la littérature, la multitude de modèles de frontières développés sur la base du travail de Farrell peuvent être classés en deux, à savoir les approches paramétriques et non-paramétriques (Bravo-Ureta et Pinheiro, 1993). Les méthodes les plus utilisées sont, respectivement, les frontières de production stochastique et la méthode DEA (Speelman et al. 2008). Les approches paramétriques s'appuient sur une forme fonctionnelle spécifique et doivent présupposer une fonction de frontière donnant le maximum d'output en fonction des inputs (Aigner et al. 1977). A l'inverse, les approches non-paramétriques n'imposent pas de forme fonctionnelle. La frontière de production de la méthode DEA est un isoquant convexe construit à l'aide de techniques de programmation linéaire et doit être estimée à partir des données de l'échantillon. Cette frontière est représentée par un isoquant linéaire qui enveloppe les combinaisons d'inputs-outputs observés de telle façon à ce que tous les points se trouvent sur ou sous la frontière de production (Coelli, 1996) comme montrée par la Figure 5-1.

La méthode DEA est dite déterministe par définition, car elle suppose l'absence d'erreurs aléatoires. Elle néglige la possibilité que la performance d'une firme puisse être affectée par plusieurs facteurs hors du contrôle, tels les aléas climatiques, le mauvais rendement des machines ou encore les pénuries des intrants, dont l'effet est aussi important que les facteurs

contrôlables par la firme (Fok et al. 2015). Dans ce cas, on suppose que les écarts observés sont dus à des inefficacités productives (Thiry et Tulkens, 1988 ; Bravo-Ureta et Pinheiro, 1993). Le degré d'efficacité productive va donc représenter l'écart entre chaque observation et la frontière de production.

Le premier modèle DEA développé par Charnes et al. (1978) supposent des rendements d'échelle constants (ou "constant returns to scale" CRS), ce qui veut dire que toutes les entreprises fonctionnent à une échelle optimale (Coelli, 1996 ; Cooper et al. 2006). Seulement, dans la réalité, l'augmentation des quantités d'inputs n'est pas accompagnée à une augmentation proportionnelle des outputs (Speelman et al. 2008), c'est la raison pour laquelle un modèle à rendement d'échelle variable (ou "variable returns to scale" VRS) serait mieux adapté puisqu'il fournit des informations sur l'efficacité d'échelle, des exploitations agricoles étudiées. Ce dernier modèle VRS a été introduit par Banker et al. (1984).

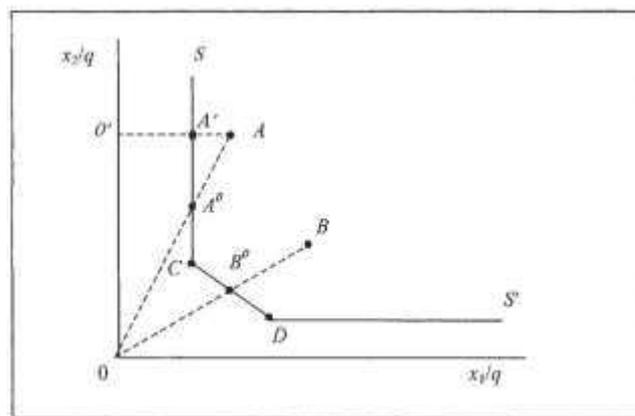


Figure 5-1. Frontière de production et mesure de l'efficacité technique (adapté à partir de : Coelli (1996)).

Dans la Figure 5-1, la frontière de production SS' est définie par la combinaison des inputs des points C et D , ce sont les firmes les plus efficaces et qui produisent le maximum d'output par rapport aux inputs utilisés. Les points A et B qui se trouvent au-dessous de la frontière n'utilisent pas la même quantité d'inputs que C et D et sont de ce fait des firmes inefficaces. Géométriquement, Farrell définit l'efficacité technique des firmes A et B respectivement par OA^0/OA et OB^0/OB . L'inefficacité des firmes peut être résorbée par une meilleure utilisation des facteurs de production. En effet, ces firmes peuvent obtenir le même niveau de production tout en utilisant moins d'intrants. Par ailleurs, le calcul de l'efficacité d'utilisation d'un seul intrant est aussi représenté dans la Figure 5-1. On se référant au graphique, l'efficacité par rapport au facteur de production x_2 par exemple est calculée par : $O'A'/O'A$.

La méthode DEA présente des avantages importants par rapport à l'approche économétrique pour les mesures de l'efficacité. Tout d'abord, parce qu'elle est non-paramétrique, il n'est donc pas nécessaire d'imposer la forme fonctionnelle de la frontière (Nana Djomo et Atangana Ondo, 2012). Deuxièmement, l'approche permet la construction d'une frontière à partir des données observées, ce qui permet la comparaison de n'importe quelle combinaison d'inputs-outputs par rapport à cette frontière. De cette façon, la méthode DEA fournit une approche simple pour calculer l'écart d'efficacité qui sépare le comportement de chaque producteur par rapport aux meilleures pratiques (Haji, 2006 ; Reig-Martinez et Picazo-Tadeo, 2004 ; Malano et al. 2004 ; Wadud et White, 2000). De plus, lorsqu'on utilise la méthode DEA, les mesures d'efficacité ne sont pas affectées de façon significative par un échantillon de petite taille, à condition que le nombre d'intrants ne soit pas trop élevé par rapport à la taille de l'échantillon (Thiam et al. 2001 ; Chambers et al. 1998). Oude Lansink et al. (2002) soutiennent enfin que le calcul des efficacités techniques sous-vectorielles à l'aide d'une approche stochastique des frontières serait problématique. Finalement, le fait que la méthode DEA est déterministe présente des inconvénients, car elle est sensible aux erreurs de mesure et aux autres bruits dans les données. Cependant, plusieurs études ont comparé les deux méthodes et ont montré que les résultats des deux méthodes sont fortement corrélés (Alene et Zeller, 2005 ; Thiam et al. 2001 ; Wadud et White, 2000). Dans cette étude, une approche DEA est préférée en raison de sa souplesse et des possibilités de calculer l'efficacité des sous-vecteurs.

5.3. Matériels et Méthodes.

5.3.1. Calcul de l'efficacité technique et de l'efficacité de sous-vecteur.

Le modèle ci-dessous présente le cas où existent N input et M output pour chaque I exploitation. Pour la i -ème exploitation, ceux-ci sont représentés par les vecteurs colonnes x_i et q_i , respectivement. X est la matrice d'entrée $N \times I$ et Q la matrice de sortie $M \times I$, elles représentent les données des I exploitations.

L'efficacité technique peut être calculée en résolvant l'équation 1 :

$$\text{Min}_{\theta, \lambda} \theta$$

Sous contraintes :

$$\begin{aligned} -q_i + Q\lambda &\geq 0, \\ \theta x_i - X\lambda &\geq 0, \\ N1' \lambda &= 1 \\ \lambda &\geq 0, \end{aligned} \quad (1)$$

Où θ est un scalaire et λ est un vecteur $|x|$ des constantes. Le modèle est résolu une fois pour chaque exploitation et obtient donc une valeur θ pour chacune d'elles. La valeur de θ obtenue correspond au score de l'efficacité technique de la i -ème exploitation. Elle est comprise entre 0 et 1, la valeur 1 indique un point sur la frontière est donc représente une firme techniquement efficace (Farrell, 1957).

On note seulement que pour tenir compte du rendement d'échelle, il suffit d'introduire la contrainte $N1' \lambda = 1$ au modèle à rendement d'échelle constant (Oude Lansink et al. (2002) ; Frija et al. (2009) ; Chebil et al. (2013)).

En utilisant la notion d'efficacité de sous-vecteur proposée par Fare et al. (1994), l'efficacité technique de sous-vecteur pour la variable k est calculée pour chaque firme i en résolvant l'équation 2 :

Min θ, λ θ^k

Sous contraintes :

$$\begin{aligned} -q_i + Q\lambda &\geq 0, & X_i^{n-k} \\ \theta^k x_i^k - X^k \lambda &\geq 0, \\ x_i^{n-k} - X^{n-k} \lambda &\geq 0, & (2) \\ N1' \lambda &= 1 \\ \lambda &\geq 0, \end{aligned}$$

Où θ^k est le score d'efficacité technique du sous-vecteur par rapport à l'input k pour la firme i . Dans lequel k est réduit tout en maintenant les autres inputs et outputs constants. Les termes x_i^{n-k} et X^{n-k} font référence à x_i^v et X^v sans introduire l'input k . Les termes x_i^k , X^k incluent seulement l'input k .

L'effet de l'instauration du quota d'eau d'irrigation sera simulé en ajoutant une contrainte au modèle (2). Cette contrainte rapporte les volumes d'eau de chaque agriculteur, dont la consommation dépasse le quota (fixé au préalable) à la quantité du quota choisi ; et ce pour 4 différents scénarios, à savoir : 4000, 3500, 3000 et 2500 m³. La Figure 5-2 présente le gain d'efficacité engendré par l'imposition d'un quota d'eau (E2) à un agriculteur qui utilise initialement un volume (E1). Ce gain d'efficacité est alors relatif à la distance du segment (AB).

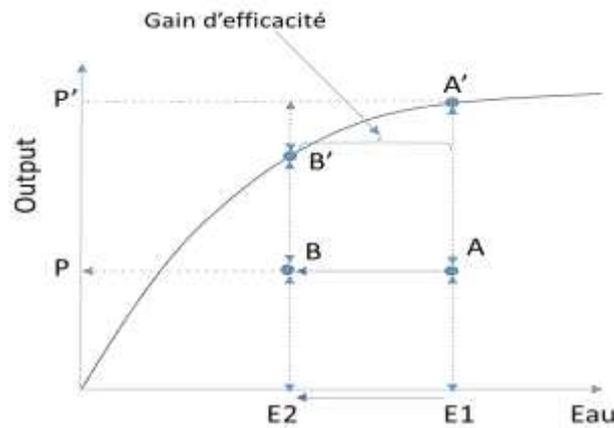


Figure 5-2. Effet des quotas d'eau d'irrigation sur les scores d'EUE.

Les deux spécifications de l'efficacité en CRS et VRS seront calculées dans notre étude. La comparaison des deux mesures est intéressante du fait qu'elle fournit des informations sur l'efficacité d'échelle (SE). Cette dernière est calculée à partir de la formule suivante (Coelli et al. 2002 ; Speelman et al. 2008 ; Sayin et Yilmaz, 2015) :

$$SE = ET_{CRS}/ET_{VRS}$$

Où ET_{CRS} est l'efficacité technique à rendement d'échelle constant et ET_{VRS} est l'efficacité technique à rendement d'échelle variable.

5.3.2. Identification des déterminants de l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

Pour déterminer les facteurs affectant l'efficacité d'utilisation d'eau d'irrigation. Les auteurs estiment souvent une relation de deuxième étape entre les mesures d'efficacité et les variables qui y sont présumées corrélées (Barnes, 2006 ; Chavas et al. 2005 ; Binam et al. 2003 ; Iraíoz et al. 2003). la littérature préconise d'utiliser le modèle Tobit plutôt que la méthode des moindres carrés ordinaires pour la deuxième étape de la procédure afin de tenir compte du fait que la variable dépendante (score d'efficacité) soit une variable quantitative censurée et limitée (valeurs entre 0 et 1) (Wooldridge, 2002 ; Greene, 2003 ; Gujarati, 2011). Cette méthode consiste à estimer une régression linéaire qui exprime l'efficacité selon un ensemble de variables socio-économiques. Ces variables sont discutées dans la section suivante. Le modèle Tobit à estimer est défini comme suit (équation 3).

$$\begin{aligned} \theta^* &= \sum_{r=1}^R \beta_r z_r + e \\ \theta^k &= \theta^{k*} \text{ if } 0 < \theta^{k*} < 1 \\ &0 \text{ if } \theta^{k*} < 0 \\ &1 \text{ if } \theta^{k*} > 1 \end{aligned} \quad (3)$$

Où θ est l'efficacité technique, et représente la variable à expliquer. Z est un vecteur de variables explicatives liées aux caractéristiques des exploitations et des exploitants, β est le vecteur du paramètre inconnu associé aux variables explicatives, et e le terme d'erreur qui est censé avoir une distribution normale avec une moyenne égale à zéro et une variance constante σ^2 .

Rappelons que la méthode consiste à estimer une régression linéaire dont la variable à expliquer est l'efficacité d'utilisation de l'eau et les variables explicatives sont reflétées par différentes variables socioéconomiques. L'estimation du modèle Tobit repose sur des procédures de maximum de vraisemblance (Verbeek, 2008). La régression pour la spécification VRS de l'EUE a été estimée grâce au logiciel Gretl.

5.3.3. Etude de l'impact de l'utilisation du goutte à goutte sur l'EUE.

Étant donné que les agriculteurs peuvent utiliser différentes techniques d'irrigation dans la même exploitation, par exemple, irriguer les cultures de plein champ en goutte à goutte et les cultures sous serre en gravitaire, la variable technique d'irrigation n'a pas été prise en compte dans le modèle Tobit. Afin d'estimer l'effet de l'utilisation des techniques économes en eau (cas du goutte à goutte) sur les scores d'EUE, nous nous sommes orientés vers l'étude du différentiel des scores d'EUE pour le cas d'une seule culture. Nous avons choisi la culture de piment, car c'est la culture la plus répandue (60 individus au total dont 35 utilisent le goutte à goutte et 25 pratiquent l'irrigation gravitaire). Cette analyse va nous renseigner si l'utilisation des techniques économes en eau a un impact significatif sur l'EUE. En premier lieu, nous allons estimer les scores d'EUE pour la culture de piment, par la suite, nous allons comparer les scores d'efficacité du groupe d'individus utilisant le goutte à goutte avec le groupe d'individus qui irriguent grâce au système gravitaire. Le Test-t sera utilisé pour la confirmation de notre hypothèse de départ dans laquelle nous avons fait la supposition que les technologies d'économie d'eau ont un impact sur l'EUE.

5.3.4. Variables utilisées.

Pour le calcul des efficacités techniques et d'usage de l'eau d'irrigation, les inputs (de 1 à 5) et outputs (6) suivants ont été utilisés (voir aussi Tableau): 1) Sup. Cul. : la superficie cultivée en hectares (ha), 2) Eau : l'eau d'irrigation consommée à l'échelle de l'exploitation (en m³), 3) M.O. : la main-d'œuvre utilisée (exprimée en jours de travail), 4) Fertilisants : la valeur des fertilisants et des produits phytosanitaires utilisés (en DZD), 5) Semence : la valeur des

semences (en DZD) et 6) Outputs : le revenu total de l'exploitation à partir de la vente de la production maraichère.

Tableau 5-1. Statistiques descriptives des variables utilisées dans la mesure de l'efficacité.

	Outputs (Valeur)	Sup. Cul. (ha)	Eau (m ³)	M.O. (j/an)	Fertilisants (Valeur)	Semence (Valeur)
Moyenne	403	1,91	5267	825	20,5	11
Écart-type	36	2,06	465	67	19,4	1,7
Minimum	54	0,2	600	189	2	0,9
Maximum	2064	14,5	26800	4148	104	113

*Note : Toutes les variables données en valeur sont de l'ordre de *10⁴ DZD=93 USD*

Les variables utilisées pour le calcul de l'efficacité d'usage de l'eau d'irrigation des producteurs de piment sont les suivantes (voir Tableau 5-2) : (1) pour l'output et (de 2 à 5) pour les inputs : 1) le rendement (Kg/ha), 2) la quantité d'eau consommée en m³/ha, 3) la main d'œuvre utilisée en jour/ha, 4) la valeur des fertilisants et des produits phytosanitaires en DZD/ha, 5) la valeur des semences en DZD/ha.

Tableau 5-2. Statistiques descriptives des variables utilisées dans la mesure de l'efficacité pour la culture de piment.

	Rendement (kg/ha)	Eau (m ³)	Main d'œuvre (jours)	Fertilisant (DZD/ha)	Semence (DZD/ha)
Moyenne	62640	3377	1024	228800	73603
Écart-type	11967	647	198	60294	10554
Minimum	39200	2416	548	73391	48000
Maximum	88000	5600	1460	313344	105600

Les variables utilisées pour construire le modèle Tobit sont les suivantes (Voir Tableau 5-3) : 1) SAU : est la surface agricole utile en hectare, 2) AGE : l'âge de l'exploitant (années), 3) NCULT : le nombre de cultures par exploitation, 4) % serre : le pourcentage de la superficie équipée en serres, 5) NUP : le nombre d'agriculteurs qui partagent le même puits, 6) SEAU : source d'eau : 0 si l'agriculteur utilise une seule source d'eau (barrage) ; 1 si l'agriculteur utilise deux sources d'eau (barrage et puits), 7) PROP : type de propriété : 1 si l'exploitant est propriétaire ; 0 si non 8) EDUC : niveau d'éducation : 1 si l'agriculteur a le niveau moyen et plus ; 0 = si non, 9) ATECH : assistance technique et extension : 1 Si Oui; 0 si non, 10) FIN : financement : 1 si l'agriculteur est autofinancé; 0 s'il fait recours au crédit, 11) COM : commercialisation : 1 si l'agriculteur vend sa production au niveau de l'exploitation ; 0 s'il la vend au marché de gros.

Tableau 5-3. Statistiques descriptives des variables utilisées dans le modèle Tobit.

	Variables continues				Variables dummy	
	Moyenne	Ecart-type	Min	Max	Nbr d'exploitation avec dummy = 0	Nbr d'exploitation avec dummy = 1
SAU	2,55	2,24	0,5	14,5		
AGE	40	9,7	24	69		
NCULT	2,3	1,2	1	6		
% serres	66,4	40,7	0	100		
NUP	2,44	1,69	1	6		
SEAU					41	52
PROP					50	43
EDUC					32	61
ATECH					68	25
FIN					25	68
COM					49	44

5.4. Résultats.

5.4.1. Mesures des scores d'efficacité techniques et d'usage de l'eau d'irrigation.

La mesure de l'efficacité technique des exploitations agricoles par la méthode DEA a été réalisée à l'aide du programme GAMS (*General Algebraic Modeling System*) (voir Annexe B). Les résultats de l'estimation de l'efficacité technique globale (ET) et l'efficacité d'usage de l'eau (EUE) sont représentés dans le Tableau 5-4 et la Figure 5-3 suivants.

Tableau 5-4. Distribution des fréquences de score d'efficacité d'un échantillon d'exploitations maraichères.

Classes d'efficacité (%)	ET (% des exploitations)		EUE (% des exploitations)		EUE (% des producteurs de piment)
	CRS	VRS	CRS	VRS	VRS
0<E<40%	1	0	35	25	27
40=<E<60%	34	15	40	31	28
60=<E<80 %	41	36	11	17	17
80=<E<=100%	24	49	14	27	28
Efficacité Moyenne	68	79	51	61	55
Efficacité min.	37	42	8	13	13
Efficacité d'échelle	86		83		

Les scores de l'efficacité technique moyenne sont de 68% et 79%, respectivement pour les hypothèses CRS et VRS. Ces résultats montrent que les exploitations peuvent épargner en moyenne 21% des intrants utilisés tout en produisant la même quantité actuellement observée. Les résultats montrent aussi un écart entre les valeurs d'efficacité techniques calculées sous les

hypothèses CRS et VRS, se traduisant par une inefficacité d'échelle de l'ordre de 14%. Ceci indique que l'efficacité technique de ces exploitations peut être améliorée si cette inefficacité d'échelle peut être éliminée.

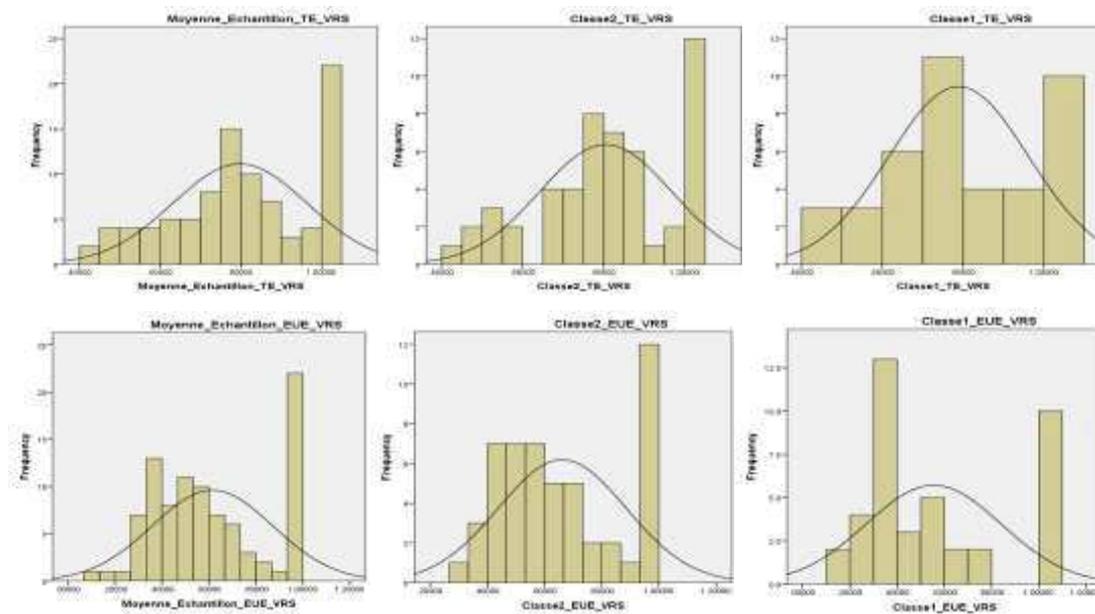


Figure 5-3. Distribution des scores d'efficacité technique et d'usage de l'eau dans les deux groupes d'agriculteurs identifiés (Classe1 et classe2).

La moyenne de l'EUE est de l'ordre de 51% et 61%, respectivement, sous les hypothèses CRS et VRS. Elle est nettement plus faible que l'efficacité technique globale, mais présente également une forte variabilité (voir Figure 5-3). Ces résultats montrent que nous pouvons obtenir le même niveau de production avec 39% moins d'eau (sous l'hypothèse VRS) et en utilisant la même quantité pour les autres intrants. Enfin, contrairement à l'efficacité globale, seulement 44% des exploitations ont une efficacité d'usage de l'eau supérieure à 60%. Ceci renseigne sur la possibilité d'économiser une grande quantité d'eau si on utilise l'eau d'irrigation d'une manière plus rationnelle. L'efficacité d'échelle calculée pour l'input eau est estimée à 83%.

Les scores d'efficacité techniques et d'usage de l'eau sont aussi calculés pour chacune des classes identifiées dans la typologie. Les résultats sont présentés dans le Tableau 5-5. Le test de variance ANOVA (différence des moyennes) montre que les valeurs de l'ET des agriculteurs des deux classes sont statistiquement similaires. Ceci peut s'expliquer par la ressemblance des modes de production entre les deux classes. Contrairement, on enregistre une différence statistiquement significative de l'EUE.

Tableau 5-5. Distribution des fréquences de score d'efficacité par classe d'exploitation.

Classe	Classe 1		Classe 2		Total		Test ANOVA (t)
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	
ET _{VRS}	0,79	0,17	0,80	0,16	0,80	0,17	0,653
ET _{CRS}	0,71	0,18	0,66	0,17	0,68	0,17	0,266
EUE _{VRS}	0,55	0,29	0,66	0,22	0,61	0,26	0,046
EUE _{CRS}	0,45	0,26	0,56	0,19	0,51	0,23	0,023

Note : EUE_{VRS} : efficacité d'usage de l'eau à rendement d'échelle variable et EUE_{CRS} : efficacité d'usage de l'eau à rendement d'échelle constant.

5.4.2. Déterminants de l'efficacité d'utilisation de l'eau.

Les résultats du modèle Tobit estimés à l'aide du logiciel Gretl sont illustrés dans le Tableau 5-6. Le modèle est statistiquement valide. Le rapport de vraisemblance est significatif à 1%, ce qui signifie que l'hypothèse nulle est rejetée. Le Khi carré du modèle est égal à 47 et il est significatif à 1%.

Selon le Tableau 5-6, la variable nombre de cultures a un coefficient négatif et est statistiquement significative à 1%. Cela signifie que l'efficacité du sous-vecteur eau est plus faible lorsque le nombre de cultures augmente. En d'autres termes, cela montre que les exploitations les plus spécialisées sont les plus efficaces.

La variable commercialisation montre aussi un coefficient négatif, et est statistiquement significative à 5%. Ce résultat montre que les agriculteurs qui commercialisent leur produit au niveau de l'exploitation ont un score d'EUE inférieure à ceux qui commercialisent leur production au marché. Ceci peut être expliqué par la supériorité du gain réalisé par les agriculteurs intégrés dans le marché de gros par rapport à ceux qui vendent leurs produits au niveau de l'exploitation. Économiquement, cela peut s'expliquer par la différence dans le prix de vente²².

D'après les résultats, la relation entre l'EUE et le nombre de sources d'eau d'irrigation est positive et statistiquement significative à 5%. Ceci explique que les agriculteurs qui ne possèdent qu'une seule source d'eau (publique) utilisent l'eau d'une manière inefficace par rapport à ceux qui possèdent plusieurs sources d'eau (publique et privée).

²² En moyenne, la différence est de 5 à 20 DA/kg entre le prix des produits vendus à l'exploitation et leurs prix au marché de gros.

Il est également clair que le coefficient des variables assistance technique et éducation est positif et est statistiquement significatif à 5% et 10%, respectivement. Cela indique que les agriculteurs qui ont bénéficié d'une formation ou d'un enseignement technique utilisent la ressource en eau plus efficacement.

L'accès au crédit a un effet positif et est statistiquement significatif sur l'EUE. Cela peut s'expliquer par le fait que l'accès au crédit permet l'investissement et le remplacement de l'équipement qui conduit à réduire la consommation d'eau. Enfin, il est logique que le pourcentage de la zone dédiée aux cultures sous serres affecte sensiblement l'EUE parce que cette technique permet une meilleure valorisation de l'eau d'irrigation.

Tableau 5-6. Estimation des déterminants de l'efficacité d'utilisation de l'eau par le modèle Tobit.

	<i>Coefficient</i>	<i>Erreur std</i>	<i>z</i>	<i>p.value</i>	
Const.	0,6717	0,1812	3,7066	0,0002	***
AGE	0,0057	0,0025	1,4999	0,1336	
SAU	0,0108	0,0119	0,9006	0,3678	
NCULT	-0,1132	0,0260	-4,3572	0,0000	***
% serre	0,0025	0,0013	1,9322	0,0533	*
SEAU	0,1454	0,0636	2,2873	0,0222	**
NUP	0,0175	0,0140	1,2534	0,2101	
PROP	-0,132	0,0971	-1,361	0,1735	
EDUC	0,1007	0,0582	1,7295	0,0837	*
ATECH	0,0768	0,0512	2,2611	0,0237	**
FIN	-0,0941	0,0540	-1,7415	0,0816	*
COM	-0,1128	0,0486	-2,3189	0,0204	**
Chi-deux (11)	46,8271		p. value	2,31E-06	
Log vraisemblance	13,7502				

5.4.3. Effet de l'utilisation du goutte à goutte sur l'EUE.

Comme indiqué dans la partie méthodologique, l'impact de l'utilisation des technologies d'économie d'eau sera analysé à partir d'un échantillon de 60 producteurs de piment. Les résultats du Test-t présentés dans l'Annexe C montrent qu'il y a une différence significative à 1% entre l'EUE des agriculteurs qui utilisent le goutte à goutte et les agriculteurs pratiquant l'irrigation gravitaire. Ce résultat signifie que l'utilisation du goutte à goutte a un impact significatif sur le score d'EUE.

Avant l'élaboration de la régression, des tests économiques pour juger de la fiabilité du modèle ont été réalisés, à savoir ; i) le test de normalité des erreurs (test de Jarque-Bera), et ii) le test d'homogénéité des variances (test de Levene) (Annexe C).

5.4.4. Effet de l'instauration de quotas sur l'efficacité des exploitations étudiées.

D'après la Figure 5-4 on remarque une importante évolution de l'EUE avec l'imposition de quotas d'eau. On remarque que l'effet des quotas est différent entre les deux classes. Pour le cas de l'hypothèse VRS, l'amélioration est nettement meilleure pour la classe 2 (15% contre 10% pour la classe 1). Ceci démontre que la classe 2 présente une plus grande variabilité dans la quantité d'eau consommée par les irrigants. En effet, cette classe présente une combinaison de plusieurs techniques d'irrigation comme rapporté plus haut.

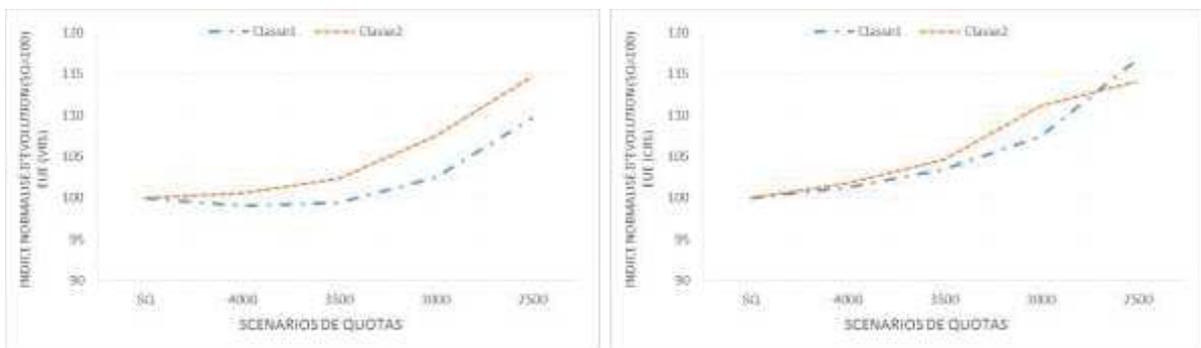


Figure 5-4. Effet des différents scénarios de quotas sur l'EUE dans la zone d'étude, sous les deux hypothèses VRS (gauche) et CRS (droite).

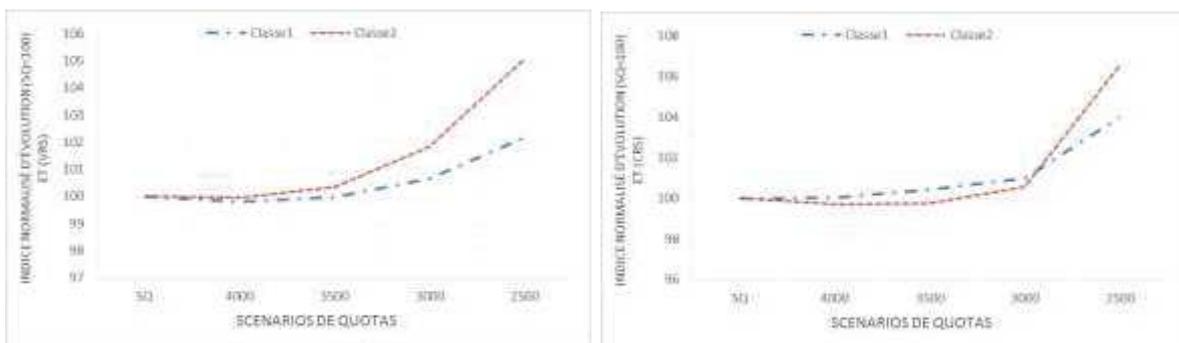


Figure 5-5. Effet des différents scénarios de quotas sur l'efficacité technique globale dans la zone d'étude, sous les deux hypothèses VRS (gauche) et CRS (droite).

En considérant l'hypothèse CRS, on remarque que l'amélioration de l'EUE pour la classe 2 tend à ralentir avec des quotas inférieurs à 3000 m³. Ceci est dû à un inversement des rendements d'échelles au-delà de ce seuil. Les résultats seront illustrés plus loin dans la Figure

5-6. Les quotas d'eau d'irrigation auront aussi un effet sur l'efficacité technique globale des exploitations agricoles étudiées. Cet effet est représenté dans la Figure 5-5.

Sous les deux hypothèses de l'ET globale (VRS et CRS), l'effet du quota est positif, mais reste assez faible pour des quotas d'eau supérieure à 3500 m³. Ce n'est qu'au-dessous de 3500 m³ qu'on commence à voir une croissance plus rapide des ET. Ainsi, avec l'imposition d'un quota de 2500 m³ et comparativement à la situation initiale (SQ), on enregistre une amélioration de 2% et 5% pour les classes 1 et 2 respectivement.

L'évolution de l'ET est nettement meilleure pour la classe 2. Ceci peut être interprété de la même manière que pour l'EUE.

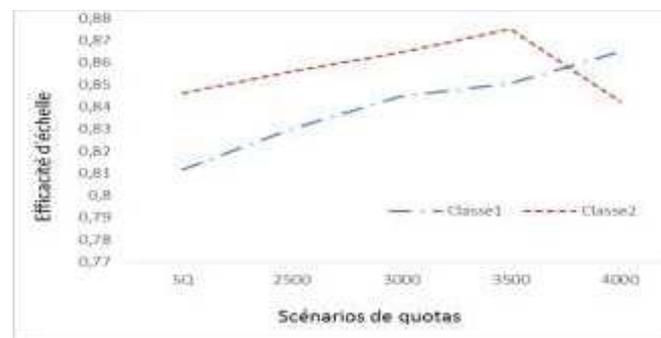


Figure 5-6. Evolution de l'efficacité d'échelle (d'utilisation de l'eau d'irrigation) des deux groupes d'exploitations sous différents scénarios de quotas d'eau.

Nous avons constaté que les quotas au-dessus de 3000 m³ permettent d'avoir un gain d'efficacité d'échelle (Figure 5-6). Cependant, contrairement à la première classe qui conserve le gain d'efficacité même au-dessous d'un quota de 3000 m³, la deuxième classe, commence à enregistrer des pertes d'efficacité d'échelle. Ce qui signifie que le quota de 3000 m³ constitue un seuil d'utilisation de l'eau, au-delà duquel, l'orientation du rendement d'échelle (croissant ou décroissant) s'inverse. Indépendamment de cette orientation, il s'avère à partir de ces résultats que le quota de 3000 m³, permet une efficacité d'échelle optimale pour le groupe 2.

5.5. Discussion.

Les résultats du calcul de l'efficacité, en utilisant la méthode DEA, montrent d'importantes inefficacités techniques globales et d'usage de l'eau au niveau des exploitations enquêtées. Le score moyen de l'efficacité d'usage de l'eau sous l'hypothèse VRS est de 61 %. Ceci montre l'opportunité d'épargner des volumes considérables d'eau d'irrigation. Ces quantités peuvent aller jusqu'à 39% des volumes actuellement utilisés, et ce sans nuire à la production agricole

(les niveaux de revenus) de la région d'étude. Dans ce contexte, l'Algérie ne fait pas exception dans la région nord-africaine. L'évaluation de l'EUE en Tunisie par exemple, révèle aussi de faibles valeurs de cet indicateur. Dhehibi et al. (2007) ont calculé les scores d'efficacité des exploitations d'agrumes de la région du Cap Bon au nord-est de la Tunisie, et ont identifié des scores d'EUE de l'ordre de 53%. De même, Frija et al. (2009) ont estimé une EUE de l'ordre de 42% dans les exploitations maraichères sous serres du centre-est Tunisien. Pour ce qui est des systèmes céréaliers, Chebil et al. (2010) ont calculé un score moyen d'EUE de 62%, et ce, pour la région de Kairouan au centre Tunisien.

Les résultats montrent une différence entre les scores d'efficacité des deux hypothèses VRS et CRS avec une efficacité d'échelle moyenne de 83%. Cela indique que les exploitations agricoles peuvent être plus efficaces en opérant à une taille optimale et en utilisant la même combinaison de facteurs de production. Des inefficiences d'échelle ont également été mentionnées par Speelman et al. (2008) dans un périmètre irrigué situé au nord-ouest de l'Afrique du Sud, et Mahdi et al. (2010) dans un périmètre irrigué privé au sud-est de la Tunisie.

Les résultats montrent aussi que les plus petites exploitations (la classe 2) qui sont spécialisées dans la serriculture utilisent l'eau d'une manière plus efficace. Ce résultat est en effet en cohérence avec d'autres études (Mahdi et al., 2010 ; Speelman et al., 2008) qui ont montré que la taille de l'exploitation agricole est en corrélation significative et négative avec les scores d'EUE. Certains auteurs (Gül Ünal, 2008; Larson et al. 2014) expliquent que ce genre de relation inverse est typique dans plusieurs pays en développement, où il s'avère que le niveau de production par hectare de terre est généralement plus élevé dans les petites exploitations agricoles, comparées aux moyennes exploitations (ou même parfois les plus grandes). Les petites exploitations de notre échantillon sont plus intensives en technologies (irrigation et serres) que les exploitations de taille moyenne (la classe 1), ce qui peut expliquer leur meilleure performance dans la gestion de l'eau d'irrigation. Rappelons que les tests ANOVA ont montré que les scores d'efficacité technique ne sont pas statistiquement significatifs entre les groupes.

A travers l'étude des déterminants, nous avons démontré que le nombre de cultures a eu un effet négatif et significatif sur l'utilisation efficace de la ressource, ce qui signifie que l'inefficacité de l'utilisation de l'eau est plus faible dans les exploitations spécialisées. D'autres auteurs, comme Wadud et White (2000) dans les exploitations rizicoles au Bangladesh, et Speelman et al. (2008), ont rapporté que la fragmentation a un effet négatif sur l'EUE. Cela est dû au fait que l'irrigation peut être gérée plus efficacement sur de plus grandes parcelles.

Les résultats ont également montré que l'éducation, l'assistance technique et la formation ont un impact significatif et positif sur l'utilisation efficace de l'eau. Cela signifie que les programmes de vulgarisation agricole et d'éducation des agriculteurs sont des instruments de politique pour les décideurs publics afin d'améliorer l'EUE. Dhungana et al. (2004) dans les exploitations rizicoles au Népal, Binam et al. (2003) dans les petits exploitants agricoles du Cameroun, et Dhehibi et al. (2007) et Frija et al. (2009) en Tunisie, ont rapporté un effet positif et significatif de l'éducation sur l'efficacité à partir des régressions qu'ils ont effectuées.

Les résultats ont aussi montré que les exploitations ayant plus qu'une source d'eau (publique et privée) sont les plus efficaces. Ceci pourrait être expliqué par la disponibilité de l'eau pour l'irrigation des cultures au moment opportun. En effet, les coupures de distribution d'eau sont fréquentes et les agriculteurs se trouvent parfois obligés d'attendre plusieurs jours pour avoir accès à l'eau, par conséquent, ils n'irriguent pas aux moments adéquats. Ceci affecte directement l'efficacité d'utilisation l'eau. Il faut donc régler ce problème de distribution de l'eau dans le périmètre irrigué afin de garantir une meilleure utilisation de cette ressource. Dans ce contexte, Frija (2009), Chemak et al. (2010), et Chebil et al. (2013) ont montré des résultats similaires.

Finalement, l'âge de l'exploitant ne contribue pas à un niveau plus élevé d'efficacité. Une explication possible est que deux effets se neutralisent les uns les autres: les agriculteurs plus âgés et plus expérimentés ont plus de connaissances sur leurs terres et sur les pratiques traditionnelles, mais sont moins disposés à adopter de nouvelles idées. Parfois, l'un des deux effets domine. En effet, en tenant compte des résultats des études antérieures. L'effet de l'âge est négatif dans l'étude de Wadud et White (2000) et Binam et al. (2003), mais positif dans l'étude de Dhungana et al. (2004). On note que pour notre cas d'étude nous n'avons pas testé cette hypothèse.

Concernant l'effet de l'instauration des quotas, nous avons démontré qu'une implémentation effective de cette politique de gestion de l'irrigation affecte positivement tant l'ET que l'EUE, avec des effets nettement supérieurs sur l'EUE (de l'ordre de 13% en moyenne pour tout l'échantillon). Cet impact est plus élevé pour la classe 2 composée de serriculteurs spécialisés. Ceci montre encore une fois l'importance de considérer une application rigoureuse des quotas de l'eau d'irrigation, qui sont déjà spécifiés dans la région d'étude, mais qui ne sont pas appliqués et contrôlés. L'effet positif des quotas est démontré par d'autres études évaluant la performance des différents instruments de gestion de l'eau d'irrigation. En effet, des résultats

similaires ont été obtenus par Senthilkumar et al. (2012) dans une étude menée en Inde. Ils rapportent que les politiques de quotas d'eau et d'électricité permettaient d'améliorer la productivité de l'eau dans la région de Tamil Nadu. Pour la classe 2 (agriculteurs spécialisés en sericulture), l'imposition du quota permet, dans une première étape, une croissance d'efficacité d'échelle relative à l'utilisation de l'eau. Cette croissance s'inverse pour des quotas de l'ordre de 3000 m³. Ce dernier déclin d'efficacité d'échelle suggère qu'il faut réduire la taille des exploitations afin de continuer à croître l'EUE. Pour cette raison, le quota de 3000 m³ peut être considéré comme étant un seuil idéal à appliquer dans la zone d'étude, et au-delà duquel, les performances des exploitations agricoles peuvent être affectées.

Cependant, il est à noter que l'application des politiques d'eau ne doit pas être faite en isolation. Nous suggérons alors que cette politique de quotas soit accompagnée par d'autres incitations techniques et économiques afin d'aboutir à un meilleur accompagnement des agriculteurs. Un exemple de ces politiques est la subvention des techniques agricoles modernes qui permet non seulement d'économiser l'eau, mais aussi à maximiser la marge brute des agriculteurs en se reconvertissant vers des productions plus valorisantes.

5.6. Conclusion.

En raison de la pénurie d'eau dont fait face l'Algérie, une stratégie de gestion de la demande d'eau est le défi auquel doivent faire face les décideurs dans les années à venir. L'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau semble être une solution adaptée pour faire face à la croissance de la demande en eau et à la réduction du gaspillage surtout dans le secteur de l'agriculture qui consomme la majorité des quantités mobilisées d'eau chaque année avec près de 62%. Les gestionnaires devraient se concentrer sur ce secteur en mettant en place des instruments plus rigoureux afin de préserver cette ressource. Dans ce sens, ce chapitre s'intéresse à l'analyse de l'efficacité d'utilisation de l'eau au niveau des exploitations maraichères et sur la manière d'améliorer cette dernière.

Les résultats révèlent des scores d'EUE faibles, suggérant que d'importantes quantités d'eau peuvent être épargnées si cette ressource était gérée d'une manière plus efficace. Les résultats montrent aussi que l'EUE des exploitations spécialisées en sericulture est nettement meilleure. En effet, compte tenu de leur superficie limitée, on rencontre une prédominance de cultures sous serres à forte valeur ajoutée. De ce fait, nous suggérons l'encouragement de cette pratique en facilitant l'obtention des subventions nécessaires à la reconversion vers ces techniques de

production modernes, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire du pays tout en améliorant la rentabilité des exploitations agricoles.

Dans une deuxième étape, l'examen des facteurs affectant l'EUE, en utilisant la régression Tobit, montre qu'en plus des variables structurelles telles que le nombre de cultures, l'existence de plusieurs sources d'eau et le pourcentage de surface couverte par les serres, certaines variables spécifiques à l'exploitant comme le niveau d'éducation, l'assistance technique, et le type de financement et de commercialisation ont un effet significatif sur l'EUE. D'après ces résultats, nous recommandons que les décideurs politiques se concentrent sur l'amélioration des connaissances des agriculteurs. Des mesures d'assistance et de formation aux agriculteurs sont donc nécessaires pour promouvoir une meilleure utilisation de la ressource et pour sensibiliser les agriculteurs à la pénurie d'eau. En outre, des informations sur les doses optimales de l'eau à différentes cultures sont également nécessaires dans la zone d'étude.

Nous avons aussi démontré que la réduction des quotas d'eau alloués aux agriculteurs peut permettre une amélioration de 13% de l'EUE. Cependant, cette politique pourrait affecter le revenu des agriculteurs. Il serait donc important d'étudier l'effet distinct de ce type de politiques sur les performances économiques des agriculteurs. Ce travail sera donc complété, dans le chapitre 6, par une analyse de l'impact de cet instrument ainsi que d'une politique de tarification sur le comportement des agriculteurs vis-à-vis des pratiques culturales et de la demande en eau.

Chapitre 6 . Modélisation du comportement des agriculteurs face à des politiques de tarification et de quotas d'eau plus sévères²³.

6.1. Introduction.

En Algérie, le prix de l'eau d'irrigation a toujours été subventionné. Comme c'est le cas pour d'autres pays d'Afrique du Nord, ce prix est trop faible et ne reflète pas le coût de production de l'eau. Depuis 2005, il a été fixé à 2 DZD/m³ (0,017 USD/m³), alors que le coût de production de la ressource est estimé à environ 22 DZD²⁴/m³ (ONID, 2016). Ce fossé entre les deux prix ne garantira pas la viabilité financière des périmètres d'irrigation dans le cas de coupure des subventions de l'État. En outre, la chute mondiale des prix du pétrole, qui a profondément touché le budget de l'État, peut effectivement conduire à un plus faible soutien des infrastructures et un recul des investissements dans les périmètres irrigués algériens. Ceci peut conduire à la dégradation de ces dernières et ainsi affecter leur durabilité.

Depuis quelques années, le gouvernement a reconnu la nécessité d'aller vers une stratégie basée sur la gestion de la demande en eau, en faisant recours à divers instruments techniques, politiques et institutionnels, y compris des incitations économiques pour améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau par l'agriculture et réduire le gaspillage de l'eau. Par exemple, les décrets de 2005 et 2007 viennent mettre en évidence que la nouvelle tarification de l'eau se concentre désormais sur le principe de la couverture des coûts réels des services de l'eau par les taxes acquittées par les utilisateurs (Mozas et Ghosn, 2013). L'objectif du gouvernement algérien étant d'augmenter progressivement le prix de l'eau d'irrigation afin d'être en mesure de couvrir les principaux coûts de fonctionnement et d'entretien associés à la production et la distribution de l'eau.

De nombreux auteurs, notamment, Aït-Ameur (2005) et Mozas et Ghosn (2013), estiment qu'il existe une marge importante pour l'augmentation du prix de l'eau sans léser les performances globales des systèmes irrigués dans le pays. Dans ce cadre, ce chapitre met l'accent sur le contexte de notre zone d'étude en évaluant l'impact de deux instruments institutionnels

²³ Une partie de ce chapitre a été soumise en tant que :

Oulmane A., Frija A., Brabez F. Modeling farmers' response to irrigation water policies in Algeria: an economic assessment of volumetric irrigation prices and quotas. *Irrigation and Drainage*.

²⁴ C'est le coût de revient du m³ d'eau d'irrigation dans la région de Jijel estimé par l'ONID (Voir : Annexe D).

(différents scénarios de tarification et de quotas d'eau d'irrigation) sur la marge brute des agriculteurs, la demande en eau, la demande en main-d'œuvre et des autres intrants. Deux types de scénarios ont été simulés, notamment : i) l'augmentation des prix volumétriques de l'eau d'irrigation dans le périmètre irrigué étudié, et ii) la limitation des quotas d'eau alloués à chaque agriculteur (les scénarios ont été élaborés en fonction des consommations actuelles de l'eau dans la région).

Dans cette analyse, nous supposons que la réponse des exploitants, face à ces politiques, sera différente selon leurs caractéristiques. Pour cette raison, nous avons basé notre étude sur la typologie des exploitations agricoles tirées des enquêtes auprès des agriculteurs effectuées dans le périmètre irrigué (voir chapitre 4). Au final, nous avons développé et utilisé un modèle de Programmation Mathématique Positive (PMP) appelé « Farm Model for Irrigation Policies Assessment in Algeria » (FMIPA) pour simuler différents scénarios de politique de l'eau et leur impact sur le changement des pratiques culturales des agriculteurs et sur la demande des intrants. Le modèle a été développé à l'échelle de l'exploitation et appliqué pour les différents types d'exploitations identifiés par le biais de notre typologie.

Le reste du chapitre est divisé en quatre sections. La deuxième section présente la méthodologie. Elle fournit le principe et la formulation mathématique de notre modèle de programmation et présente les données utilisées. La présentation et la discussion des résultats sont effectuées dans la troisième et quatrième section, respectivement.

6.2. Méthodologie.

6.2.1. Programmation mathématique positive.

Selon Young (2014), il y a deux approches de base pour l'estimation de la demande de l'eau d'irrigation, ce sont les techniques d'évaluation inductive et déductive. Les techniques inductives impliquent une analyse économétrique des données agronomiques observées. Les techniques déductives utilisent généralement des modèles de programmation mathématiques pour refléter la rationalité des agriculteurs censée être soit orientée vers la maximisation du profit ou vers la minimisation des coûts. Un tel processus de maximisation (ou minimisation) est généralement conditionné par différentes contraintes par rapport à la quantité et au prix des ressources disponibles (Tsur, 2010). Le modèle FMIPA²⁵ est un modèle à l'échelle de l'exploitation basé sur des méthodes de programmation mathématiques pour simuler l'effet de

²⁵ L'écriture du modèle est présentée dans l'Annexe E.

différents scénarios de politiques de l'eau d'irrigation et des instruments de gestion sur le comportement des agriculteurs, exprimé par leur fonction de demande en eau (ainsi que pour d'autres intrants agricoles). La programmation mathématique a été largement utilisée comme un outil de simulation pour évaluer les effets des chocs exogènes (politiques, évolution du marché, etc.) sur la demande en eau d'irrigation par les agriculteurs (Gohin et Chantreuil, 1999 ; Cortignani et al. 2009 ; Speelman et al. 2009 ; Chebil et al. 2010 ; Frija et al. 2011).

D'une manière générale, les modèles de programmation mathématique appliqués au niveau de l'exploitation consistent à déterminer l'allocation des variables de décision de cette exploitation qui maximise une variable économique sous des contraintes techniques. La variable économique maximisée est généralement le profit de l'exploitation (Dudu et Chumi, 2008), tandis que la variable de décision est généralement considérée comme la superficie allouée à chaque culture²⁶. Concernant les contraintes techniques et financières de la production. L'exploitation agricole est d'abord limitée par sa superficie totale, la disponibilité de la main-d'œuvre (la main d'œuvre est un facteur limitant dans la région d'étude), et par la quantité d'eau disponible, etc. (Gohin et Chantreuil, 1999). Elle est aussi soumise à un ensemble de prix du marché, qui détermine les meilleures combinaisons d'intrants et des cultures à produire. Sans ces contraintes, le modèle n'aura pas de limites et ne pourra pas reproduire d'une manière plus au moins précise les choix cultureux observés sur le terrain.

La Programmation Mathématique Linéaire (PML) a longtemps prédominé, mais la Programmation Mathématique Positive (PMP) s'impose maintenant de plus en plus. La principale différence entre les approches PMP et LMP est la spécification de fonctions non linéaires qui permettent ensuite de reproduire une situation observée et de «lisser» les résultats des scénarios (Gohin et Chantreuil, 1999). La non-linéarité a été principalement introduite par une fonction objective du profit dans la fonction de production (Howitt, 1995a) ou des coûts de production (Arfini et Paris, 1995).

Les programmes mathématiques doivent être calibrés, généralement basés sur des données observées, avant d'être utilisés pour des simulations. Dans ce chapitre, nous avons utilisé la méthode PMP introduite par Howitt (1995) pour l'étalonnage de notre modèle FMIPA. La méthode PMP a l'avantage de calibrer exactement la solution du modèle à la situation observée et promet également de donner un comportement plus souple et plus réaliste du modèle de

²⁶La méthode PMP consiste à allouer les surfaces des cultures pratiquées en fonction de leur productivité marginale par hectare. Selon Gohin et Chantreuil (1999), la surface allouée à une culture i est strictement positive uniquement lorsque la productivité marginale à l'hectare dégagée par cette culture est égale au prix d'opportunité de la terre.

simulation (Heckeley, 1997 ; Heckeley et Britz, 2000 ; Mérel et Howitt, 2014). Un autre avantage de cette approche est que la méthode ne nécessite pas de grands ensembles de données pour avoir un calibrage précis.

En raison de la complexité de la modélisation de la pratique de chaque exploitation individuellement, nous utilisons la typologie des exploitations agricoles pour identifier des classes d'exploitations agricoles. Elles seront, par la suite, modélisées et représentées par le modèle FMIPA. Cette approche suppose que des groupes distincts de producteurs réagissent de la même manière (Wiborg et al. 2005), et par conséquent, chaque groupe peut être représenté par une exploitation type. La base de données complète des exploitations est alors réduite dans un ensemble plus restreint de types d'exploitations agricoles. Les cultures et la technologie de production qui représentent ces dernières seront ensuite définies. Les caractéristiques des exploitations types ont été calculées selon l'approche « archétype » (Chennoun, 2011).

6.2.2. Représentation archétype.

La réalisation des exploitations archétypes a été faite à partir de la simplification des exploitations moyennes²⁷ (Tableau 6-1). L'idée est, qu'en se basant sur une exploitation moyenne élaborée à partir des données d'enquête, il est possible de reconstruire une exploitation archétype en se référant à la réalité du terrain. Ces simplifications sont appliquées selon des règles de décision établies en fonction de certains critères observés sur le terrain. En pratique, elles sont principalement réalisées par rapport aux nombres de cultures. En effet, si on se réfère à une exploitation réelle, le nombre de cultures ne dépasse pas 5 cultures par exploitation, or, dans une exploitation moyenne (Tableau 6-1), on se retrouve parfois avec 10 cultures par exploitation moyenne.

Il est à noter que différentes approches peuvent être appliquées afin de sélectionner les cultures types d'une exploitation archétype, par exemple, sélectionner toutes les cultures qui ont une superficie supérieure à la superficie minimum, ou bien agréger toutes les cultures de la même famille en les représentant par une seule culture tout en gardant la même superficie que l'exploitation moyenne (Chenoune, 2011).

²⁷Pour construire une exploitation moyenne, la démarche consiste à établir une exploitation type pour chaque classe d'exploitations homogènes. L'exploitation type sera basée sur une moyenne de tous les critères caractérisant l'exploitation: SAU, SAU_{irriguée}, nombre de serres...

Dans notre cas, la sélection des cultures types d'une exploitation archétype est faite en prenant comme référence la superficie minimum. Dans ce cas, les cultures type de notre exploitation archétype sont celles qui présentent uniquement une superficie supérieure ou égale à la superficie minimum qu'une culture peut avoir sur le terrain. Par exemple, l'exploitation moyenne représentant la classe 1 présente 10 cultures. En appliquant cette règle, les cultures de l'exploitation archétype dans ce cas, ne représenteront que six cultures (Tableau 6-1). Les superficies des cultures qui n'ont pas été sélectionnées ont été agrégées avec des cultures, qui utilisent la même technologie de production et consomment plus ou moins la même quantité d'eau, de sorte à garder la même superficie moyenne.

Tableau 6-1. Caractéristiques des exploitations moyennes (tableau à gauche) et des exploitations archétypes (tableau à droite).

Cultures	Classe1	Classe2	Cultures	Archétype 1	Archétype 2
	Superficie (ha)			Superficie (ha)	
Chou pc	1,47	0,02	Chou pc	1,47	-
Tomate ss	0,26	0,18	Tomate ss	0,26	0,18
Tomate pc	0,42	-	Tomate pc	0,42	-
Piment ss	0,16	0,65	Piment ss	0,16	0,65
Pastèque pc	1,03	-	Pastèque pc	1,03	-
Fraise ss	-	0,05	Fraise ss	-	0,05
Concombre ss	0,01	0,03	Concombre ss	-	0,08
Courgette pc	0,1	-	Courgette pc	0,48	-
Courgette ss	-	0,03			
haricot pc	0,25	-			
haricot ss	0,01	-			
Aubergine ss	-	0,02			
Aubergine pc	0,11	-			

Note : *pc* : *plein champ*, *ss* : *sous serre*

6.2.3. Description du modèle FMIPA “Farm Model for Irrigation Policies assessment in Algeria”.

Une fois les différentes exploitations types et leurs caractéristiques respectives (y compris les cultures pratiquées et la technologie de production : entrées/sorties) identifiées, nous procédons ensuite à une représentation de ces exploitations sous forme mathématique, en utilisant l'approche PMP. Selon Howitt (1995), la PMP est une procédure en trois étapes dans lequel une fonction de coût non linéaire est calibrée pour les valeurs observées des intrants utilisés dans la production agricole actuelle. La procédure de Röhm et Dabbert (2003), qui est une méthodologie spécifique de la PMP, est appliquée pour calibrer le modèle FMIPA. Il est

important de noter que le modèle FMIPA est basé sur la théorie de la production de la microéconomie néoclassique. Cela suggère que les agriculteurs vont maximiser leur marge brute (Z) selon un ensemble de contraintes techniques (2, 3 et 4). La première étape de la calibration du modèle et de son étalonnage commence par résoudre un programme linéaire (Equation 1) où nous maximisons la fonction objective Z , sous un ensemble de contraintes techniques en plus des « contraintes de calibration » (5).

$$\text{Max } Z = \sum_i \sum_c (p_{ic} y_{ic} - CV_{ic} - be_i pe) X_{ic} \quad (1)$$

Sous contraintes:

$$\sum_i^n x_i \leq T ; \quad (2)$$

$$\sum_i^n be_i x_i \leq de ; \quad (3)$$

$$\sum_i^n bw_i x_i \leq wd ; \quad (4)$$

$$x_{ic} = x_{ic} + \varepsilon \quad (5)$$

$$x_i \geq 0 \quad (6)$$

Où : i est la culture ($i = 1, 2, 3, \dots$), c est l'exploitation type, X_{ic} : est la « variable décisionnelle » du modèle qui exprime la surface optimale X par culture ' i ' pour différentes exploitations types ' c ', P_i est le prix des différentes cultures, y_i est le rendement par culture, CV_i est le coût variable de production des différentes cultures, T est la superficie agricole totale ; be_i est le besoin en eau de la culture i ; bw_i est le besoin en main-d'œuvre de la culture i ; de est la disponibilité de l'eau d'irrigation pour chaque exploitation type ; wd est la disponibilité de la main-d'œuvre pour chaque exploitation type ; j représente les différents intrants agricoles ; et ε est un scalaire.

D'un point de vue technique, la première étape de la procédure de calibrage sert à 'révéler' les valeurs des coûts marginaux de production (Arfini et Paris, 1995) qui, dans la seconde étape, permettent de calibrer les paramètres des fonctions de coût variable de production. L'optimisation du modèle (1), limité par l'équation (5), générera des valeurs duales de X pour chaque culture. Ces valeurs duales seront ensuite utilisées pour calculer les paramètres de calibration α et β , suivant la procédure Röhm et Dabbert (2003). L'ordonnée (le coût moyen) et la pente β de la fonction de coût sont particulièrement utilisées pour étalonner la fonction de coût variable comme l'indique l'équation 7 ci-dessous.

$$CV_{ic} = \alpha + \frac{1}{2} \beta X_{ic} \quad (7)$$

Où CV représente les coûts variables (semences, fertilisants, eau, main d'œuvre, bâches en plastiques pour les serres, paillage et gaines, travail du sol) des cultures pour les différentes

exploitations types, α et β sont calculés en se basant sur les informations générées par la première étape (voir Gohin et Chantreuil, 1999 ; Medellin-Azuara et al. 2012).

Les variables duales associées aux contraintes (2, 3, 4, 5 et 6) mesurent les coûts marginaux de production (par rapport aux α_i) qui permettraient d'obtenir l'allocation initiale des ressources comme situation optimale. Ces variables duales sont utilisées pour calibrer les paramètres β_i des fonctions de coût variables (Eq. 7).

La nouvelle équation (7) des coûts variables sera remplacée dans l'équation 1, le résultat est une fonction objective non linéaire exprimée dans l'équation 8.

$$\text{Max } Z = \sum_i \sum_c \left[(p_{ic} y_{ic} X_{ic}) - \left(\alpha + \frac{1}{2} \beta X_{ic} \right) - b e p e X_{ic} \right] \quad (8)$$

Une dernière étape consistera à optimiser l'équation 8 pour la situation de statu quo sous les contraintes : 2, 3, 4 et 6. Finalement, si cela va générer la même allocation des superficies observées au cours de l'année de référence, alors nous pouvons supposer que notre modèle est bien validé et peut être utilisé pour les simulations de scénarios.

6.2.4. Scénarios de tarification et de quotas d'eau.

Dans ce chapitre, nous avons simulé deux types de changements dans les politiques de l'eau : i) la hausse du prix de l'eau ; et ii) l'imposition de quotas d'eau. Les détails sur chacun de ces scénarios sont les suivants :

- *Tarification de l'eau.* L'augmentation des prix de l'eau a été testée pour évaluer son effet sur la consommation d'eau par hectare. Nous avons fait varier le prix de l'eau de son prix actuel de 2 DZD/m³ à 22 DZD/m³ (coût de revient du m³ distribué dans la zone d'étude) puis à 50 DZD/m³, censé représenter le prix de recouvrement des charges fixes et variables ainsi que les coûts environnementaux). Dans cette situation, nous faisons l'hypothèse que les cultures qui valorisent mieux l'eau d'irrigation remplaceront les cultures à faible valeur marginale lorsque le prix de l'eau augmente.
- *Quotas d'eau.* Pour ce scénario, la quantité d'eau allouée pour chaque exploitation est progressivement réduite²⁸. Six différents quotas d'eau ont été testés : Q1-Q6 correspondant à la

²⁸Le volume d'eau à fournir est défini en fonction de la superficie déclarée et selon des besoins théoriques en eau de chaque culture. En moyenne, selon les estimations de l'ONID, chaque agriculteur a droit à 3000 m³/ha afin que le partage de l'eau soit équitable. Or, on remarque que les agriculteurs consomment généralement beaucoup plus que ce volume.

quantité de 3600, 3200, 2600, 2200, 1800, et 1400 m³/ha, respectivement. Dans le cas de cette politique limitative, nous supposons que les cultures qui consomment le plus d'eau seront remplacées par des cultures moins consommatrices d'eau.

6.2.5. Variables utilisées.

Le Tableau 6-2 présente le résumé de toutes les variables utilisées dans notre modèle FMIPA.

Tableau 6-2. Statistiques descriptives des principales variables utilisées dans le modèle de PMP.

	Rendement (Q/ha)	Prix (DZD/kg)	Eau (m³/ha)	Main d'œuvre (j/ha/an)	Coût Var. (DZD)
Tomate PC**	68,7	14,4	2760	248	149164
Tomate SS***	92,2	28	3536	1216	969600
Piment SS	62,1	36	3344	1104	940880
Pastèque PC	89,7	14,4	3400	126	94000
Fraise SS	36	120	4920	1680	1938192
Concombre SS	61	32	3632	1040	956219
Courgette PC	25,2	40	2800	120	134391
Chou-fleur PC	25	9,6	0	30	58800

PC: Plein champ, SS: sous Serres.

6.3. Résultats.

6.3.1. Caractéristiques des exploitations types.

À partir de la typologie des exploitations agricoles (voir Chapitre 4), nous avons identifié deux groupes d'exploitations distincts : les exploitations diversifiées et relativement de grande taille et les petites exploitations spécialisées. Le Tableau 6-3 présente les caractéristiques des deux exploitations types dérivés des deux classes présentées dans le chapitre 4.

L'exploitation type 1. Est caractérisée par une grande taille, avec une moyenne de 3,6 ha. Elle est caractérisée par sa diversification, en moyenne six cultures différentes y sont pratiquées. Elle est orientée principalement vers les cultures de plein champ comme le chou-fleur, la tomate et la pastèque, ces cultures représentent 67 % de la superficie cultivée (voir Figure 6-1). Les principales cultures cultivées sous serres sont la tomate et les courgettes. Cette exploitation consomme moins d'eau (3242 m³/ha/an) que l'exploitation type 2, mais aussi produit des cultures avec une plus faible valeur ajoutée. Sa marge brute est de 680 mille DZD/ha.

L'exploitation type 2. Est caractérisée par une plus petite taille, sa taille moyenne est de 1,8 ha. On y pratique des cultures exigeantes en eau (les serres représentent 100 % de la surface

agricole irriguée). Les principales cultures cultivées sont la tomate, le poivron, la fraise et le concombre. Ce type d'exploitation agricole se caractérise par une consommation d'eau élevée (3633 m³/ha en moyenne) et d'une meilleure marge brute (970 mille DZD/ha). Il est également logique que cette exploitation type consomme plus d'intrants à l'hectare comme la main d'œuvre, fertilisants ...etc.

Tableau 6-3. Caractéristiques des exploitations types.

Exploitation type	Exploitation type 1	Exploitation type 2
	Moyenne	Moyenne
SAU (ha)	3,6	1,8
SAU Irrigué (ha)	2,35	1
Superficie cultures PC (ha)	2,43	0
Superficie cultures SS (ha)	0,44	1
Marge brute (Mille DZD/ha)	680	970
Eau (m ³ /ha)	3242	3633
Fertilisant (Kg/ha)	830	1199
Main d'œuvre (j/ha)	85	151
Coûts Var. (*10 ⁴ DZD/ha)		

Source: Calculs basés sur la typologie des exploitations.

6.3.2. Performances du model.

Le modèle FMIPA est résolu en utilisant les solveurs non-linéaires CEPLEX de GAMS (General Algebraic Modeling System). La Figure 6-1 illustre le résultat de la calibration du modèle qui exprime la performance du modèle à reproduire la répartition initiale des cultures observées dans les deux exploitations types.

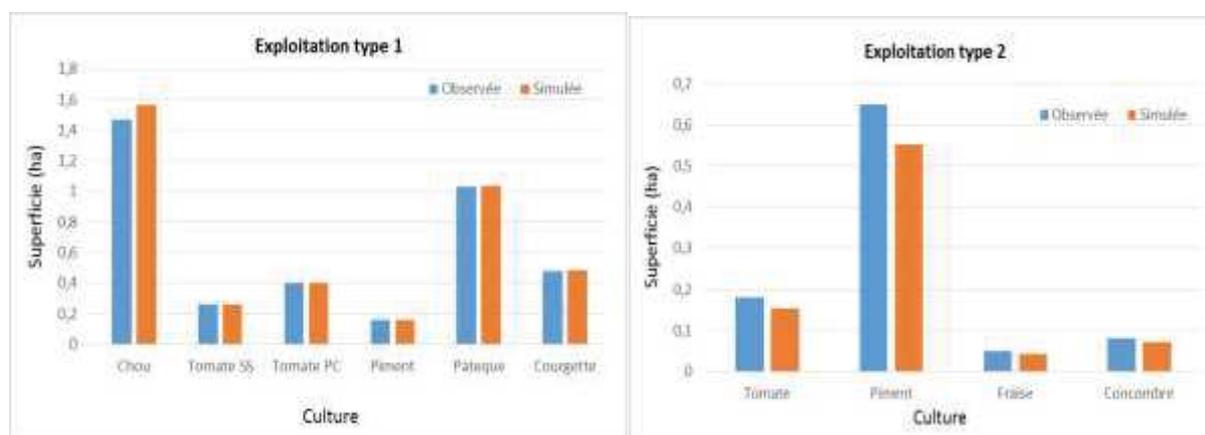


Figure 6-1. Les superficies de cultures observées et simulées par exploitation type, exploitation type 1 (à gauche) et exploitation type 2 (à droite).

Ces simulations montrent la conformité des résultats avec les données observées, indiquant que le modèle de simulations reproduit d'une manière fiable la situation observée et peut être un outil crédible pour les simulations de scénarios.

6.3.3. Impact des différents scénarios sur le choix des cultures.

Avec l'augmentation des prix de l'eau, les agriculteurs répondent par le changement dans la distribution des cultures et surtout par la diminution de la surface irriguée. Le Tableau 6-4 et la Figure 6-2 montrent les superficies des différentes cultures pour les deux exploitations types et pour chaque scénario de prix et de quotas d'eau. Nous pouvons remarquer que l'exploitation type 1 substitue les cultures fortement consommatrices d'eau par les cultures moins intensifs lorsque le prix de l'eau augmente. Concernant l'exploitation type 2, les réponses des agriculteurs sont reflétées par une faible diminution dans la superficie cultivée, conduisant à une réduction du nombre de serres cultivées. Ce résultat est principalement dû à la rigidité de la fonction de demande de l'eau causée par un faible degré de substituabilité des cultures. Dans les deux cas mentionnés ci-dessus, les agriculteurs favorisent les cultures qui fournissent la plus grande valeur marginale par rapport au reste des cultures. En effet, nous constatons que la diminution de la superficie des cultures qui ont la plus faible valeur marginale est plus importante, quand le prix de l'eau augmente et lorsque les quotas deviennent plus restrictifs.

D'après le Tableau 6-4, le changement du prix de l'eau de 2 DZD/m³ à 12,5 DZD/m³, provoque une diminution de la superficie irriguée de 2,3 % et 1,5 % pour les exploitations types 1 et 2, respectivement. Lorsque le prix de l'eau atteint 22 DZD/m³, cette dernière diminue de 4,4 % et 2,9% pour les exploitations types 1 et 2, respectivement. Pour l'exploitation type 1, on remarque que la superficie des cultures sous serres (tomate et poivron) diminue légèrement lors de l'augmentent des prix de l'eau d'irrigation. La superficie de la tomate et du poivron cultivés sous serres diminue de seulement 5 %, lorsque les prix de l'eau passent de 2 DZD/m³ à 50 DZD/m³. En revanche, on remarque que la superficie des cultures de plein champ (en irrigué) diminue progressivement en raison de la baisse de leur rentabilité lorsque les prix de l'eau d'irrigation augmentent. Les superficies destinées à la culture de tomate en plein champ, pastèque et courgette ont été réduites d'environ 12 % pour le même scénario de prix. Enfin, contrairement aux autres cultures, la superficie du chou-fleur augmente proportionnellement avec le prix de l'eau et atteint + 16 % de la superficie au statu quo pour les prix de l'eau de 50 DZD/m³.

Tableau 6-4. Impact des différents scénarios de tarification de l'eau sur la répartition des cultures des exploitations types.

Prix de l'eau (DZD/m ³)	2		5		10		12,5		22		50	
	Surface (ha)	Surface	% Différence	Surface	% Diff.							
Cultures												
Exploitation type 1												
Chou-fleur	1,55	1,56	+0,9	1,59	+2,5	1,60	+3,4	1,65	+6,61	1,80	+16,1	
Tomate SS	0,26	0,26	-0,3	0,26	-0,9	0,26	-1,1	0,25	-2,23	0,25	-5,4	
Tomate PC	0,42	0,42	-0,6	0,41	-1,9	0,41	-2,5	0,4	-4,95	0,37	-12,1	
Piment	0,16	0,16	-0,3	0,16	-0,8	0,16	-1,1	0,16	-2,06	0,15	-5	
Pastèque	1,03	1,02	-0,6	1,01	-1,8	1,00	-2,4	0,98	-4,75	0,91	-11,6	
Courgette	0,48	0,48	-0,6	0,47	-1,9	0,47	-2,5	0,45	-4,93	0,42	-12	
Surface irriguée	2,35	2,33	-0,5	2,31	-1,7	2,29	-2,2	2,24	-4,7	2,1	-10,6	
Exploitation type 2												
Tomate	0,19	0,19	-0,3	0,18	-1	0,18	-1,4	0,18	-2,68	0,17	-6,5	
Piment	0,68	0,68	-0,4	0,67	-1,1	0,67	-1,5	0,66	-2,93	0,63	-7,1	
Fraise	0,08	0,08	-0,3	0,08	-0,9	0,08	-1,1	0,08	-2,23	0,08	-5,4	
Concombre	0,08	0,08	-0,5	0,08	-1,4	0,08	-1,9	0,08	-3,65	0,07	-8,9	
Surface irriguée	1,03	1,03	-0,4	1,02	-1,1	1,01	-1,5	0,99	-2,9	0,95	-7	

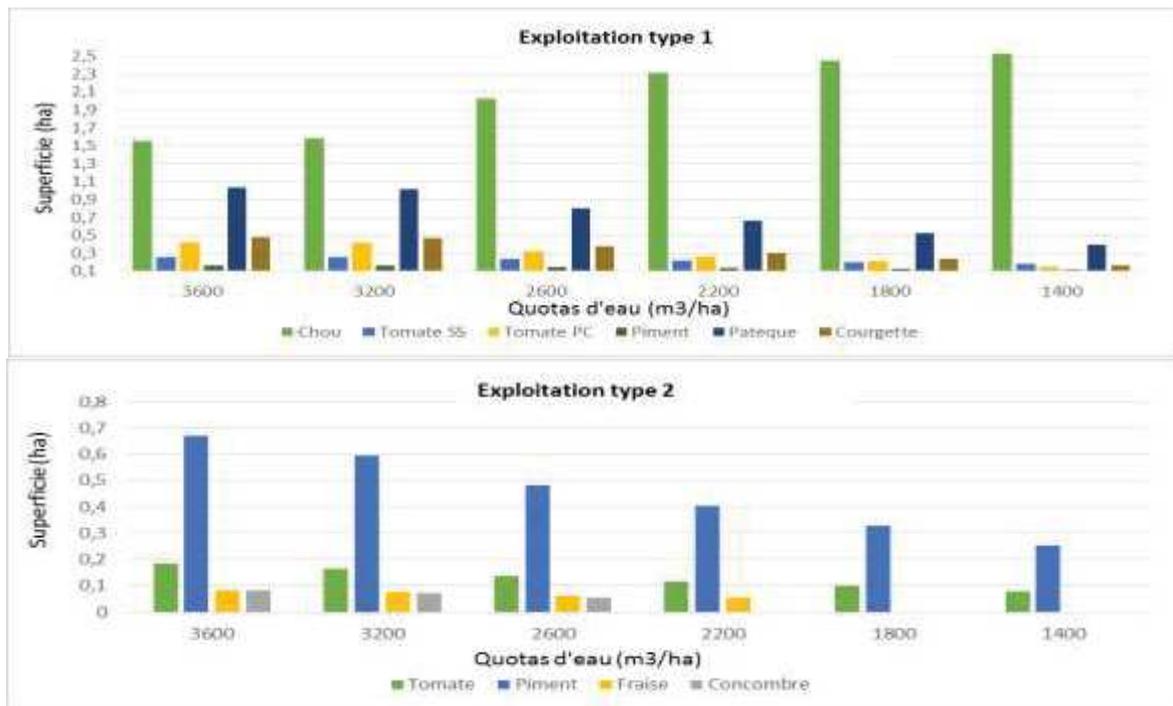


Figure 6-2. Impact des différents scénarios de quotas d'eau sur la répartition des cultures des exploitations types (exploitation type 1 en haut, exploitation type 2 en bas).

Pour le cas des scénarios de quotas (Figure 6-2), nous avons constaté que des quotas d'eau contraignants provoquent de grands changements dans l'allocation des cultures, en particulier pour l'exploitation type 1. Les superficies des cultures de plein champ (tomate, melon et courgette) sont les premières à être réduites (ou même éliminées), elles sont substituées en retour par le chou-fleur. Toutefois, pour l'exploitation type 2, on remarque une forte diminution dans la superficie irriguée avec des différences nettes entre les cultures. Comme nous l'avons démontré pour la tarification de l'eau, la superficie de certaines cultures baisse plus rapidement que d'autres lorsque la disponibilité de l'eau diminue. Par exemple, les agriculteurs cessent de cultiver le concombre sous un quota de 2400 m³/ha parce qu'elle est devenue moins rentable que les autres cultures. Dans cette situation, il est préférable de cultiver de la tomate et du piment parce qu'elles engendrent une meilleure valeur marginale.

6.3.4. Impact de la tarification et des quotas sur la demande en eau.

La simulation des différents scénarios de tarification de l'eau à l'aide du modèle FMIPA a généré des fonctions de demande d'eau pour les deux exploitations types sélectionnées (Figure 6-3). Les résultats montrent que les fonctions de demande en eau sont inélastiques pour les deux exploitations types. L'exploitation type 1 est cependant légèrement plus sensible que l'exploitation type 2 (la consommation d'eau diminue en moyenne par 72 m³/ha (2,2 %) et 53

m^3/ha (1,5 %) pour les exploitations type 1 et 2, respectivement, quand le prix de l'eau passe de 2 à 12,5 DZD/ m^3). Dans ce cas, nous pouvons dire que la fonction de demande est inélastique.

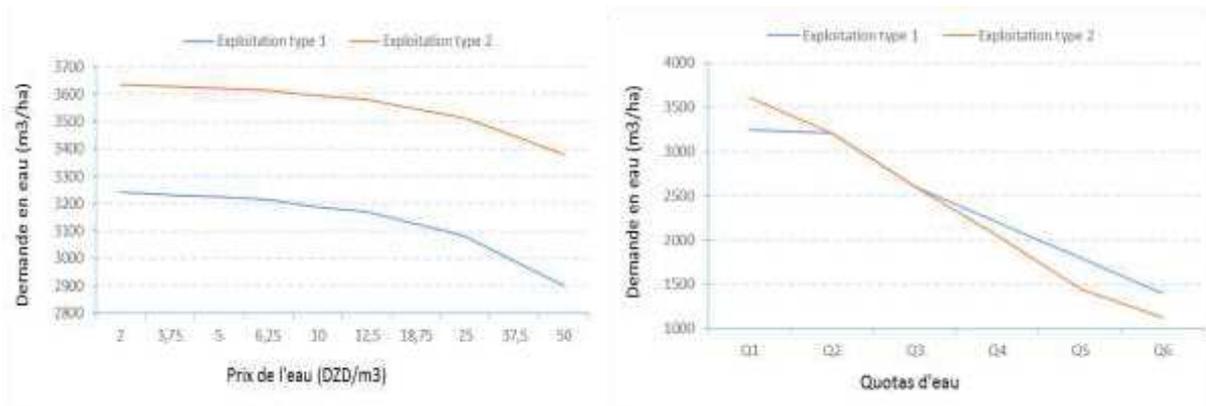


Figure 6-3. Impact de différents scénarios de prix de l'eau et des quotas sur la demande en eau dans les deux types d'exploitations agricoles.

Au-delà du prix de 12,5 DZD/ m^3 , la fonction de demande en eau devient plus sensible aux changements des prix de l'eau d'irrigation (Figure 6-3). La réponse des agriculteurs à l'augmentation des prix de l'eau se matérialise par le changement graduel de la répartition des cultures tout en réduisant graduellement la demande en eau. Des prix de l'eau atteignant 22 DZD/ m^3 et 50 DZD/ m^3 , provoquent une diminution importante de la demande en eau d'irrigation. Elle atteint en moyenne -140 m^3/ha (4,3 %) et -342 m^3/ha (10,5 %) pour l'exploitation type 1 et une réduction moyenne de -104 m^3/ha (2,9 %) et -253 m^3/ha (7 %) pour l'exploitation type 2, respectivement, pour les mêmes scénarios de prix.

6.3.5. Impact des différents scénarios sur les performances économiques et sociales.

La réduction de la marge brute des agriculteurs en raison de l'augmentation du prix de l'eau est le résultat de deux phénomènes qui se produisent simultanément. Le premier concerne la modification des pratiques culturales. Cela inclut la diminution de la superficie des cultures irriguées et la substitution des cultures à forte valeur ajoutée avec d'autres cultures moins consommatrices en eau, mais ayant une plus faible valeur ajoutée. Le deuxième correspond à l'augmentation des coûts de production globale en raison de l'augmentation des charges liées à l'eau d'irrigation.

D'après la Figure 6-4, les résultats montrent que la marge brute de l'exploitation type 1 est plus affectée par la hausse des prix de l'eau que celle de l'exploitation type 2. Lorsque le prix de l'eau augmente de 2 DZD/ m^3 à 12,5 DZD/ m^3 , les pertes au niveau de la marge brute sont

relativement faibles, elles sont de l'ordre de -3,6 % et -2,9 % pour l'exploitation type 1 et 2, respectivement. En revanche, au-delà de 12,5 DZD/m³, les pertes de la marge brute deviennent plus importantes et atteignent -7% et -5,6% lorsque le prix de l'eau est de 22 DZD/m³, et -16,4 % et -13,3 % quand le prix appliqué est de 50 DZD/m³, pour les exploitations types 1 et 2, respectivement.

La différence entre les deux exploitations types s'explique par la différence de l'élasticité de la demande en eau. En effet, l'exploitation type 2 a une demande en eau plus rigide et subit, de ce fait, peu de changement dans la distribution des cultures. En d'autres termes, les agriculteurs les moins touchés par l'augmentation du tarif de l'eau sont ceux qui valorisent le mieux l'eau.

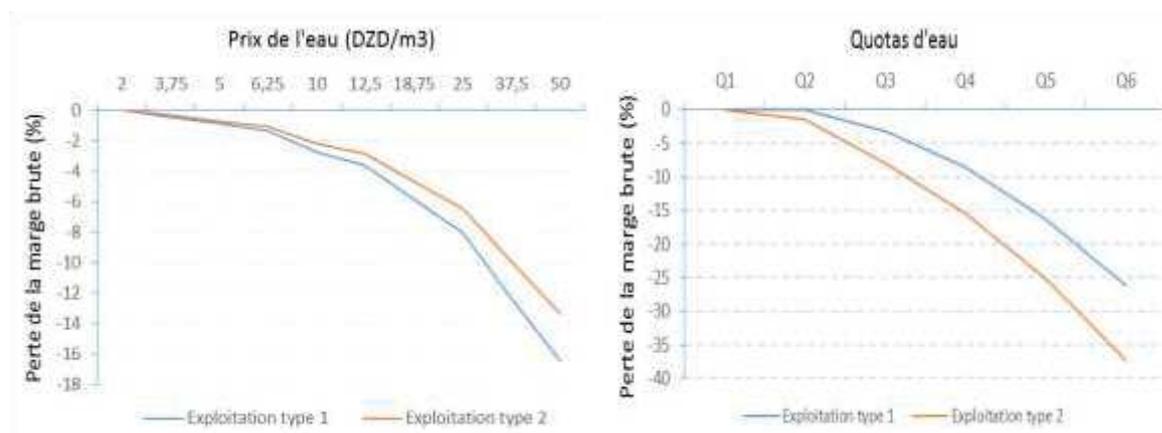


Figure 6-4. Impact des différents scénarios de prix et de quotas d'eau sur la marge brute des deux exploitations types.

La réduction des quotas d'eau a un effet négatif sur la marge brute. D'après les résultats (Figure 6-4), lorsque les quotas d'eau diminuent, les conséquences sur la marge brute de l'exploitation type 2 sont plus importantes par rapport à l'exploitation type 1. Pour des quotas d'eau de 3000 m³/ha, la marge brute des exploitations types 1 et 2 a diminué de 0,5% et 3%, respectivement. Toutefois, pour un quota en eau de 2600 m³/ha, la marge brute diminue de 3,2 % et 8% pour les exploitations type 1 et 2, respectivement. La baisse de la marge brute atteint 12 % et 20 % pour un quota de 2000 m³/ha pour les exploitations type 1 et 2, respectivement.

Pour ce qui est de la main-d'œuvre, l'impact des différents scénarios de tarification de l'eau sur la demande de cette dernière est proportionnel à la superficie cultivée et à la demande en eau. Selon la Figure 6-5, qui représente les résultats de la simulation de l'impact de la tarification de l'eau et des quotas d'eau sur la main-d'œuvre, nous observons que les courbes ont la même tendance que la demande en eau. Toutefois, nous constatons que l'exploitation type 1 est moins affectée que l'exploitation type 2. Lorsque le prix de l'eau passe de 2 à 12,5 puis à 22 et enfin

à 50 DZD/m³, la demande en main-d'œuvre est réduite de 11, 21 et 53 jours/exploitation/an, respectivement, pour l'exploitation type 1. La demande en main-d'œuvre de l'exploitation type 2 diminue de 17, 36 et 83 jours/exploitation/an, respectivement pour les mêmes scénarios de prix. L'impact sur cette dernière est plus important, et cela est dû à la diminution de la superficie cultivée. Cet impact plus prononcé s'explique aussi par le fait que les cultures qui consomment le plus d'eau sont celles qui consomment le plus de main-d'œuvre. Des recherches similaires menées par Chebil et al. (2010) ; Aidam (2015) ont démontré l'existence d'un lien étroit entre l'augmentation du prix de l'eau et la diminution de la main-d'œuvre.

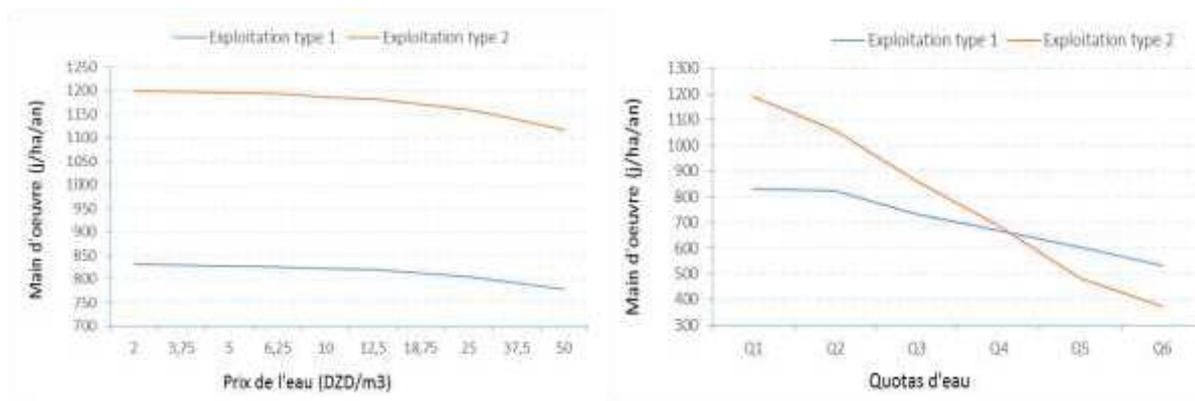


Figure 6-5. Effet des différents scénarios de tarifications et de quotas d'eau sur la demande en main-d'œuvre dans les deux exploitations types.

La Figure 6-5 illustre aussi l'impact des différents quotas d'eau sur la demande en main-d'œuvre. Pour l'exploitation type 1, la demande en main-d'œuvre diminue de 6 jours/exploitation/an lorsque le quota d'eau est égal à 3200 m³/ha. Quand les quotas en eau diminuent jusqu'à 3000 m³/ha et 2400 m³/ha, la demande en main-d'œuvre diminue de 37 jours/exploitation/an et 130 jours/exploitation/an, respectivement. Pour l'exploitation type 2, les quotas d'eau de 3200, 3000 et 2400 m³/ha provoquent une diminution de la demande en main-d'œuvre de 140, 208 et 455 jours/exploitation/an, respectivement. Il est donc clair que les répercussions sociales en raison de l'application des quotas d'eau dans la zone d'étude peuvent être très négatives, en particulier sur l'emploi.

Enfin, nous avons trouvé une diminution de l'utilisation des engrais suite à l'augmentation des prix de l'eau et à la diminution des quotas d'eau. Comme pour le cas de la demande en main-d'œuvre, les quantités d'engrais utilisées sont étroitement liées à la quantité d'eau utilisée. En effet, les cultures les plus exigeantes en eau sont celles qui consomment également le plus d'engrais. La réduction globale de l'utilisation d'engrais dans la zone d'étude a certainement un impact positif sur l'environnement. Il permet de réduire la pollution des eaux souterraines et

de réduire l'impact négatif sur la structure du sol ainsi que la prévention contre le phénomène de salinisation.

6.4. Discussion.

Les résultats issus de la simulation de l'effet des différents instruments institutionnels de gestion de l'eau d'irrigation en Algérie ont révélé certains résultats pertinents qui ont des implications politiques importantes. Les résultats montrent une faible réduction de la demande en eau et de la marge brute des exploitations agricoles lorsque le prix de l'eau se situe entre 2 et 12,5 DZD/m³. Cette constatation n'est pas surprenante puisque les frais de l'eau ne représentent qu'une petite partie des coûts de production dans l'ensemble des exploitations types étudiées. En effet, si le prix de l'eau est de 12,5 DZD/m³, la part des coûts de l'eau dans les coûts variables des deux exploitations types 1 et 2 est de 6,3% et 7%, respectivement. Ces résultats sont également conformes aux attentes théoriques. Les résultats obtenus par Aidam (2015) dans la région de la "Volta basin" au Ghana montrent que le changement dans le comportement des agriculteurs est négligeable face à l'augmentation du prix de l'eau de 0 à 0,503 USD/m³ (ce dernier est l'équivalent de 55 DZD/m³). Selon le même auteur, à ce prix, les agriculteurs maintiennent la même allocation des cultures. D'autres auteurs, comme Mouhouche et Guemraoui (2004) ; Benblidia et Thivet (2010), estiment qu'une part (de l'eau par rapport aux dépenses) inférieure à 10% est trop faible pour encourager les agriculteurs à utiliser l'eau d'une manière rationnelle et ne permet pas de baisser significativement la consommation d'eau par les agriculteurs.

L'implication de ces résultats est que la stratégie de tarification de l'eau, appliquée seule, n'aidera pas les autorités algériennes à réduire la consommation d'eau d'irrigation, du moins dans la zone d'étude. Cette hausse des prix pourrait toutefois réduire les dépenses des organismes publics de l'eau ce qui permet d'augmenter leurs capacités d'investissement pour la modernisation des systèmes d'irrigation par exemple. Donc, pour aboutir à des changements dans les pratiques des agriculteurs et atteindre une meilleure gestion de la demande en eau d'irrigation, d'autres mécanismes de politique devraient également être étudiés et examinés en parallèle avec une stratégie de tarification bien élaborée.

Les résultats montrent également que la réponse des agriculteurs à l'augmentation du prix de l'eau d'irrigation est différente entre les deux exploitations types. En effet, l'élasticité de la demande en eau pour les exploitations agricoles pratiquant des cultures sous serres à forte valeur ajoutée est plus rigide que le deuxième type d'exploitations, considérées comme moins

intensives. Ceci s'explique par la différence dans le rendement marginal de l'eau entre les deux types d'exploitations, qui est lié à son tour à la différence de productivité de l'eau dans les deux types d'exploitations agricoles. Lors de l'augmentation des prix de l'eau, les pratiques des agriculteurs les plus performants sont moins influencées. Ces derniers continuent de cultiver les mêmes cultures et les mêmes superficies (même nombre de serres). Cela signifie aussi que les agriculteurs les plus efficaces ont de meilleures capacités à payer l'eau plus cher. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Frija et al. (2011) et Gomez-Limon et Riesgo (2004), qui ont trouvé que la tarification de l'eau affecte en particulier et de manière significative les agriculteurs les moins efficaces. Ces agriculteurs sont contraints de consommer moins d'eau en changeant leur rotation tout en privilégiant des cultures plus rentables. En outre, Varela-Ortega et al. (1998), dans leur analyse concernant la relation élasticité-prix de la demande en eau dans trois régions d'Espagne, concluent que l'impact de l'augmentation des charges de l'eau est beaucoup plus important dans certains périmètres irrigués où les performances techniques sont plus faibles. Par conséquent, nous concluons que les capacités techniques et la modernisation dans une zone irriguée a également un effet majeur sur les réponses des agriculteurs à l'augmentation des prix de l'eau.

En ce qui concerne les scénarios de quotas d'eau, les résultats montrent que cet instrument peut conduire à de fortes diminutions des superficies irriguées et à des pertes dans la marge brute des agriculteurs, lorsque le quota d'eau est très restrictif (quotas inférieurs ou égaux à 2600 m³/ha). Cependant, comme pour les scénarios de tarification de l'eau, cette perte n'évolue pas uniformément pour les deux exploitations types. La perte est effectivement plus importante dans les exploitations spécialisées cultivant des cultures intensives sous serres (exploitation type 2) plutôt que dans les exploitations plus diversifiées (exploitation type 1). Ces résultats concordent avec ceux obtenus par El Amami et al. (2013) dans une étude menée dans la plaine de Kairouan en Tunisie. Par conséquent, d'autres politiques complémentaires et incitatives pour l'adoption des technologies économes en eau pourraient servir à induire une utilisation plus efficace de l'eau d'irrigation et de limiter les effets négatifs sur les petits agriculteurs. Le marché de l'eau comme complément aux politiques de quotas d'eau peut être aussi une autre option politique qui permet une répartition efficace des ressources en eau auprès des agriculteurs.

6.5. Conclusion.

La gestion des ressources en eau en Algérie basée sur l'offre et la subvention de la ressource a montré ses limites. En effet, la viabilité financière du secteur de l'eau est menacée, surtout avec

les déficits actuels du budget de l'État en raison de la chute du prix du pétrole. De plus, l'augmentation de la demande en eau en raison de la croissance démographique et de l'urbanisation met plus de pression sur la ressource. Les futures réformes concernant la gestion de la ressource en eau doivent, de ce fait, prendre en compte ces contraintes en concevant des politiques de l'eau efficaces, et qui peuvent être facilement appliquées et acceptées. Les politiques de l'eau devraient également permettre un recouvrement des coûts (complet ou partiel) ainsi que l'équité entre les différents utilisateurs, secteurs, et régions.

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à l'étude des conséquences hydrologiques et économiques de plusieurs politiques de l'eau sur les agriculteurs de la région d'étude. Nous avons appliqué un modèle d'optimisation mathématique pour simuler une augmentation du tarif de l'eau ainsi que l'imposition de quotas d'eau. Les résultats ont montré que la politique de tarification de l'eau, si elle est appliquée comme un instrument unique, ne peut réduire la demande en eau que lorsque le prix augmente sensiblement et affecte la marge brute des agriculteurs. Nous concluons donc que, pour notre cas, la tarification de l'eau ne représente pas un outil de gestion de la demande en eau, mais plutôt un outil pour financer les infrastructures et de réduire la part des subventions de l'État. Cependant, nous recommandons un prix de l'eau entre 5 et 12,5 DZD/m³ qui, selon nous, est une bonne approximation pour de futurs scénarios de prix de l'eau afin de couvrir une partie des coûts des services de l'eau et afin de rendre les agriculteurs conscients de la rareté de l'eau.

Les résultats montrent aussi une différence d'élasticité de la demande en eau entre les agriculteurs selon leur valorisation respective de la ressource en eau. Les exploitations les plus efficaces ont une demande plus rigide par rapport à ceux qui sont moins efficaces. Ils sont donc en mesure de payer l'eau plus cher. La demande en eau des exploitations moins efficaces est plus élastique, et l'augmentation du prix de l'eau aura un impact plus important sur leur marge brute. En effet, ces exploitations seront obligées de s'orienter vers des cultures moins consommatrices d'eau, mais avec une plus faible valeur ajoutée. Pour cette raison, cette politique doit être combinée avec d'autres mesures pour aider les agriculteurs à améliorer leur efficacité et à réduire la consommation d'eau. Nous recommandons qu'il y ait plus de vulgarisation afin d'améliorer les connaissances des agriculteurs ainsi que la subvention des technologies de production (comme les serres) et d'économie d'eau.

Concernant la politique de quotas, les résultats ont montré que cette politique conduit à une diminution des superficies irriguées et à un changement dans le choix des cultures pratiquées.

Cette stratégie affecte considérablement la marge brute des agriculteurs sous des quotas de 2600 m³/ha. Cependant, ces pertes ne sont pas homogènes pour les différents types d'exploitations. Les exploitations agricoles orientées vers des cultures à forte valeur ajoutée sont les plus touchées. Par conséquent, pour s'assurer que la ressource soit allouée d'une manière plus équitable, la mise en place d'un marché de l'eau peut avoir un impact positif. Enfin, malgré son effet sur la diminution des revenus, cette politique de quotas doit être appliquée dans la zone d'étude, car elle fournit une source d'eau transférable vers d'autres régions où la pénurie d'eau est plus grave.

Chapitre 7 . Effet de l'utilisation des technologies d'économie d'eau sur la productivité des exploitations agricoles²⁹.

7.1. Introduction.

Outre la tarification de l'eau d'irrigation, l'état a aussi fourni des incitations et subventions pour l'adoption des Technologies d'Economie d'Eau (TEE), y compris le système goutte à goutte et l'aspersion. Ces dernières sont généralement considérées comme une solution afin de réduire le gaspillage d'eau et d'améliorer sa productivité (Sanz, 1999 ; Evans et Sadler, 2008 ; WssTPC, 2012). Selon Omari (2017), l'utilisation de ces TEE permettra d'épargner quelque 2 milliards de m³ d'eau. Ce volume d'eau économisé peut irriguer entre 200.000 à 300.000 hectares jusqu'en 2020. L'extension de la superficie irriguée contribuera alors à l'amélioration de la production dans le but de consolider la sécurité alimentaire. D'autres auteurs, tels que Akli et Bédrani (2011), ont estimé que le remplacement de l'irrigation gravitaire par le système goutte à goutte dans le périmètre irrigué de la Mitidja peut conduire à réduire la consommation en eau de 39%.

Actuellement, le défi pour le secteur agricole est devenu considérable, il doit nourrir une population toujours plus nombreuse tout en limitant sa consommation d'eau afin que cette ressource demeure accessible de façon durable à l'ensemble de la société. Le secteur agricole doit donc s'adapter afin de faire face à la baisse des volumes d'eau disponibles pour l'irrigation tout en produisant plus (Evans et Sadler, 2008). Par conséquent, les augmentations futures de la production irriguée doivent provenir de l'amélioration de la productivité des exploitations agricoles.

Dans cette logique, l'objectif de ce chapitre est de savoir si l'utilisation des TEE permet d'atteindre l'objectif d'accroître la productivité et de réduire la consommation d'eau. Par conséquent, dans ce chapitre, nous allons estimer le gain économique engendré par l'utilisation des TEE. En premier lieu, nous allons faire une comparaison de certains indicateurs économiques entre les agriculteurs utilisant les TEE, en particulier le système goutte à goutte, et les agriculteurs pratiquant l'irrigation à la raie. Par la suite, nous allons estimer la croissance

²⁹ Une partie de ce chapitre a été soumise en tant que :

Oulmane A., Chebil A., Frija A., et Brabez F. Effect of the use of water saving technologies on productivity in small horticultural farms in Algeria. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*.

de la production générée par l'amélioration de la technologie, puis estimer l'origine de cette croissance. L'indice Tornqvist-Thiel est utilisé pour la décomposition du différentiel dans la production.

Le reste du chapitre est organisé comme suit. La deuxième section présente un aperçu théorique sur le concept de productivité. La troisième partie présente l'approche méthodologique utilisée. La présentation et la discussion des résultats sont faites dans la quatrième partie.

7.2. Définition de la productivité totale des facteurs.

Dans la théorie économique élémentaire, la productivité est définie en fonction du niveau d'output produit par unité d'input utilisé dans le processus de production. La productivité peut être de deux natures : productivité partielle ou totale. La productivité partielle ou productivité apparente d'un facteur met en rapport la croissance de l'output avec le volume d'un seul input (SFP "Single Factor Productivity"). Cette croissance peut également être comparée avec le volume d'une partie des inputs, l'autre partie n'étant pas prise en compte (Raffarin, 1999). Au-delà du cas d'un seul output et d'un seul input, la définition et la mesure de la productivité deviennent plus complexes (Capalbo et Antle, 2015). Plus récemment, la recherche sur la productivité s'est intéressée aux mesures de la Productivité Totale des Facteurs (PTF) (ou TFP "Total Factor Productivity"). Cette approche consiste à comparer un indice des outputs agrégés à un indice d'inputs totaux agrégés (Sadoulet et De Janvry, 1995 ; Petrin et Levinsohn, 2012 ; Capalbo et Antle, 2015). Lorsque plusieurs intrants hétérogènes sont utilisés dans le processus de production, l'agrégation de ces intrants peut nécessiter l'utilisation d'indices de prix. Cela implique que la productivité peut être affectée par i) la variation des prix relatifs aux inputs et ii) par la quantité d'inputs par unité d'output (Kathuria et al. 2013).

Par définition, la croissance de la production agricole est généralement générée par la croissance de l'utilisation des intrants et par la croissance de la productivité totale des facteurs PTF. Par ailleurs, la croissance de la PTF est le résultat du changement technique et du changement d'efficacité (Nishimizu et Page, 1982 ; Kathuria et al. 2013 ; Chebil et al. 2016). Le changement technique est défini comme un décalage vers le haut de la frontière de fonction de production. Il correspond à un décalage de l'output maximal atteignable pour des niveaux d'entrée constants au fil du temps. L'amélioration de l'efficacité est toutefois définie comme la diminution de la distance entre les outputs actuels et atteignables, sans changement de la technologie de production. En d'autres termes, la croissance de la PTF est le changement

résiduel des niveaux de production qui n'est pas explicitement expliqué par les variations des niveaux d'intrants (Chebil et al. 2014 ; et Chebil et al. 2016).

7.3. Méthodologie.

7.3.1. Estimation de la croissance de la productivité totale des facteurs.

La mesure de la PTF peut être effectuée à l'aide d'approches "frontière" et/ou "non-frontière". Les approches non-frontière comprennent des méthodes de mesure de la croissance (ou des méthodes non paramétriques basées sur des indices) et des approches paramétriques économétriques. Les approches frontière comprennent la méthodologie non paramétrique de l'indice Malmquist et la méthode de la frontière de production stochastique, qui est une approche paramétrique. Parmi les méthodes d'indices, il y a l'indice Tornqvist-Theil, qui est une approximation de l'indice Divisia. Ce dernier sera utilisé dans ce chapitre pour estimer la croissance de la PTF. Cette approche considère le progrès technologique comme une mesure de la croissance de la PTF. La mesure de la croissance de la PTF basée sur cette approche est donnée comme suit:

$$TF\dot{P} = \dot{Y} - \dot{X} \quad (1)$$

Où

$$\dot{Y} = \sum_j \frac{P_j Y_j}{R} \dot{Y}_j \quad (2)$$

Et

$$\dot{X} = \sum_j \frac{W_i X_i}{C} \dot{X}_i \quad (3)$$

Ici, $TF\dot{P}$, \dot{X} et \dot{Y} représentent, respectivement, la croissance de la PTF, la croissance de l'input et de l'output. P_j et Y_j représentent, respectivement, le prix et la quantité de l'output j , \dot{Y}_j représente le taux de croissance proportionnel de l'output j , \dot{X}_i indique le taux de croissance proportionnel de l'input i , R désigne le revenu total, W_i et X_i représentent le prix et la quantité de l'intrant i , et C désigne le coût total.

Dans ce chapitre, la croissance de la PTF est calculée entre deux groupes d'agriculteurs (m et n). Les indices Tornqvist pour l'output, l'input et de la PTF peuvent être exprimés sous la forme logarithmique suivante (Chebil et al. 2014) :

Output index:

$$Ln \left(\frac{Q_m}{Q_n} \right) = \frac{1}{2} \sum_j (R_{j,m} + R_{j,n}) Ln \left(\frac{Q_{j,m}}{Q_{j,n}} \right) \quad (4)$$

Input index:

$$Ln \left(\frac{X_m}{X_n} \right) = \frac{1}{2} \sum_j (S_{j,m} + S_{j,n}) Ln \left(\frac{X_{j,m}}{X_{j,n}} \right) \quad (5)$$

TFP index:

$$\ln \left(\frac{TFP_m}{TFP_n} \right) = \ln \left(\frac{Q_m}{Q_n} \right) - \ln \left(\frac{X_m}{X_n} \right) \quad (6)$$

Où, R_{jm} est la part de l'output (j) dans le total du revenu du groupe (m), Q_{jm} est l'output (j) du groupe (m), S_{im} est la part de l'input (i) dans le coût total des inputs du groupe (m), et X_{it} est l'input (i) du groupe (m).

Pour la détermination des sources de la croissance de la PTF, et selon Kumbhaker (2003), nous avons décomposé la croissance de la PTF comme suit:

$$TFP\dot{P} = \sum_i s_i \dot{A}_i = \sum_i TFP\dot{P}_i \quad (7)$$

Où, \dot{A}_i est la différence de productivité partielle des inputs i , et s est le part des coûts de l'input i . Enfin, l'indice $TFP\dot{P}_i$ qui est la croissance de la productivité spécifique à l'input est utilisé pour obtenir la contribution de chaque input dans la croissance de la PTF.

7.3.2. Données utilisées.

Des données transversales de 60 producteurs de piments/poivrons et 54 producteurs de tomates ont été utilisées pour estimer l'effet des technologies d'économie d'eau sur la productivité des exploitations horticoles dans la zone d'étude. Ces deux cultures ont été choisies parce qu'elles représentent les deux cultures les plus répondues dans le périmètre étudié. Elles sont cultivées, respectivement, dans 65% et 58% des exploitations.

7.4. Résultats et discussion.

7.4.1. Comparaison des indicateurs économiques.

La comparaison des indicateurs économiques entre les deux groupes d'agriculteurs est présentée dans le Tableau 7-1. Nous avons utilisé l'analyse de la variance ANOVA pour mettre en évidence les variables responsables de la variabilité.

Les résultats de l'analyse descriptive montrent que l'utilisation des TEE peut conduire à une réduction du besoin en eau et en main-d'œuvre pour les cultures de piment et de tomate. A partir du Tableau 7-1, la différence entre les utilisateurs des TEE et les non-utilisateurs, en termes de quantité d'eau utilisée, est statistiquement significative au seuil de 1%. Cependant, nous notons que la valeur des engrais est plus élevée chez les utilisateurs des TEE. Cela peut s'expliquer par le fait que les agriculteurs utilisant le système d'irrigation goutte à goutte pratiquent la fertigation, et utilisent, par conséquent, les engrais hydrosolubles qui sont plus

chers que les engrais granulés (ces derniers sont utilisés par les agriculteurs qui irriguent à la raie).

Tableau 7-1. Comparaison des indicateurs économiques entre les agriculteurs utilisant les TEE et les agriculteurs utilisant l'irrigation gravitaire.

	Tomate			Piment			Moyenne	
	Goutte à goutte	Gravitai re	t- statistic	Goutte à goutte	Gravitai re	t- statistic	Goutte à goutte	Gravitai re
Eau (m³/ha)	3360	3840	.003**	3136	3520	.000**	3248	3680
Fertilisant (DZD/ha)	262608	228311	.030*	240544	212461	.001**	251576	220386
Main d'œuvre (DZD/ha)	803616	848000	.033*	719728	758304	.679	761672	803152
Coût Variable (DZD/ha)	1633616	1526400	.474	1509120	1460592	.122	1571368	1493496
Rendement (Kg/ha)	94208	83600	.014*	66560	59600	.044*		
Produit brut (DZD/ha)	2637824	2340800	.014*	2396160	2145600	.044*	2516992	2243200
Marge brute (DZD/ha)	1004208	814400	.032*	887040	685008	.004**	945624	749704
PE (DZD/m³)	785	610	.000**	764	610	.001**	775	610
VE (DZD/m³)	301	215	.000**	285	197	.000**	293	206

Note: Productivité de l'Eau (PE) = rendement/quantité d'eau prélevée; valeur de l'eau (VE) = (marge brute + valeur de l'eau prélevée)/quantité de l'eau prélevée. 100DZD ≈ 0.867 \$US. * Significatif à 5%, ** Significatif à 1%.

Les coûts variables moyens par hectare des utilisateurs de goutte à goutte sont de 1 633 mille et 1509 mille DZD/ha, ce qui est supérieur aux coûts variables des non-utilisateurs; 1526 mille et 1460 mille DZD/ha pour les producteurs de tomates et de piments, respectivement. Cependant, la différence entre les deux groupes d'exploitations n'est pas statistiquement significative.

Le rendement moyen des utilisateurs des TEE et des non-utilisateurs est de 94,2 et 83,6 T/ha pour la tomate, et de 66,6 et 59,6 T/ha pour le piment, respectivement. Le gain en rendement est d'environ 8,4 et 7 T/ha pour la tomate et le piment, respectivement. La différence est statistiquement significative à 1 et 5% pour ces mêmes cultures.

Les marges brutes obtenues par les utilisateurs des TEE et les non-utilisateurs sont, respectivement, de 1004 mille et 814 mille DZD/ha pour la tomate, et de 887 mille et 685 mille DZD/ha pour le piment. Ces résultats montrent que la différence de marge brute moyenne entre les utilisateurs des TEE et les non-utilisateurs est respectivement d'environ 23% pour la tomate (190 mille DZD/ha) et de 29% pour le piment (202 mille DZD/ha). La différence est statistiquement significative à 5% pour les deux cultures.

Les résultats du Tableau 7-1 montrent également que les utilisateurs du système goutte à goutte obtiennent une meilleure productivité et valorisent mieux la ressource en eau pour les deux cultures. En effet, les différences, en ce qui concerne la productivité de l'eau et la valeur de

l'eau, entre les utilisateurs des TEE et les non-utilisateurs, sont très significatives à 1% pour les deux cultures.

7.4.2. Calcul et décomposition de la croissance de l'output.

Les résultats du calcul de l'indice Tornqvist-Thiel de la PTF pour les producteurs de tomates et de piments dans la zone d'étude sont présentés au Tableau 7-2.

Tableau 7-2. Décomposition de la croissance de la production entre les utilisateurs de WST et les non-utilisateurs.

	Tomate	Piment	Moyenne
	Changement (%)		
Output	11,79	13,77	12,73
TFP	4,99	7,27	6,08
Semences	0,53	1,04	0,77
Fertilisants	0,38	1,09	0,72
Eau	0,14	0,14	0,14
Main d'œuvre	8,30	9,27	8,75
Autres dépenses	-4,36	-4,26	-4,31
Inputs	6,80	6,49	6,65
Semences	0	-0,38	-0,18
Fertilisants	2,17	1,88	2,03
Eau	-0,08	-0,06	-0,07
Main d'œuvre	-2,81	-2,59	-2,70
Autres dépenses	7,52	7,64	7,58

Selon le Tableau 7-2, nous remarquons que l'utilisation du système goutte à goutte permet d'augmenter la valeur de l'output produit. La croissance de l'output, calculée en comparant les utilisateurs du système goutte à goutte à ceux qui irriguent par le système gravitaire, est égale à 11,79% et 13,77% pour les productions de tomate et de piment, respectivement. En appliquant l'équation 4, nous avons pu décomposer la croissance de l'output en ses deux composantes (croissance de la PTF et augmentation de l'utilisation des intrants).

Le Tableau 7-2 montre que la croissance de la PTF contribue avec 4,99% et 7,27% à la croissance de la production de la tomate et du piment, respectivement. Selon la définition de la croissance de la PTF donnée par Nishimizu et page (1982), Kathuria et al. (2013), et Chebil et al. (2016), dans la section précédente, ce résultat nous indique que l'adoption des TEE améliore la production agricole de 6,08% en moyenne en utilisant la même quantité d'intrants.

L'équation 7, a été utilisée pour calculer la contribution de chaque intrant dans la croissance de la PTF. Selon le Tableau 7-2, les principaux intrants contribuant à la différence de la PTF entre les utilisateurs des TEE et les non-utilisateurs sont la semence (0,77%), les engrais et les pesticides (0,72%), l'eau (0,14%), la main-d'œuvre (8,75%) et les autres coûts (-4.31%).

Le Tableau 7-1 a montré que les utilisateurs de TEE ont des coûts variables plus élevés par rapport aux non-utilisateurs. Toutefois, selon le Tableau 7-2, cette valeur plus élevée d'intrants utilisés contribue à 6,80% et 6,49% dans la valeur de la croissance de la production de tomates et de piment, respectivement. La part de chaque intrant sur cette croissance de la production est en moyenne de -0,18% pour la semence, 2,03% pour les engrais et les pesticides, -0,07% pour l'eau, -2,70% pour le travail, et 7,52% pour les autres coûts. Les utilisateurs des TEE consomment moins d'eau et utilisent moins de main-d'œuvre, ceci explique les signes négatifs de ces deux variables. Ces résultats sont en adéquation avec le fait que les nouvelles technologies sont en général plus onéreuses que les pratiques traditionnelles, mais sont plus rentables (Seyoum et al. 1998 ; Chebil et al. 2014 ; Dhehibi et al. 2016).

7.5. Conclusion.

Le principal objectif de ce chapitre est d'évaluer l'impact de l'utilisation des technologies d'économie d'eau sur la demande en eau et sur la productivité dans les exploitations maraîchères de notre zone d'étude. Pour ce faire, nous avons comparé deux groupes d'agriculteurs utilisant différentes techniques d'irrigation, le premier groupe utilise le système d'irrigation goutte à goutte et le second groupe irrigue par système gravitaire. L'approche de l'indice Törnqvist a été utilisée pour calculer la croissance de la productivité totale des facteurs (PTF) induite par l'utilisation des technologies économes en eau (TEE), et pour estimer la contribution des différents intrants sur la croissance de l'output.

La comparaison des indicateurs économiques (consommation d'eau et d'engrais, rendement, produit brut, productivité de l'eau et valeur de l'eau) entre les utilisateurs des TEE et les non-utilisateurs montre que les différences sont statistiquement significatives au seuil de 5%. Les résultats montrent que la valeur de l'output augmenté, en moyenne, de 12,73% grâce à l'utilisation des TEE. Cette valeur est composée de 6,65% de gain généré par l'augmentation de l'utilisation des intrants et de 6,08% par rapport à la croissance de la PTF.

Actuellement, le pourcentage de la superficie irriguée par les TEE est encore assez faible. Cela signifie qu'il existe un grand potentiel pour le développement de WST en Algérie. Puisque nos résultats montrent que l'utilisation des TEE peut réduire la consommation d'eau, et influencer

positivement sur le rendement des cultures et sur la productivité de l'eau. Les résultats trouvés sont précieux pour les décideurs politiques, car ils éclairent le gain sur la production agricole dans les exploitations maraîchères en Algérie. De ce fait, les décideurs politiques devraient poursuivre leurs efforts pour promouvoir et étendre l'utilisation des TEE. L'augmentation de l'adoption de ces systèmes par les agriculteurs doit être encouragée par des programmes d'accès au crédit. Nous pensons également qu'il est important d'améliorer les services de vulgarisation et de formation technique. En effet, pour bénéficier de tous les avantages de l'adoption d'une technologie, le soutien technique aux agriculteurs est crucial.

Comme continuité à cette analyse, une recherche future sur l'identification des déterminants de l'adoption des TEE par les agriculteurs est appropriée. En effet, l'analyse des avantages économiques qui peuvent être obtenus grâce à l'utilisation des TEE ne fournit qu'une compréhension partielle des facteurs qui peuvent influencer la décision des agriculteurs à investir dans ces systèmes d'irrigation. L'analyse des déterminants de l'adoption peut ainsi fournir des renseignements supplémentaires aux décideurs pour des interventions plus ciblées. Finalement, des recherches plus poussées portant sur le potentiel impact économique des TEE à grande échelle (régionale et nationale) pourraient être envisagées.

Conclusion générale

Conclusion générale

La gestion de l'eau en Algérie est un enjeu majeur qui préoccupe depuis déjà longtemps les décideurs publics. Cette dernière a connu deux grandes phases. Une première phase de construction de toute une infrastructure hydraulique pour stocker, mobiliser et transférer la ressource en eau. Dans la deuxième phase et face à la limitation de la ressource en eau et l'augmentation rapide de sa demande, l'Etat algérien s'est penché sur la volonté d'appliquer des politiques visant à l'économie d'eau.

Actuellement, et comme nous l'avons démontré dans le chapitre 2, la ressource hydrique est soumise à une forte concurrence par les différents usages. L'agriculture, qui accapare plus de 62% des prélèvements en eau annuellement, serait de plus en plus touchée par cette concurrence. Ainsi, afin de maintenir la viabilité de ce secteur, il faudra que l'agriculture puisse assurer une meilleure utilisation de l'eau.

A partir d'une synthèse de la politique hydraulique de la gestion de l'eau adoptée en Algérie (Chapitre 3), nous avons constaté que certains instruments institutionnels de gestion de l'eau mis en œuvre à l'échelle nationale (notamment, la tarification), ne constituent pas des incitations pour l'économie d'eau. En effet, les politiques de l'eau, en Algérie, ne sont que partiellement mises sur la base de considération d'efficacité économique, par contre, ce sont les faits historiques, géographiques ou politiques qui dominent. Ceci peut s'expliquer par la volonté d'améliorer le revenu des agriculteurs et la création d'emplois pour limiter l'exode rurale.

L'objectif global de cette thèse est de fournir un support scientifique aux décideurs politiques dans le but d'améliorer la gestion de l'eau au niveau des périmètres irrigués en Algérie. L'accent a été mis sur l'impact des instruments économiques et des changements institutionnels dans la réalisation de trois objectifs fondamentaux, à savoir l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau, contrôler et réduire la demande en eau, et l'améliorer la productivité. Les analyses ont été fondées sur le cadre conceptuel élaboré dans le chapitre 1. Plusieurs outils et analyses techniques ont donc été développés pour évaluer l'impact des instruments institutionnels sur les performances des exploitations.

Pour tenir compte des objectifs précédemment cités, nous avons divisé notre analyse empirique en trois chapitres. Dans le premier, nous avons évalué, comparé, et expliqué les niveaux

d'efficacité technique et celle de l'utilisation de l'eau, discuter des possibilités d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau au niveau des exploitations du périmètre irrigué Jijel-Taher, et simuler l'impact d'une politique de quota d'eau sur l'efficacité d'usage de l'eau. Pour cela, nous avons effectué des mesures de l'efficacité technique pour un échantillon de 93 exploitations maraîchères du périmètre irrigué. En se basant sur la littérature, l'approche non-paramétrique a été choisie pour effectuer les mesures des scores d'efficacité. La méthode 'Data envelopment analysis (DEA)' proposée dans cette étude permet de comparer les individus par rapport à une frontière de production représentée par les producteurs les plus efficaces. Cette étape nous permet d'obtenir des informations sur le potentiel d'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau. Par ailleurs, et afin de ressortir les facteurs qui affectent cette efficacité, nous avons effectué une régression économétrique (Tobit) des niveaux d'efficacité obtenus par rapport à certains facteurs socioéconomiques susceptibles de les affecter. Une fois les niveaux d'efficacité d'utilisation de l'eau et la manière de les améliorer est étudiée, l'objectif du second chapitre est de simuler l'impact de certaines politiques de gestion de la demande en eau, notamment, la tarification et les quotas d'eau, sur le comportement des agriculteurs en appliquant la méthode de 'programmation mathématique positive (PMP)'. Deux types de scénarios ont été simulés, à savoir, l'augmentation des prix volumétriques de l'eau d'irrigation, et la diminution des quotas d'eau alloués aux agriculteurs. Enfin, et en plus de l'implémentation d'instruments économiques, l'état a aussi encouragé l'adoption de techniques d'économie d'eau à travers les subventions. Ainsi, l'objectif du troisième chapitre, est d'estimer le gain en productivité dû à l'introduction de techniques économes en eau, dont le goutte à goutte, au niveau des exploitations maraîchères de la région d'étude. L'index Tornqvist-Thiel a été utilisé pour estimer la croissance de la productivité totale des facteurs.

Les principaux résultats de cette thèse sont résumés comme suit :

- Efficacité d'utilisation de l'eau et ses déterminants

L'analyse de l'efficacité des exploitations maraîchères de la zone d'étude (chapitre 5) a montré que les scores d'efficacité technique et ceux de l'utilisation de l'eau sont faibles. L'efficacité technique globale moyenne pour la spécification 'variable return to scale' est de 0,79, tandis que sous la même spécification, l'efficacité moyenne de l'utilisation de l'eau n'est que de 0,61. Ces faibles scores d'efficacité d'utilisation de l'eau indiquent qu'en améliorant l'efficacité de l'utilisation de l'eau, des économies considérables (jusqu'à 39%) sont possibles, et ce, sans affecter la production des exploitations. Nous avons aussi démontré que la réduction des quotas

d'eau allouée aux agriculteurs permet une amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau. En effet, il s'avère à partir de nos résultats qu'un quota de 2500 m³/ha, permettrait un gain d'efficacité d'utilisation de l'eau de l'ordre de 15% dans la région d'étude.

Les résultats de la régression Tobit montrent que le nombre de cultures, le choix des cultures (sous serre ou de plein champ), le type de financement, le niveau d'éducation, l'assistance technique, le type de commercialisation, et la présence de plusieurs sources d'eau ont un impact significatif sur l'efficacité d'utilisation de l'eau. Ce résultat peut être utile pour les décideurs et les services de vulgarisation afin de mieux cibler leurs efforts visant à améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau. D'après ces résultats, nous suggérons l'encouragement de la pratique des cultures sous serres en facilitant l'obtention des subventions nécessaires à la reconversion vers ces techniques de production modernes. En effet, en plus d'améliorer le revenu des agriculteurs ceci permet d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau. Nous suggérons aussi un meilleur service d'assistance technique et de formation en irrigation pour promouvoir une meilleure utilisation de la ressource par les agriculteurs.

- Politique de tarification et de quota d'eau et la réduction de la demande en eau

La tarification de l'eau d'irrigation est l'instrument institutionnel le plus important afin de gérer la demande en eau et garantir la viabilité des périmètres irrigués. Cependant, à l'instar de Taabni et El Jihad (2012), nous avons conclu, dans le chapitre 6, que le prix unitaire de l'eau d'irrigation en Algérie est assez faible et qu'il n'incite pas à l'économie d'eau au niveau de l'exploitation.

Lors de l'application du modèle de simulation des politiques de gestion de l'eau sur les deux types d'exploitations ressortis à l'aide de l'ACP (Chapitre 4), nous avons constaté que les agriculteurs ne réagissent pas ou très peu à des prix de l'eau relativement bas. En effet, quand le prix de l'eau passe de 2 à 12,5 DZD/m³, la consommation d'eau diminue en moyenne par 72 m³/ha (2,2%), et mène à une diminution de la marge brute de 3,6%. Cependant, lorsque le tarif de l'eau augmente sensiblement (au-delà de 12,5 DZD/m³), il affecte la marge brute des agriculteurs et conduit à une baisse de la demande en eau. Des prix de l'eau atteignant 22 DZD/m³ et 50 DZD/m³, provoquent une diminution de la marge brute de l'ordre de 7% et 16,4%, et conduisent à une diminution de la demande en eau de -140 m³/ha (4,3 %) et de -342 m³/ha (10,5 %). La tarification de l'eau, dans notre cas d'étude, ne permet donc pas d'atteindre l'objectif de baisser la demande en eau que lorsque le tarif de cette ressource atteint un niveau où il affecte la marge brute des agriculteurs.

Cette étude de l'impact de la tarification de l'eau suggère des réponses au dilemme dont fait face l'Algérie : augmenter les tarifs de l'eau ou bien continuer de la subventionner. Notre étude a démontré que l'introduction de nouveaux tarifs de l'eau permettent la suppression partielle des subventions relatives à l'eau d'irrigation et ainsi rendre les infrastructures économiquement plus viables, ceci, sans avoir de répercussions graves sur les agriculteurs. Un prix unitaire compris entre 5 et 12,5 DZD/m³ d'eau constitue, à notre sens, un compromis entre les objectifs de réduction des subventions et les objectifs sociaux (maintien et viabilité des exploitations agricoles).

Les résultats montrent également que la réponse des agriculteurs face à l'augmentation du prix de l'eau d'irrigation est différente d'un type d'exploitation à un autre. En effet, l'élasticité de la demande en eau pour les exploitations agricoles pratiquant des cultures sous serres à forte valeur ajoutée est plus rigide par rapport au deuxième type d'exploitations, considérées comme moins intensives. Cela signifie aussi que les agriculteurs les plus efficaces peuvent payer l'eau plus cher. Ce résultat vient appuyer la première conclusion qui suggère la facilitation de la reconversion vers ce type de cultures.

En ce qui concerne les scénarios de quotas d'eau, les résultats montrent que cet instrument peut conduire à de fortes diminutions des superficies irriguées et à des pertes dans la marge brute des agriculteurs lorsque le quota d'eau est très restrictif (au-dessous de 2600 m³/ha). Au-dessous de ce seuil, les pertes au niveau de la marge brute des exploitations agricoles dépassent 8%. Il n'est donc pas surprenant que l'introduction de cette politique de l'eau puisse être problématique pour ces agriculteurs et que certains aient même à abandonner l'agriculture.

Les simulations ont montré que cette politique de quota, comme pour la tarification de l'eau, incite les agriculteurs à se convertir vers un modèle de culture moins consommateur d'eau et d'intrants, tout en privilégiant les cultures les plus valorisantes. En effet, nous avons constaté que la superficie des cultures à faible valeur ajoutée diminue relativement plus vite par rapport aux cultures qui fournissent une plus grande valeur ajoutée.

Les résultats montrent aussi que la marge brute des petites exploitations sera affectée plus sévèrement par les politiques de quotas d'eau. La viabilité de ces petits agriculteurs qui sont généralement plus limités en termes de superficie sera fortement menacée lors de la diminution des quotas d'eau si leur efficacité technique et celle de l'utilisation de l'eau ne sont pas améliorées.

Au final, nous recommandons que ces instruments économiques de gestion de la demande doivent être combinés avec d'autres mesures pour aider les agriculteurs à améliorer leur efficacité et à réduire la consommation d'eau, citant à titre d'exemple la subvention des technologies d'économie d'eau. Ces dernières, si elles sont bien mises en place, permettent de préserver la même production et consommer moins d'eau.

- Technologies d'économie d'eau et amélioration de la productivité

Comme démontré dans le chapitre 7, la reconversion des agriculteurs vers les technologies économes en eau permet une diminution de la consommation en eau par culture, et une amélioration du rendement et de la productivité totale des facteurs et celle de l'eau. En plus, bien que les dépenses pour acquérir ces technologies soient importantes, notre analyse a indiqué qu'elles permettent d'obtenir un gain statistiquement significatif dans la marge brute. Dans l'optique d'atteindre l'objectif d'autosuffisance alimentaire, arriver à une meilleure productivité est intéressant dans le sens où cet indicateur démontre la possibilité de produire plus avec la même quantité d'eau. Dans une autre logique, l'amélioration de la productivité et du revenu des agriculteurs améliore leur capacité à payer l'eau plus cher et donc de permettre aux pouvoirs publics d'augmenter les tarifs de l'eau.

Pour finir, nous pensons que le pouvoir public devrait poursuivre ses efforts pour promouvoir et étendre ces technologies d'économie d'eau, car ceci aura un impact positif, non seulement sur l'économie d'eau, mais aussi sur la compétitivité globale de l'agriculture algérienne.

D'autres études sont nécessaires afin d'étudier les déterminants de l'adoption et des contraintes limitant l'accès aux technologies d'économie d'eau. Par exemple, l'adoption des nouvelles technologies d'irrigation est encore limitée et que c'est principalement dû au coût élevé de l'investissement (faible taux de la subvention comparé à la Tunisie 60% et le Maroc 50%), mais aussi à la difficulté d'accès aux subventions (Salhi et Bédrani, 2007 ; Imache et al. 2011 ; Salhi et al. 2012). Les locataires, par exemple, ne sont pas reconnus comme éligibles à ces subventions par les administrations et n'ont donc pas accès aux intrants subventionnés et aux crédits bancaires. Par conséquent, et pour stimuler l'adoption de ces technologies, il serait indispensable que l'Etat octroie des subventions à des taux plus élevés et facilite l'accès au crédit.

Pour conclure, il est clair que l'Algérie peut bénéficier beaucoup en termes d'économie d'eau d'irrigation et d'amélioration de la compétitivité des produits agricoles irrigués. Ceci est possible si elle recourt à un nouveau paradigme de gestion de la demande en eau. Ce dernier

devra être basé sur des institutions performantes et cohérentes avec les objectifs nationaux et qui prennent en considération les défis futurs pour assurer la durabilité de cette ressource.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abu-Zeid M., 2001. Water pricing in irrigated agriculture. *International Journal of Water Resources Development*, 17(4), 527-538.
- Adelman I., and Head T.F., 1983. Promising developments for conceptualizing and modeling institutional change, working paper no. 259, Gianni Foundation, University of California at Berkeley, Berkeley, CA.
- Adusumilli N.C., Rister M.E., Lacewell R.D., 2011. Estimation of Irrigation Water Demand: A Case Study for the Texas High Plains. Selected Paper presented at the Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting, February, pp. 5–8.
- Agency Hydrographic Basin Sahara, 2005. Sub regional report on water resources development in north Africa.
- Aidam, P. W., 2015. The impact of water-pricing policy on the demand for water resources by farmers in Ghana. *Agricultural Water Management*, 158, 10-16.
- Aigner, D., Lovell, C. K., et Schmidt, P., 1977. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6 (1), 21-37.
- Ait Amara, H. 1999. La question agraire aujourd'hui. *Insaniyat/إنسانيات. Revue algérienne d'anthropologie et de sciences sociales*, (7), 33-37.
- Aït-Ameur, C., 2005. Un modèle d'analyse des politiques de modernisation des périmètres irrigués algériens. Cas du périmètre irrigué de la Mitidja Est. In *Les instruments économiques et la modernisation des périmètres irrigués*. 15 p. Cirad.
- Akbari, M., Toomanian, N., Droogers, P., Bastiaanssen, W., Gieske, A., 2007. Monitoring irrigation performance in Esfahan, Iran, using NOAA satellite imagery. *Agricultural Water Management*, 88: 99-109.
- Akli, S., 2015. *Économie des ressources en eau en algérie*.
(Thèse de Doctorat, ENSA).
- Akli, S., et Bedrani, S., 2011. Produire de l'eau par le dessalement ou en l'économisant grâce à l'adoption de l'irrigation localisée?. *Les Cahiers du CREAD*, 96. 50-70.
- Alene, A. D., et Zeller, M., 2005. Technology adoption and farmer efficiency in multiple crops production in eastern Ethiopia: A comparison of parametric and non-parametric distance functions. *Agricultural economics review*, 6(1), 5.
- Amitouche M., 2016. *Impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- Arfini, F., Paris, Q., 1995. A positive mathematical programming model for regional analysis of agricultural policies. In: Sotte, F. (Ed.), *The Regional Dimension in Agricultural*

- Economics and Policies, EAAE, Proceedings of the 40th Seminar, June 26–28, Ancona, Italy, pp. 17–35.
- Ayub M., et Kuffner U., 1994. La gestion de l'eau dans le Maghreb. *Finances et Développement*, 1994/06, vol.31, n°2, pp.28-29
- Backeberg G.R., Bembridge T.J., Bennie A.T.P., Groenewald J.A., Hammes P.S., Pullen R.A., Thompson H., 1996. Policy proposal for irrigated agriculture in South Africa. WRC Report KV96/96. Water Res. Commission, Pretoria. Dans; Speelman, S., 2009. *Water use efficiency and influence of management policies, analysis for the small-scale irrigation sector in South Africa*. Ghent University.
- Balint, B. E., Forkutsa, I., et de Freitas, A. C. R., 2002. Indicators for the Measurement of Institutional Performance Concerning Water Management. Application for Uzbekistan and Ghana. *Center for Development Research, University of Bonn*, http://www.pasad.uni-bonn.de/indicators_of_institutional_performance.Pdf. [consulté le 07/ 2017].
- Banker, R. D., Charnes, A., et Cooper, W. W., 1984. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092.
- Banque Mondiale, 1993. Water Resource Management Policy Paper. World Bank.
- Banque mondiale, 2007. *A la recherche d'un investissement public de qualité. Une Revue des dépenses publiques* (En deux volumes) Groupe pour le Développement socioéconomique, Région Moyen Orient et Afrique du Nord. Document de la Banque Mondiale Rapport N° 36270-DZ. Rapport disponible sur le site <http://siteresources.worldbank.org/INTALGERIAINFRENCH/Resources/ALGERIA.PER.French.VolumeI.pdf>
- Banque mondiale, 2016. Base des données de la Banque Mondiale. (site web: <http://databank.banquemondiale.org>)
- Banque mondiale, 2016. <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.GROW?locations=DZ> [Consulté le 27/10/2016].
- Banque mondiale, 2016a. Agriculture, valeur ajoutée (% du PIB). <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NV.AGR.TOTL.ZS?locations=DZ>
- Banque Mondiale. 2012. Report No. 36270-DZ, 2007. Dans Drouiche N., Ghaffour N., Naceur M. W., Lounici H., Drouiche M., 2012. Towards sustainable water management in Algeria. *Desalination and Water Treatment*, 50(1-3), 272-284.
- Barnes A.P., 2006. Does multi-functionality affect technical efficiency? A non-parametric analysis of the Scottish dairy industry. *Journal of Environmental Management*, 80(4), 287-294.
- Bates R.H., 1995. Social Dilemmas and Rational Individuals: An Assessment of New Institutionalism. In J Harris, J Hunter and C M Lewis (eds), *The New Institutional Economics and Third World Development*. London: Rout ledge.

- Battikhi A.M. et Abu-Hammad A.H., 1994. Comparison between the efficiencies of surface and pressurized irrigation systems in Jordan. *Irrigation and Drainage Systems*, 8(2), 109-121.
- Baumann, D., Boland, J. and Hanemann, M. 1998. *Urban Water Demand Management and Planning*. USA: McGraw Hill.
- Bazzani G.M., 2005. An integrated decision support system for irrigation and water policy design: DSIRR. *Environmental Modelling et Software*, 20(2), 153-163.
- Beitone, A., Cazorla, A., Dollo, C., Draï, A.M., 2008. Dictionnaire des Sciences économiques, Armand Colin, Paris.
- Ben Mechlia N., 2004. Prospects for irrigation water valorization in Maghreb Countries. In Hamdy A., Trisorio Liuzzi G.. *Water management for drought mitigation in the Mediterranean*. Option Méditerranéennes. Série B: Etudes et Recherches CIHEAM, p 169-185.
- Benblidia M., 2011. “ L’efficience d’utilisation de l’eau et approche économique. Etude nationale Algérie“. In Le Plan Bleu, Centre d'Activités Régionales PNUE/PAM. *Etude nationale, Algérie, 2011*, 9-12.
- Benblidia M., Thivet G., 2010. Gestion des ressources en eau : les limites d’une politique de l’offre. *Les Notes d’analyse du CIHEAM*, n 58. 15p.
- Benmihoub A. et Bédrani S., 2012. L'attitude des irrigants vis-à-vis de l'augmentation du tarif de l'eau : cas d'un périmètre d'irrigation public en Algérie. *Les Cahiers du Cread*. n° 98/99 2011 et 2012, pp.75-102.
- Benouniche M., Kuper M., Poncet J., Hartani T., et Hammani A., 2011. Quand les petites exploitations adoptent le goutte-à-goutte: initiatives locales et programmes étatiques dans le Gharb (Maroc). *Cahiers Agricultures*, 20(1-2), 40-47.
- Berbel, J., Gomez-Limon, J.A., 2000. Impact of water pricing policy in Spain: an analysis of three irrigated areas. *Agricultural Water Management*. 43, 219–238.
- Berge P.L., et Luckmann T., 1967. The social construction of reality. *New York: Anchor*.
- Binam, J.N., Sylla, K., Diarra, I., Nyambi, G., 2003. Factors affecting technical efficiency among coffee farmers in Côte d’Ivoire: evidence from the Centre West region. *RetD Management* 15, 66–76.
- Blanc P. et Le Grusse P., 2007. “De la politique de l’offre à la gestion de la demande: une révolution hydraulique en Méditerranée“. In Villes et Territoires du Moyen-Orient, 3 : 16. <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00138505/fr/>
- Blinda, M., et Thivet, G., 2009. Ressources et demandes en eau en Méditerranée: situation et perspectives. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 20(1), 9-16.
- Bouaziz A., Belabbès K., 2002. Efficience productive de l’eau en irrigué au Maroc. *Revue Homme Terre et Eaux*, n.124.

- Boudjellal A., Bekkar Y., Kuper M., Errahj M., Hammani A., Hartani T., 2011. Analyse des arrangements informels pour l'accès à l'eau souterraine sur les périmètres irrigués de la Mitidja (Algérie) et du Tadla (Maroc). *Cahiers Agricultures* 20 : 85-91 doi: 10.1684/agr.2010.0458
- Boudon R., 1988. Individualisme ou holisme : un débat méthodologique fondamental, dans H. Mendras et M. Verret (sous la direction de). *Les champs de la sociologie française*, A. Colin.
- Boussard J.M., et Chabane M., 2011. Communication dans le cadre de la 5èmes Journées de recherches en sciences sociales à AgroSup Dijon, les 8 et 9 décembre 2011.
- Bouziani N., 2015. *Eau, environnement et énergies renouvelables: vers une gestion intégrée de l'eau en Algérie*. Thèse de doctorat.
- Brasseur G, 1975. Agricultural typology and land utilization. Center of Agricultural Geography Institute of Agricultural Economy and Policy, University Academy for Agriculture Sciences and Humanities Verona - Italy - 1975
- Bravo-Ureta, B. E. et Pinheiro A. E., 1993. Efficiency analysis of developing country agriculture: a review of the frontier function literature. *Agricultural and Resource Economics Review*, 22(1). 88-101.
- Brebbia C. A., et Kungolos A., 2007. *Water resources management IV* (Vol. 103). WIT Press.
- Briys E., 1990. *Demande d'assurance et microéconomie de l'incertain*. Presses universitaires de France.
- Brochier H. 1994. A propos de l'individualisme méthodologique: l'ouverture d'un débat/A Propos Methodological Individualism: the Opening of a Debate. *Revue d'économie politique*, 104 (1), 25-52.
- Bromley D. W., 1989. *Economics of interests and institutions: the conceptual foundation of public policy*, Basil Blackwell, New York.
- Brousseau E., Glachant J., 2008. *New institutional economics—a guidebook*. Cambridge University Press, New York
- Brouwer R., Barton D., Bateman I.J., Brander L., Georgiou S., Martín-Ortega J., Navrud S., Pulido-Velazquez M., Schaafsma M., et Wagtendonk A., 2009. Economic valuation of environmental and resource costs and benefits in the water framework directive: technical guidelines for practitioners. *Institute for Environmental Studies, VU University Amsterdam, the Netherlands*.
- Brubaker R., 1992. *Citizenship and nationhood in France and Germany*. Harvard University Press.
- Capalbo S.M., et Antle J.M., 2015. *Agricultural productivity: measurement and explanation*. Routledge.

- Caswell M., et Zilberman D., 1985. The choices of irrigation technologies in California. *American journal of agricultural economics*, 67(2), 224-234.
- Caswell M., Lichtenberg E., et Zilberman D., 1990. The effects of pricing policies on water conservation and drainage. *American journal of agricultural economics*, 72(4), 883-890.
- Chabane M., 2011. L'agriculture de conservation: voie de sécurité alimentaire dans les pays du Maghreb. *Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens*, 96, 189-208.
- Chambers R. G., Färe R., Jaenicke E., et Lichtenberg E., 1998. Using dominance in forming bounds on DEA models: The case of experimental agricultural data. *Journal of Econometrics*, 85(1), 189-203.
- Charnes A., Cooper W., Rodhes E., 1978. "Measuring the efficiency of Decision Making Units". *European Journal of Operational Research*, 2(6). 429-444.
- Chavance B., 2007. *L'économie institutionnelle*. Paris: la Découverte.
- Chavance B., 2009. *Institutional Economics*, Routledge, London
- Chavas J., Petrie R., Roth M., 2005. Farm household production efficiency: evidence from the Gambia. *American Journal of Agricultural Economics*. 87, 160–179.
- Chebil A., Frija A., Abdelkafi B., 2010. Irrigation water use efficiency in collective irrigated schemes of Tunisia: determinants and potential irrigation cost reduction. Communication au "3rd African Association of Agricultural Economists (AAAE)", Cape Town, South Africa, 19-23 Septembre.
- Chebil A., Frija A., et Thabet C., 2010. Irrigation water pricing between governmental policies and farmers' perception: Implications for green-houses horticultural production in Teboulba (Tunisia). *Agricultural Economics Review*, 11(2), 44.
- Chebil A., Bahri W., et Frija A., 2013. Mesure et déterminants de l'efficacité d'usage de l'eau d'irrigation dans la production du blé dur: cas de Chabika (Tunisie). *New Medit*, 1, 49-55.
- Chebil A., Frija A., et Amri S., 2014. Impact Assessment of Technology Change on Durum Wheat Productivity: A Cross Sectional Analysis in Central Semi-arid Tunisia. *Journal of Agricultural Science and Technology*. B, 4(1B), 49.
- Chebil A., Frija A., et Alyani, R., 2016. Measurement of total factor productivity and its determinants: case of wheat sector in Tunisia. In *ERF In: 21st annual conference—democracy and economic development*, Gammarth, Tunisia.
- Chemak F., Boussemart J. P., et Jacquet F., 2010. Farming system performance and water use efficiency in the Tunisian semi-arid region: data envelopment analysis approach. *International Transactions in operational research*, 17(3), 381-396.
- Chenoune R., 2011. Quelle approche pour représenter et évaluer la diversité agricole à l'échelle de l'exploitation et de la région. Thèse requise pour l'obtention du titre Master of Science, numéro 114, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 59 p.

- Clague C., 1997, *Institutions and Economic Development : Growth and Governance in Less Developed and Post-Socialist Countries*. London: The John Hopkins University Press.
- Coelli T., 1996. A guide to DEAP version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program. *Centre for efficiency and productivity analysis working paper 96/08, Department of econometrics, university of New England, Armidale, Australia*.
- Coelli T., Rahman S., Thirtle C., 2002. Technical, allocative, cost and scale efficiencies in Bangladesh rice cultivation: a non-parametric approach. *Journal of Agricultural Economics*, 53(3), 607-626.
- Commons J.R., 1934. *Institutional Economics. Its Place in Political Economy*, New Brunswick/Londres, Transactions Publishers, 1990, 2 vol.
- Commons J.R., 1968. *Legal Foundations of Capitalism*, Madison, WI: University of Wisconsin Press.
- Cook S.E., Gichuki F., Turrall H., 2006. Agricultural water productivity: Issues, concepts and approaches. CGIAR Challenge Program on Water and Food, Basin Focal Project Working Paper No. 2a., Colombo: CGIAR.
- Cooper W. W., Seiford L. M., Tone K., 2006. *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses with DEA-Solver Software and References-Springer*.
- Coriat B. et Giovanni D., 1998. The institutional embeddedness of economic change: an appraisal of the “evolutionary” and “regulationist” research programmes, in Klaus Nielsen and Bjorn Johnson (eds), *Institutions and Economic Change*, Cheltenham, UK: Edward Elgar, pp. 3–32.
- Cortignani R., et Severini S., 2009. Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using Positive Mathematical Programming. *Agricultural Water Management*, 96(12), 1785-1791.
- Crawford E.S. et Ostrom E., 1995. A grammar of institutions. *American Political Science Review*, 89(3), 582-600.
- Crawford E.S. et Ostrom E., 2005. A Grammar of Institutions, in Ostrom E. *Understanding Institutional Diversity*, Princeton, NJ: Princeton University Press, pp. 137–74. Originally published in *American Political Science Review* 89 (3) (1995), 582–600.
- Daoudi A., Colin J. P., Derderi A., et Ouendeno M. L., 2015. Mise en valeur agricole et accès à la propriété foncière en steppe et au Sahara (Algérie). *Les Cahiers du Pôle Foncier*, 13, p. 34.
- Daoudi A. et Lejars C., 2016. De l’agriculture oasisienne à l’agriculture saharienne dans la région des Ziban en Algérie : acteurs du dynamisme et facteurs d’incertitude, *New Medit*, vol. 15, n° 2, p. 45-52.
- Debreu G., 1951. The Coefficient of Resource Utilization. *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, 19(3), 273-292. July, 1951.

- Dechmi F., Playán E., Faci J. M., et Tejero M., 2003. Analysis of an irrigation district in northeastern Spain: I. Characterisation and water use assessment. *Agricultural Water Management*, 61(2), 75-92.
- Dhehibi B., Lachaal L., Elloumi M., Messaoud A., 2007. Measuring irrigation water use efficiency using stochastic production frontier: An application on citrus producing farms in Tunisia. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 1(2), 1-15.
- Dhehibi B., El-Shahat A.A.I.A., Frija A., et Hassan A.A., 2016. Growth in Total Factor Productivity in the Egyptian Agriculture Sector: Growth Accounting and Econometric Assessments of Sources of Growth. *Sustainable Agriculture Research*, 5(1), 38.
- Dhungana B.R., Nuthall P.L., Nartea G.V., 2004. Measuring the economic inefficiency of Nepalese rice farms using data envelopment analysis. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 48 (2), 347–369.
- Diakité D., Semenov A., et Thomas A., 2009. A proposal for social pricing of water supply in Côte d'Ivoire. *Journal of Development Economics*, 88(2), 258-268.
- DiMaggio P. J., et Powell W. W., 1991. *The new institutionalism in organizational analysis* (Vol. 17). Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Dinar A., et Letey J., 1991. Agricultural water marketing, allocative efficiency, and drainage reduction. *Journal of Environmental Economics and Management*, 20(3), 210–223.
- Dinar A., Rosegrant, M., and Meinzen-Dick, R., 1997. Water allocation mechanisms: Principles and examples. World Bank Policy Research Working Paper. No. 1779.
- Dinar A., et Subramanian A., 1998. Policy implications from water pricing experiences in various countries. *Water Policy*, 1(2), 239-250.
- Dinar A., 2000. *The political economy of water pricing reforms*. Oxford University Press, Washington DC.
- Dinar A. et Mody J., 2004. Irrigation water management policies: allocation and pricing principles and implementation experience. In *Natural Resources Forum*. 28(2), pp. 112-122.
- Dinar A., et Saleth R. M., 2005. Issues In water pricing reforms: From getting correct prices to setting appropriate institutions. In H. Folmer and T. Tietenberg, *The international yearbook of environmental and resource economics 2005/2006*. Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Dinar A., et Jammalamadaka U. K., 2013. Adaptation of irrigated agriculture to adversity and variability under conditions of drought and likely climate change: Interaction between water institutions and social norms. *International Journal of Water Governance*, 1, 41-64.
- Dixon L.S., et Moore N.Y., 1993. *California's 1991 drought water bank: Economic impacts in the selling regions*: California Department of Water Resources.
- Douglas M., 1986. *How Institutions Think?*, New York: Syracuse University Press.

- Drouiche N., Ghaffour N., Naceur M. W., Lounici H., Drouiche M., 2012. Towards sustainable water management in Algeria. *Desalination and Water Treatment*, 50(1-3), 272-284.
- DSA Jijel, 2016. Direction des Services Agricoles. Bureau des statistiques.
- Dudu H. et Chumi S., 2008. Economics of irrigation water management: A literature survey with focus on partial and general equilibrium models. *World Bank Policy Research Working Paper Series*, Vol.
- Easter K. W., Rosegrant M. W., et Dinar A., 1999. Formal and informal markets for water: Institutions, performance and constraints. *World Bank Research Observer*, 14(1), 99–116. doi: 10.1093/wbro/14.1.99.
- Easter K.W. et Liu Y., 2007. Who pays for irrigation: cost recovery and water pricing?. *Water Policy*, 9(3), 285-303.
- Eggertsson T., 1996. A note on the economics of institutions. pp. 6–21. in Alston L.J., Eggertsson T., et North D.C., 1996. *Empirical Studies in Institutional Change*. Cambridge.
- Eggertsson T., 2009. *Imperfect institutions: Possibilities and limits of reform*. University of Michigan Press.
- Eisenhut P., 2008. Economie politique actuelle: Avec un modèle de simulation de l'économie suisse. 288 p.
- EL Amami H., Bachta M. S., Ben Nasr J., et Ben Nouna B., 2013. Le quota comme instrument de régulation de l'exploitation des eaux souterraines : Application à la plaine de Kairouan. In *Actes de journées scientifiques de l'INRGREF, Hammamet 19-20 novembre 2013. La Gestion Durable des Ressources en Eaux et en Sol: Situation, Défis et Perspectives*.
- Eurostat. 2015. *Euro-Mediterranean statistics*. Base de données Eurostat.
- Evans R. G., et Sadler E.J., 2008. Methods and technologies to improve efficiency of water use. *Water resources research*, 44(7).
- FAO, 2015a. Rapport régional : Algérie. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/dza/indexfra.stm [Consulté le 27/10/2016].
- FAO, 2015b. *Indicateurs sensibles au genre pour l'agriculture et l'eau en Algérie*. Rapport interne. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Färe R., Grosskopf S., Lovell C.A.K., 1994. *Production Frontiers*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Farrel M.J. 1957. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, Series A, 120 (3), 253-290.
- Faysse, N., Hartani, T., Frija, A., Tazekrit, I., Zairi, C., et Challouf, A., 2011. Usage agricole des eaux souterraines et initiatives de gestion au Maghreb: défis et opportunités pour un usage durable des aquifères. *Note Economique de la BAD*, 1-24.

- Fok, M., Ndoye, O., et Koné, S., 2015. *AGRAR-2013: 1st conference of African research on agriculture, food, and nutrition. Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, June 4-6, 2013. Agriculture and the challenges of food and nutrition in Africa: the contributions of research in the cotton zone*. Presses Agronomiques de Gembloux.
- Fouzai A., Bachta, M. S., Brahim, M. B., et Eya, R., 2013. Evaluation économique de la dégradation de l'eau d'irrigation Etude de cas: La région de Korba. In *2013 AAAE Fourth International Conference, September 22-25, 2013, Hammamet, Tunisia* (No. 160683). African Association of Agricultural Economists (AAAE).
- Fragoso, R., et Marques, C., 2015. Alternative irrigation water pricing policies: An Econometric Mathematical Programming Model. *New medit: Mediterranean journal of economics, agriculture and environment= Revue méditerranéenne d'économie, agriculture et environnement*, 14(4), 42-49.
- Fried O. H., Lovell C. A. K., Schmidt S. S., 2008. *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth*. Oxford University Press.
- Frija A., 2009. *Efficiency analysis of the irrigation water management institutions in Tunisia* (Doctoral dissertation, PhD thesis, Ghent University).
- Frija A., 2018. Water institutional scarcity in mena: guidelines for enhanced governance. En ligne : <http://egyptssp.ifpri.info/2018/03/22/water-institutional-scarcity-mena-guidelines-for-enhanced-governance/>. [Consulté le 24/04/2018]
- Frija A, Chebil A, Speelman S, Buysse J, Van Huylenbroeck G., 2009. Water use and technical efficiencies in horticultural greenhouses in Tunisia, (in English). “*Agricultural Water Management*”, Vol 96(11), 1509-1516, doi:10.1016/j.agwat.2009.05.006.
- Frija, A., Wossink, A., Buysse, J., Speelman, S., et Van Huylenbroeck, G., 2011. Irrigation pricing policies and its impact on agricultural inputs demand in Tunisia: A DEA-based methodology. *Journal of environmental management*, 92(9), 2109-2118.
- Frija A., Dhehibi B., Aw-Hassan A., Akroush S., Ibrahim A., 2015. Approaches to Total Factor Productivity Measurements in the Agriculture Economy. CGIAR. 21 p.
- Frija, A., Dhehibi, B., Chebil, A., et Villholth, K. G., 2015. Performance evaluation of groundwater management instruments: The case of irrigation sector in Tunisia. *Groundwater for Sustainable Development*, 1(1), 23-32.
- Gamache, R., 2005. La productivité : définition et enjeux. Research Paper Series, 117, Statistique Canada, 36p.
- Gibon, A., 1999. Etudier la diversité des exploitations agricoles pour appréhender les transformations locales de l'utilisation de l'espace: l'exemple d'une vallée du versant nord des Pyrénées centrales. *Options méditerranéennes B*, 27, 197-215.
- Gohin, A., et Chantreuil, F., 1999. La programmation mathématique positive dans les modèles d'exploitation agricole: Principes et importance du calibrage. *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, (52), 59-78.

- Gomez-Limon, J., Berbel, J.A., 1999. The impact of water pricing in Spain: an analysis of three irrigated areas. *Agricultural Water Management*, 219–238.
- Gómez-Limón, J. A., et Riesgo, L., 2004. Irrigation water pricing: differential impacts on irrigated farms. *Agricultural economics*, 31(1), 47-66.
- Greene, W. 2003. *Econometric Analysis*. New Jersey: Prentice Hall Inc
- Guemraoui, M., et Chabaca, M. N., 2005. Gestion des grands périmètres d'irrigation: l'expérience algérienne. In *Les instruments économiques et la modernisation des périmètres irrigués* (pp. 14-p). Cirad.
- Gujarati D., 2011. *Econometrics by Examples*. UK: Palgrave MacMillan
- Gül Ünal F., 2008. Small Is Beautiful: Evidence of an Inverse Relationship between Farm Size and Yield in Turkey (No. 551).
- Hagedorn K., Arzt K., Peters U., 2002. Institutional Arrangements for Environmental Cooperatives: a conceptual framework. in: Hagedorn, K. (ed) (2002) *Environmental Cooperation and Institutional Change: Theories and Policies for European Agriculture*. Cheltenham: Edward Elgar
- Hailu, R., Tolossa, D., et Alemu, G., 2017. Water institutions in the Awash basin of Ethiopia: the discrepancies between rhetoric and realities. *International Journal of River Basin Management*, 1-15.
- Haji J., 2007. Production efficiency of smallholders' vegetable-dominated mixed farming system in eastern Ethiopia: A non-parametric approach. *Journal of African Economies*, 16(1), 1-27.
- Hamdy, A., Lacirignola, C. 1999. Mediterranean water resources: major challenges towards the 21st century. CIHEAM/IAM Bari.
- Hamiche, A. M., Stambouli, A. B., et Flazi, S. 2015. A review on the water and energy sectors in Algeria: Current forecasts, scenario and sustainability issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 261-276.
- Hanafi S., 2011. *Approche d'évaluation de la performance des systèmes irrigués à l'échelle des exploitations agricoles : cas du périmètre irrigué de Borj Toumi (vallée de la Medjerda-Tunisie)* (Doctoral dissertation, AgroParisTech).
- Hanemann W., 1997. Price and rate structure (chap. 5). In Bauman, D. D., Boland, J. J., and Hanemann, W. M., editors, *Urban water demand management and planning*. McGraw-Hill, New York.
- Harris J., Hunter J., et Lewis C.M., 1995. Development and Significance of NIE. In Harris J, Hunter J. et Lewis C.M., *The New Institutional Economics and Third World Development*, London: Routledge.
- Heckeley, T., 1997. Positive mathematical programming: review of the standard approach. *Institute of Agricultural Policy, University of Bonn, Bonn*.

- Heckelei, T., et Britz, W., 2000. Positive mathematical programming with multiple data points: a cross-sectional estimation procedure. *Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales*, 57, 27-50.
- Hellegers, P.J., et Perry, C.J., 2006. Can irrigation water use be guided by market forces? Theory and practice. *Water resources development*, 22(1), 79-86.
- Heltberg, R., 2002. Property rights and natural resource management in developing countries. *Journal of Economic Surveys*, 16(2), 189-214.
- Herrera P., Van Huylenbroeck G., et Espinel R., 2004. An application of the contingent valuation method to assess the efficiency of the institutional structure of irrigation property rights: the case of the Peninsula of Santa Elena, Ecuador. *International Journal of Water Resource Development*, 20(4): 537-551.
- Hodgson, M.G., 1989. Institutional Economic Theory: the Old versus the New. *Review of Political Economy*, 1(3), pp. 249 –269
- Hodgson, M.G., 1998, 'The approach of institutional economics', *Journal of Economic Literature*, 36 (1): 166–92.
- Hodgson, M.G., 2007. Institutions and individuals: interaction and evolution. *Organization studies*, 28(1), 95-116.
- Horbulyk, T.M., 1997. Canada. In Dinar A. et Subramanian A., editors. *Water pricing experiences: an international perspective*. World Bank Technical Paper No. 386, Washington D.C.
- Howitt, R. E., 1995. Positive mathematical programming. *American journal of agricultural economics*, 77(2), 329-342.
- Huang, Q., Rozelle, S., Richard, H., Wang, J., Huang, J., 2010. Irrigation water demand and implications for water pricing policy in rural China. *Environ. Dev. Econ.* 15 (3), 293–319.
- Ilari, E., Daridan, D., Fraysse, J. L., Fraysse, J., Teffène, O., et Desbois, D., 2003. Typologie des exploitations françaises ayant des porcs: méthodologie, analyse statistique et premiers résultats. In 35. *Journées de la recherche porcine* (pp. 187-194). ITP Editions.
- Imache A, Legoulven P, Bouarfa S, Chabaca M, 2007. Évolutions de la demande en eau agricole dans la plaine irriguée de la Mitidja, Algérie. Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb. Actes du troisième atelier régional du projet Sirma, Nabeul, Tunisie, 4-7 juin. http://hal.cirad.fr/docs/00/19/45/73/PDF/12_Article_Imache_et_al.pdf
- Imache, A., Kuper, M., Bouarfa, S., et Hartani, T., 2011. *La Mitidja vingt ans après: Réalités agricoles aux portes d'Alger*. Editions Quae.
- Iráizoz, B., Rapun, M., et Zabaleta, I., 2003. Assessing the technical efficiency of horticultural production in Navarra, Spain. *Agricultural Systems*, 78(3), 387-403.
- Johansson, R.C., 2000. *Pricing irrigation water: A literature survey*. World Bank, Washington, D.C

- Johnson B and Nielsen K., 1998. 'Introduction', in Klaus Nielsen and Bjorn Johnson (eds), *Institutions and Economic Change*, Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Kaplowitz, M.D., Ortega-Pacheco, D.V., and Lupi. F., 2008. *Payment for Environmental Services and Other Institutions for Protecting Drinking Water in Eastern Costa Rica. In Alternative Institutional Structures: Evolution and Impact.* (Ed) Sandra S. Batie and Nicholas Mercurio, London: Routledge Press. 2008. 380 – 401 p.
- Kathuria V., Raj R.S.N., et Sen K., 2013. Productivity measurement in Indian manufacturing: a comparison of alternative methods. *Journal of Quantitative Economics*, 11(1/2), 148-179.
- Kessira M. 2005. Gestion de l'irrigation avec les eaux non conventionnelles. *Bari: CIHEAM/EU DG Research*, 203-216.
- Kettab A., 2001. Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision. *Desalination*, 136(1), 25-33.
- Khan N., Ansari S. A., 2008. Application of New institutional economics to the problems of development: A survey.
- Kolvalli, S., et Chicoine, D. L., 1989. Groundwater markets in Gujarat, India. *International Journal of Water Resources Development*, 5(1), 38–44.
- Koopmans, T.C. 1951. "An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities," in TC Koopmans, ed, *Activity Analysis of Production and Allocation*, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph No. 13, New York: Wiley.
- Kumbhakar, S.C., 2003. Factor productivity and technical change. *Applied Economics Letters*, 10(5), 291-297.
- Langlois, R.N. 1986. Rationality, institutions, and explanation. *Economics as a process: Essays in the new institutional economics.* New York: Cambridge University Press, 225-55.
- Lanzanova, D. 2011. *Économie de l'usage agricole de l'eau à différentes échelles* (Doctoral dissertation).
- Laoubi, K., et Yamao, M., 2009. Management of irrigation schemes in Algeria: an assessment of water policy impact and perspectives on development. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 125, 503-514.
- Larson, D. F., Otsuka, K., Matsumoto, T., et Kilic, T., 2014. Should African rural development strategies depend on smallholder farms? An exploration of the inverse-productivity hypothesis. *Agricultural Economics*, 45(3), 355–367. doi:10.1111/agec.12070
- Leconews, 2013. L'Algérie comptera 139 barrages en exploitation en 2030. L'éconews. En ligne: http://www.leconews.com/fr/depeches/l-algerie-comptera-139-barrages-en-exploitation-en-2030-17-11-2013-166159_312.php. [Consulté le 06/2017]
- Letey, J., Dinar, A., Woodring, C., et Oster, J. D., 1990. An economic analysis of irrigation systems. *Irrigation Science*, 11(1), 37-43.

- Liao, Y., Giordano, M., et de Fraiture, C., 2007. An empirical analysis of the impacts of irrigation pricing reforms in China. *Water Policy*, 9(S1), 45-60.
- Lieberherr E., 2009. Policy relevance of new institutional economics? Assessing efficiency, legitimacy and effectiveness. Discussion paper series on the coherence between institutions and technologies in infrastructures.
- Linde-Rahr, M. 2008. Willingness to pay for forest property rights and the value of increased property rights security. *Environmental and resource economics*, 41(4), 465-478.
- Madigele, P. K. 2017. South Africa's water regulatory and policy framework: a new institutional economic review. *Sustainable Water Resources Management*, 1-13.
- Mahdi, N., Sghaier, M., et Bachta, M. S., 2010. Technical efficiency of water use in the irrigated private schemes in Smar watershed, south-eastern Tunisia. *Options Méditerranéennes*, 88, 289-300.
- Malano, H., Burton, M., et Makin, I. 2004. Benchmarking performance in the irrigation and drainage sector: a tool for change. *Irrigation and drainage*, 53(2), 119-133.
- Maliki S.B.E., et Bouziani-Boubou N., 2009. Innovations technologiques et gestion de l'eau en Algérie: La maîtrise de la demande. *les cahiers du mecas*, 5(1), 26-34.
- Massarutto, A. 2003. Water pricing and irrigation water demand: economic efficiency versus environmental sustainability. *Environmental Policy and Governance*, 13(2), 100-119.
- Maton, L., Leenhardt, D., Goulard, M., Bergez, J.E., 2005. Assessing the irrigation strategies over a wide geographical area from structural data about farming systems. *Agricultural Systems*, 86 (3), 293-311.
- Matthews R.C.O., 1986. The Economics of Institutions and the Sources of Growth. *Economic Journal*, XCVI (4): 903-18.
- Medellín-Azuara, J., Howitt, R. E., et Harou, J. J., 2012. Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. *Agricultural water management*, 108, 73-82.
- Meinzen-Dick R.S., 1996. *Groundwater markets in Pakistan: Participation and productivity*. International Food Policy Research Institute.
- Meinzen-Dick R.S. and Jackson L.A., 1997. Multiple uses, multiple users of water resources. Paper presented at the Environment and Production Technology Division workshop, International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
- Meinzen-Dick R.S., Nkonya L., 2005. Understanding legal pluralism in water rights: lessons from Africa and Asia. International workshop on 'African Water Laws: Plural Legislative Frameworks for Rural Water Management in Africa', Johannesburg, South Africa, 26-28 January 2005.
- Ménard, C. 2003. L'approche néo-institutionnelle: des concepts, une méthode, des résultats. *Cahiers d'économie politique/Papers in Political Economy*, (1), 103-118.

- Mérel, P, RE Howitt. 2014. Theory and application of Positive Mathematical Programming in agriculture and the environment. *Annu Rev Resour Econ*, **6**:451-470.
- Michalland, B. 1994. Evaluation de l'élasticité court terme de la demande en eau d'irrigation. *Économie rurale*, 222(1), 15-15.
- Molle, F., Berkoff, J., 2007. Water pricing in irrigation: mapping the debate in the light of experience. In: Molle, F., Berkoff, J. (Eds.), *Irrigation Water Pricing: The Gap between Theory and Practice. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. CABI, Wallingford, CT, pp. 21–93.
- Molle, F., Venot, J. P., et Hassan, Y. 2008. Irrigation in the Jordan Valley: Are water pricing policies overly optimistic?. *agricultural water management*, 95(4), 427-438.
- Montginoul, M., 2007. Quelle structure tarifaire pour économiser l'eau?. *Gérer et comprendre*, (87), 35-47.
- Mouhouche B., 2014. Etude en vue d'une utilisation durable et efficace des ressources hydriques en Algérie.
- Mouhouche, B., et Guemraoui, M., 2004. Réhabilitation des grands périmètres d'irrigation en Algérie. In *Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée* (pp. 13-p). IAV Hassan II.
- Mozas, M., et Ghosn, A., (2013). État des lieux du secteur de l'eau en Algérie. *Institut de Prospective Economique du Monde Méditerranéen*.
- MRE, 2003. Synthèse sur la situation de l'assainissement et évaluation des besoins en station de traitement et d'épuration en vue de protéger les ressources en eau. Séminaire sur le secteur de l'eau en Algérie. Ministère des Ressources en eau, Alger, Algérie. 11 p.
- MRE et MRDA, 2008. *Rapport national Algérie*. Conférence de haut niveau sur « L'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique: les défis du changement climatique » Syrte, Jamahiriya arabe libyenne, 15-17 décembre 2008. Ministère des Ressources en Eaux, Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
- MRE, 2012. Strategy and indicators of water sector in Algeria, presentation of Algerian Ministry of Water Resources in Cairo; 21–22 November 2012.
- MRE, 2014a. *Mobilisation et transfert. Ressources conventionnelles. Ressources superficielles*. Ministère des Ressources en Eaux.
- MRE, 2014b. *Mobilisation et transfert. Ressources non conventionnelles*. Ministère des Ressources en Eaux.
- MRE 2016. Assainissement en Algérie. <http://www.mree.gov.dz/eau/assainissement/?lang=fr> [consulté le 02/03/2017]
- MRE, 2017a. Un volume total de 4,95 milliards de m³ d'eau emmagasinés dans tous les barrages-du-pays. <http://www.latribunedz.com/article/24856-495-milliards-de-m3-deau-emmagasines-dans-tous-les-barrages-du-pays> [consulté le 02/03/2017]

- MRE, 2017b. Présentation de l'AGIRE. <http://www.mree.gov.dz/presentation-de-lagire/?lang=fr> [consulté le 02/03/2017]
- Mylopoulos, Y. et Mentès, A., 2000. Perspective a demand-oriented water policy in the city of Thessaloniki. *Proceedings of the International Conference: Protection Restoration of the environment*. V (I), 289–295. Greece, Thassos.
- Nadeau, M. A., 1988. *L'évaluation de programme: théorie et pratique*. Presses Université Laval.
- Nana Djomo J.M., Atangana Ondo H., 2012. Capital social, capital humain et efficacité technique dans le secteur agricole au Cameroun. *Revue Africaine des Sciences Economiques et de Gestion*. 19 (1-2), 137-160
- Narain, V. 2009. Water rights system as a demand management option: potentials, problems and prospects. In *Promoting Irrigation Demand Management in India: Potentials, Problems and Prospects*. Saleth, R. M. (ed.). International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, pp. 127–146.
- Narayanamoorthy, A. 2008. Water saving technologies as a demand management option: potentials, problems and prospects. *Strategic Analyses of the National River Linking Project (NRLP) of India: Promoting Irrigation Demand Management in India: Potentials, Problems, and Prospects*, 3, 93.
- Nikouei, A., et Ward, F. A., 2013. Pricing irrigation water for drought adaptation in Iran. *Journal of Hydrology*, 503, 29-46.
- Nishimizu, M., et Page, J. M. 1982. Total factor productivity growth, technological progress and technical efficiency change: dimensions of productivity change in Yugoslavia, 1965-78. *The Economic Journal*, 92(368), 920-936.
- North D. C., 1993. *The New Institutional Economics and Development*.
- North D.C., 1978. Structure and Performance: The task of Economic History. *The journal of Economic Literature*, XVI (3): 963-78.
- North D.C., 1981. *Structure et Change in Economic History*. Ney York.
- North D.C., 1990a. *Institutions, Institutional Change, and Economic Performance*, Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- North D.C., 1990b. Institutions and their consequences for economic performance, 383-401, in Karen Schweers Cook and Margaret Levi (eds). *The limits of rationality*. University of Chicago Press.
- North D.C., 1991. "Institutions," *Journal of Economic Perspectives*, American Economic Association, vol. 5(1), pages 97-112
- North D.C., 1992. *The New Institutional Economics and Development*. Washington University. <http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/NewInstE.North.pdf> [Consulté Juillet 2017].

- North D.C., 1997. The contribution of the new institutional economics to an understanding of the transition problem, WIDER annual lectures 1, World Institute for Development Economics Research, Helsinki, Finland.
- Nystrom, P. C., et Starbuck, W. H., 1981. *Handbook of Organizational Design: Remodelling organizations and their environments* (Vol. 2). Oxford University Press, USA.
- Oakerson, R.J. 1986. A model for the analysis of common property problems. In *Proceedings of the conference on common property resource management*. National Academies Press Washington, DC.
- Oakerson, R.J. 1992. Analyzing the Commons: A Framework. pp. 41-59. In Bromley D.W., Mckean M.A., Gilles J.L., Oakerson R.J., & Runge C.F. (ed). *Making the Commons Worktheory, Practice and Policy*. Institute for Contemporary Studies Press, San Francisco.
- Office National de l'Irrigation et Drainage (ONID), 2016. Coût de revient de la vente de l'eau d'irrigation relevant des périmètres exploités par l'ONID.
- Omari C., 2017. Deux millions d'hectares de terres agricoles irriguées d'ici à 2020: objectif largement réalisable. Le quotidien *El-moudjahid*. En ligne: <http://www.elmoudjahid.com/fr/actualites/112675> (Accessed the 02/01/2018).
- OMS et UNICEF, 2013. Progrès en matière d'alimentation en eau et d'assainissement: rapport 2013. *Programme commun OMS/UNICEF de suivi de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement*.
- ONA, 2016. <https://www.ona-dz.org/REUE.html> [consulté le 18/06/2017]
- Oster, J. D., et Wichelns, D., 2003. Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation. *Irrigation Science*, 22(3-4), 107-120.
- Ostrom E., 1990. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ostrom E., 1992. *Crafting institutions for self governing irrigation systems*. Institute of Contemporary Studies, San Francisco
- Ostrom E., Gardner R., and Walker J., 1994. *Rules, Games and Common Pool Resources*, Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- Ostrom E., 1999, 'Institutional rational choice: an assessment of the institutional analysis and development framework', working paper, Workshop in Political Theory and Policy Analysis, Indiana University, Bloomington, IN.
- Ostrom E., 2000. Private and Common Property Rights, in Bouckaert B., G. De Geest (eds.), *Encyclopedia of Law and Economics*.
- Ostrom E., 2005. *Understanding Institutional Diversity*, Princeton University Press, Princeton et Oxford.
- Ostrom E., 2008. Institutions and the Environment. *Economic affairs*, 28(3), 24-31.

- Ostrom E., 2011. Background on the institutional analysis and development framework. *Policy Studies Journal*, 39(1), 7-27.
- Ostrom E. et Basurto X., 2011. Crafting analytical tools to study institutional change. *Journal of Institutional Economics*, 7, pp 317-343.
- Ostrom V., 1997. *The Meaning of Democracy and the Vulnerability of Democracies: A Response to Tocqueville's Challenge*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Oude Lansink A., Pietola K., Bäckman S., 2002. Efficiency and productivity of conventional and organic farms in Finland 1994–1997. *European review of agricultural economics*, 29 (1), 51-65.
- Peng, M. W. 2003. Institutional Transitions and Strategic Choices. *Academy of Management Review*, 28, 275-296.
- Perrot, C., et Landais, E., 1993. Exploitations agricoles: pourquoi poursuivre la recherche sur les méthodes typologiques?. *Cahiers de la Recherche Développement*, 33. 13-23.
- Perry, C. (2001). Water at any price? Issues and options in charging for irrigation water. *Irrigation and drainage*, 50(1), 1-7.
- Petrin, A., et Levinsohn, J. (2012). Measuring aggregate productivity growth using plant-level data. *The RAND Journal of Economics*, 43(4), 705-725.
- Plan Bleu, 2002. Les espaces boisés méditerranéens. *Jean de Montgolfier, Paris*.
- Plan Bleu, 2006. Faire face aux crises et pénuries d'eau en Méditerranée. Les Notes du Plan Bleu, (4).
- Playan, E., et Mateos, L., 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase productivity. *Agricultural Water Management*, 80, 110–116.
- Posner R.A., 1981. *The Economics of Justice*, Cambridge, Harvard University Press
- Poussin, J. C., Benmihoub, A., et Beji, R., 2008. Usages agricoles de l'eau et valorisation dans la plaine de Kairouan, Tunisie centrale. In *Troisième atelier régional du projet Sirma* (pp. 12-p). Cirad.
- PRI (the Policy Research Initiative), 2005. Economic instruments for water demand management in an integrated water resources management framework. Policy Research Initiative symposium, Ottawa.
- Projet de rapport du conseil national économique et social, 2000. *L'eau en Algérie : le grand défi de demain*, 15ème session plénière, Mai 2000.
- Raffarin M., 1999. Les mesures de productivité : application au contrôle aérien. Mémoire de DEA, Université Paris-I – Panthéon-Sorbonne.
- Randall A., 1978. Property institutions and economic behavior. *Journal of Economic Issues*, 12(1), 1-21.

- Reddy M.V., 2009. User organizations as a demand management option: potentials, problems and prospects. In *Promoting Irrigation Demand Management in India: Potentials, Problems and Prospects*. Saleth, R. M. (ed.). International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, pp. 147–169.
- Reig-Martínez E., et Picazo-Tadeo A.J., 2004. Analysing farming systems with Data Envelopment Analysis: citrus farming in Spain. *Agricultural Systems*, 82(1), 17-30.
- RGA, 2003. Rapport général sur les résultats définitifs du Recensement général de l'agriculture. DSASI, MADR, juin 2003, Alger, 127 p.
- Riesgo L., et Gomez-Limon J.A., 2006. Multi-criteria policy scenario analysis for public regulation of irrigated agriculture. *Agricultural systems*, 91(1), 1-28.
- Robert, C., Johansson, D., Yacov, T., Terry, L.R., Rachid, D., Ariel, D., 2002. Pricing irrigation water: a review of theory and practice. *Water Policy*, 4 (2), 173–199.
- Röhm O., Dabbert S., 2003. Integrating Agri-Environmental Programs into Regional Production Models: An Extension of Positive Mathematical Programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 85 (1): 254-265.
- Rossiaud S., et Locatelli C., 2010. Institutional economics. *Polinares WP, September*.
- Russell C.S., Clark C.D., et Schuck E.C., 2007. Economic Instruments for water management in the Middle East and North Africa. *Water Resources Development*, 23(4), 659-677.
- Rutherford M., 1989. What is wrong with the new institutional economics (and what is still wrong with the old?). *Review of Political Economy*, Vol. 1, No.3, pp. 299-318.
- Rutherford, M. 1996. *Institutions in economics: the old and the new institutionalism*. Cambridge University Press.
- Sadoulet E. et De Janvry A., 1995. *Quantitative Development Analysis*. The Hopkins University Press.
- Salem, A. 2007. La tarification de l'eau au centre de la régulation publique en Algérie. *Actes des JSIRAUF, Hanoi*.
- Saleth R.M. et Dinar A., 1999a. Water challenge and institutional response: a cross-country perspective, World Bank policy research working paper no. 2045, Washington, DC
- Saleth R.M. et Dinar A., 1999b. Evaluating water institutions and water sector performance, World Bank technical paper no. 447, Washington, DC
- Saleth R.M. et Dinar A., 2000. Institutional changes in global water sector: trends, patterns, and implications. *Water Policy* 2 (3): 175–99.
- Saleth, MR. .2004. Strategic analysis of water institutions in India : Application of a new research paradigm. SWIM research report n° 79. pp 37.
- Saleth R.M., et Dinar A., 2004. *The institutional economics of water: a cross-country analysis of institutions and performance*. Edward Elgar Publishing.

- Saleth M.R., 2005. The role of institutional changes in the water sector for achieving the MDGS in Asia and the Pacific region. Second Advisory Panel Meeting on MDGs in Asia and the Pacific, 1-2 March 2005. United Nations Conference Center, Bangkok.
- Saleth, R. M. and Dinar, A. 2005. Water institutional reforms: theory and practice, *Water Policy*, 7: 1-19.
- Saleth R.M., et Amarasinghe U.A., 2010. Promoting irrigation demand management in India: options, linkages and strategy. *Water Policy*, 12(6), 832-850.
- Saleth R.M., Bassi N., et Kumar M.D., 2016. Role of Institutions, Infrastructures, and Technologies in Meeting Global Agricultural Water Challenge. *Choices*, 31(3).
- Salhi S, Bédrani S, 2010. Reconversion au goutte-à-goutte : les limites du PNDA. In: Imache A, Hartani T, Bouarfa S, Kuper M. La Mitidja 20 ans après : réalités agricoles aux portes d'Alger. Alger : éditions Alpha.
- Sanz G.L., 1999. Irrigated agriculture in the Guadiana River high basin (Castilla-La Mancha, Spain): environmental and socioeconomic impacts. *Agricultural Water Management*, 40(2), 171-181.
- Sayin B. et Yilmaz I., 2015. Comparing the Relative Efficiency of Irrigation Unions in Antalya, Turkey: A Data Envelopment Analysis. *Water Economics and Policy*, 1(01), 1450005.
- Scheierling S.M., Loomis J.B., et Young R.A., 2006. Irrigation water demand: A meta-analysis of price elasticities. *Water resources research*, 42(1).
- Schmid, A. 2004. *Conflict and cooperation, institutional and behavioral economics*. Blackwell Publishing.
- Schoengold, K., Sunding D.L., et Moreno G., 2006. Price elasticity reconsidered: Panel estimation of an agricultural water demand function. *Water Resources Research*, 42(9).
- Searle, J. R. 2005. What is an Institution?. *Journal of institutional economics*, 1(1), 1-22.
- Senthilkumar, K., Bindraban, P. S., de Ridder, N., Thiagarajan, T. M., et Giller, K. E., 2012. Impact of policies designed to enhance efficiency of water and nutrients on farm households varying in resource endowments in south India. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 59(1), 41-52.
- Seyoum E.T., Battese G.E., et Fleming E.M., 1998. Technical efficiency and productivity of maize producers in eastern Ethiopia: a study of farmers within and outside the Sasakawa-Global 2000 project. *Agricultural economics*, 19(3), 341-348.
- Shirley M.M., 2005. Institutions and Development. In Menard C. et Shirley M.M. (eds), *Handbook of New Institutional Economics*. Norwood, MA: Kluwer Academic Publishers.
- Siddiki S., Weible C.M., Basurto X., et Calanni J., 2011. Dissecting Policy Designs: An Application of the Institutional Grammar Tool. *Policy Studies Journal*, 39 (1): 73–97.

- Singh K., 2007. Rational pricing of water as an instrument of improving water use efficiency in the agricultural sector: a case study in Gujarat, India. *Water Resources Development*, 23(4), 679-690.
- SOFRECO, 2012. *Evaluation de la demande en eau agricole et ses besoins estimatifs*.
- Speelman S., 2009. *Water use efficiency and influence of management policies, analysis for the small-scale irrigation sector in South Africa*. Ghent University.
- Speelman S., D'Haese M., Buysse J., D'Haese L., 2008. A measure for the efficiency of water use and its determinants, a case study of small-scale irrigation schemes in North-West Province, South Africa. *Agricultural systems*, 98(1), 31-39.
- Speelman, S., Buysse, J., Farolfi, S., Frija, A., D'Haese, M., et D'Haese, L., 2009. Estimating the impacts of water pricing on smallholder irrigators in North West Province, South Africa. *Agricultural water management*, 96(11), 1560-1566.
- Stein J., 1997. How institutions learn: a socio-cognitive perspective. *Journal of Economic Issues*, 31(3), 729-39.
- Tardieu, H., Préfol, B., 2002. Full cost or "sustainable cost" pricing in irrigated agriculture. Charging for water can be effective but is it sufficient? *Irrigation and Drainage*, 51, 97-107.
- Tatar H., 2013. Transformations foncières et évolution des paysages agraires en Algérie. *Méditerranée*, (1), 37-46.
- Thiam, A., Bravo-Ureta, B. E., et Rivas, T. E., 2001. Technical efficiency in developing country agriculture: a meta-analysis. *Agricultural economics*, 25(2-3), 235-243.
- Thiry, B. et H. Tulkens, 1988. Productivité, efficacité et progrès technique, notions et mesures dans l'analyse économique. In "L'efficacité économique", rapport préparatoire du huitième congrès des économistes belges de langue française, commission 5, 17 et 18 novembre 1988, 17- 51.
- Thivet G., Blinda M., 2008. *Gestion de la demande en eau en Méditerranée, progrès et politiques*. Plan bleu
- Tiwari, D., Dinar, A., 2001. Role and Use of Economic Incentives in Irrigated Agriculture. Working Paper. World Bank, Washington, DC.
- Touati B., 2012. Les Barrages et la politique hydraulique en Algérie : état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable. Thèse de doctorat. Université MENTOURI – CONSTANTINE
- Trouinard A., 2004. Les effets de l'arrivée de nouveaux concurrents dans un champ fortement institutionnalisé : le cas de la presse quotidienne parisienne. Xiii^e conférence de l'association internationale de management stratégique. normandie, vallée de seine.
- Tsur Y., 2004. Introduction to special section on irrigation water pricing. *Water resources research*, 40(7), 1-9.

- Tsur Y., 2010. *Pricing Irrigation Water: Principles and Cases from Developing Countries*. Routledge.
- Tulkens, H., 1986. La performance productive d'un service public. Définitions, méthodes de mesure et application à la Régie des Postes en Belgique. *L'Actualité économique*, 62(2), 306-335.
- United Nations, 2007. Rapport Sur Le Commerce et le Développement, 2006: Partenariat Mondial Et Politiques Nationales De Développement. United Nations Publications, 21 sept. 2007 - 268 pages
- Valensuela D., 2009. Les modes de tarification et de distribution de l'eau pour l'agriculture dans le bassin méditerranéen. Office international de l'eau.
- Van Steenberghe F., Verheijen O., Van Aarst S., et Mehari A., 2008. Spate irrigation, livelihood improvement and adaptation to climate variability and change. International Fund for Agricultural Development. IFAD/Meta.
- Varela-Ortega, C., Sumpsi, J. M., Garrido, A., Blanco, M., et Iglesias, E., 1998. Water pricing policies, public decision making and farmers' response: implications for water policy. *Agricultural economics*, 19(1), 193-202.
- Varian H., 1994. Introduction à la Microéconomie, number 3ème édition, De Boeck Université, Bruxelles, 509 p.
- Veblen T.B. 1919. *The Place of Science in Modern Civilization and Other Essays*, New York: Huebsch.
- Veetil, P. C., Speelman, S., Frija, A., Buysse, J., et Van Huylenbroeck, G., 2011. Complementarity between water pricing, water rights and local water governance: A Bayesian analysis of choice behaviour of farmers in the Krishna river basin, India. *Ecological Economics*, 70(10), 1756-1766.
- Verbeek M., 2008. *A guide to modern econometrics*. John Wiley et Sons.
- Violleau J. V., 1999. *Déminéralisation par électrodialyse en présence d'un complexant. Applications au lactosérum* (Doctoral dissertation).
- Wadud A., White, B., 2000. Farm household efficiency in Bangladesh: a comparison of stochastic frontier and DEA methods. *Applied Economics* 32, 1665–1673.
- Weinstein O., 2013. Comment comprendre les «communs»: Elinor Ostrom, la propriété et la nouvelle économie institutionnelle. *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs*, (14).
- Westerhoff, G., Lane, T., 1996. Competitive ways to run water utilities. *Journal of American Water Works Association (JAWWA)*, 96–101
- Wiborg, T., McCarl, B. A., Rasmussen, S., et Schneider, U. A., 2005. Aggregation and calibration of agricultural sector models through crop mix restrictions and marginal profit

- adjustments. In *2005 International Congress, August 23-27, 2005, Copenhagen, Denmark* (No. 24567). European Association of Agricultural Economists.
- Wichelns D., 2002. An economic perspective on the potential gains from improvements in irrigation water management. *Agricultural Water Management*, 52(3), 233-248.
- Wichelns D., 2004. New policies are needed to encourage improvements in irrigation management. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130(5), 366-372.
- Wijnen, M., Augeard, B., Hiller, B., Ward, C., Huntjens, P., 2012. Managing the Invisible – Understanding and Improving Groundwater Governance. Water Papers. World Bank.
- Williamson O.E. 1994. Institutions and economic organization: the governance perspective, annual bank conference on development economics, Washington, DC: World Bank.
- Williamson O.E., 1975. *Markets and hierarchies: analysis and antitrust implications: a study in the economics of internal organization*. New York, The Free Press.
- Williamson O.E., 1985. *The Economic Institutions of Capitalism*, New York, The Free Press.
- Williamson O.E., 1996. *The mechanisms of governance*, New York, NY, Oxford University Press.
- Williamson O.E., 2000. The new institutional economics: taking stock, looking ahead. *Journal of economic literature*, 38(3), 595-613.
- Wooldridge J.M., 2002. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, UK
- WssTP, 2012. Irrigated Agriculture Water Saving Options in Irrigation, Looking for Efficient Techniques, Irrigation Management and Adapted Cropping Practices. Water Supply and Sanitation Technology Platform (WssTP), <http://www.wsstp.eu/files/WSSTPX0001/library/agriculture/SP%20Agriculture%20VI.pdf>.
- Yessad N., 2012. Contribution à l'étude du financement et de la tarification dans le secteur de l'eau potable en algérie : cas de l'Algérienne des eaux. Mémoire de Magister en Science Economiques. Option : Economie de l'Environnement. Université Abderrahmane Mira, Béjaia.
- Young, R. A., et Loomis, J. B., 2014. *Determining the economic value of water: concepts and methods*. Routledge.
- Zeggagh A., Thomas A., et Ferfera M.Y., 2010. Evaluation économique des performances des services d'eau potable Algériens. *Les cahiers du cread*, 92, 119-152.
- Zhou, Q., Wu, F., et Zhang, Q., 2015. Is irrigation water price an effective leverage for water management? An empirical study in the middle reaches of the Heihe River basin. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 89, 25-32.

Annexes

Annexe A. Questionnaire d'enquête*Questionnaire d'enquête :*

Date : Enquête N° :
 Daïra : Commune :
 Nom du chef de l'exploitation : Tél. :.....

A- L'identification de l'exploitation et son chef:

1. Âge du chef d'exploitation : sexe : M F
2. Taille du ménage :....
3. Depuis quand exercez-vous ce métier ?
4. Niveau d'instruction :
 - Analphabète : Primaire :
 - Moyen : Secondaire :
 - Supérieur :
5. Formation en agriculture Oui Non
6. Avez-vous une autre activité professionnelle en parallèle ? Oui Non
 Si oui laquelle ?
7. Avez-vous eu une autre activité avant d'être agriculteur.....
8. Pourquoi avoir choisi l'agriculture.....
9. Avez-vous un successeur pour votre exploitation ? Oui Non
10. Encouragez-vous vos enfants à reprendre l'exploitation ? Oui Non
11. Êtes-vous membre d'une association professionnelle agricole ? Oui Non
 Si OUI laquelle?.....
 - quels sont les services qu'elle vous rend?

B- Structure générale de l'exploitation :**L'assiette foncière :**

1. SAUT :..... ha dont la superficie privé.....ha. Louée :.....ha
2. Etes-vous propriétaire Oui Locataire Gérant
3. Mettez-vous des terres en location ? Ouiha Non
4. Superficie irrigable : ha
5. Le statut de l'exploitation :
 - EAI Exploitation privée Exploitation familiale
6. Parmi les éléments suivants concernant votre exploitation quels sont ceux qui vous posent problème :
 - Type de sol
 - Problème de drainage
 - L'accès à l'exploitation

- Prise d'oued : Oui Non
 Compteur : Individuel commun combien :.....

1. Si l'exploitation utilise une ressource collective, décrire la procédure d'utilisation. Les quantités d'eau prélevées et le coût monétaire payé pour l'eau consommée annuellement.

.....

2. Quel type d'énergie :
 Quantité : Prix :

3. Depuis quand pratiquez-vous les cultures sous serre ? ans

4. Quels type de techniques d'irrigation utilisez-vous et depuis quand ?

- Rigole
 Goutte à goutte.....

5. Votre exploitation est-elle confrontée aux problèmes suivants de manque d'eau ?

- Baisse de niveau de l'eau (oued)
 Assèchement des nappes (puits/forage)
 Conflits entre usagers

6. Pensez-vous que la qualité de l'eau dans votre exploitation est ?

- Plutôt bonne
 Plutôt satisfaisante
 Plutôt médiocre
 Plutôt mauvaise

Selon vous comment peut-on intervenir pour améliorer sa qualité

.....

7. Parmi les problèmes suivants quels sont ceux entraînant la dégradation de la qualité de l'eau utilisée ?

- Salinisation
 Pollution chimique
 Pollution liée aux eaux usées
 Autre.....

8. Pensez-vous que la quantité d'eau a augmenté ou bien diminué durant les dernières années ? depuis quand

9. Voulez-vous diminuer votre consommation d'eau ? Oui Non

10. Face à un problème de manque d'eau, comment réagissez-vous ? (stratégie)

- Je diminue la surface irriguée sur l'ensemble de l'exploitation
 Je diminue la quantité d'eau à l'hectare
 Je pratique des cultures à cycle court et peu exigeantes en eau
 Je diversifie les ressources en eau (puits, forage...)
 Autre.....

11. Avez-vous manqué d'eau pour l'irrigation ces dernières années ? Oui Non.

Quels sont les autres problèmes rencontrés en matière d'irrigation ?.....

.....

Economie de l'eau :

1. Quels sont les obstacles pour adopter des techniques économes en eau ?

- Coût élevé des équipements
- Aides de l'Etat insuffisantes ou difficiles à obtenir
- Manque de formations techniques d'irrigation
- Manque de rentabilité des techniques d'irrigation

2. Pensez-vous que l'eau sera de plus en plus rare à l'avenir ? Oui Non

Si Oui, Que faut-il faire ?

- L'Etat doit investir davantage dans la mobilisation de l'eau
- L'Etat devrait autoriser les forages privés
- Traiter les eaux non conventionnelles
- Développer et soutenir les techniques d'irrigation économes

3. Ces dernières années, dans votre région, la situation générale concernant l'irrigation

- S'est améliorée
- S'est dégradée
- Pas eu d'évolution

4. De combien a augmenté le rendement après adoption du goutte à goutte ?

Exemple de culture

Risques

1. Pertes de production liées à l'eau

- | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--|
| Sécheresse (octobre- avril) | <input type="checkbox"/> Nuls | <input type="checkbox"/> Peu | <input type="checkbox"/> Assez | <input type="checkbox"/> très importants |
| Inondation ou mauvais drainage | <input type="checkbox"/> Nuls | <input type="checkbox"/> Peu | <input type="checkbox"/> Assez | <input type="checkbox"/> très importants |
| Salinisation | <input type="checkbox"/> Nuls | <input type="checkbox"/> Peu | <input type="checkbox"/> Assez | <input type="checkbox"/> très importants |

2. Savez-vous que la succession d'une culture sur la même parcelle peut avoir des effets néfastes Oui Non

Rapports sociaux :

1. En cas de problèmes ou de difficultés de gestion de l'eau dans l'exploitation, sur qui compter?

- Ma famille
- Mes voisins et collègues
- Sur une association
- Sur des conseillers techniques vendeur de semences
- Sur l'Etat
- Moi seul

2. Participez-vous à des réunions ? Oui Non

C- La production agricole :

1. Quelle est la principale culture de votre exploitation ?
2. Pourquoi vous avez choisi cette culture plutôt que d'autres ?
.....
- 3.

L'installation de la culture :

Culture 1 : nbr de serres =

Tech. D'irrigation : Variété :

Action	manuelle	Mécanique	Mois de l'action	Jour /ha	h/j	Prix/h	Main d'œuvre	Prix MO/j	Subvention
Travail du sol									
Semis									
Désherbage									
Semences	Nombre sachet=..... ,		Prix/sachet=.....Da			dont subvention=.....Da			

Frais de la taille des arbres :

Culture 2 : ST=.....ha dont SI=.....ha

Tech. D'irrigation : Variété :

Action	manuel le	mécaniqu e	Mois de l'action	Jour Quantité/ha	h/j	Prix/h	Main d'œuvre	Prix MO/j	Subvention
Travail du sol									
Semis									
Désherbage									
Semences	Nombre sachet =..... ,		Prix/sachet=.....Da			dont subvention=.....Da			

Culture 3 : ST=.....ha dont SI=.....ha

Tech. D'irrigation :

Action	manuel le	mécaniqu e	Mois de l'action	Jour Quantité/ha	h/j	Prix/h	Main d'œuvre	Prix MO/j	Subvention
Travail du sol									
Semis									
Désherbage									
Semences	Nombre sachet =.....,		Prix/sachet=.....Da			dont subvention=.....Da			

1. Avez-vous bénéficié d'un programme de vulgarisation sur les installations des cultures ?
Oui Non

Si oui quelle institution?.....

2. Problèmes rencontrés :

- Main d'œuvre
- Disponibilité des tracteurs
- Autre.....

L'eau et l'irrigation :

1. Quel type de technique d'irrigation et depuis quand l'utilisez-vous ?

- Aspersionha depuis.....
 Micro-irrigation (goute à goutte, diffuseurs).ha depuis.....

2. Avez-vous une idée sur la technique la plus économisée de l'eau d'irrigation ?

- Oui Non

Si oui la quelle et pourquoi ?

3. Avez-vous bénéficié d'un appui technique sur cette technique d'irrigation ?

- Oui Non

4. Programme d'irrigation.

mois	Fréquence d'irrigation	Temps d'irri. (min)	Nbr de serre à la fois	Distance du puits	Facture ONID
Dec.					
Jan.					
Fev.					
Mars					
Avril					
Mai					
Juin					
Juillet					

5. Dépenses pour la réparation de matériels et équipements :

.....

Le traitement phytosanitaire et engrais :

1. Avez-vous bénéficié d'un appui technique sur l'utilisation des produits phytosanitaire et des produits chimiques ? Oui Non

Si oui quelle institution :

Engrais :

Culture	Avant semi (kg)	Après semi	Quantité
		<input type="checkbox"/> chaque <input type="checkbox"/> une par une	
		<input type="checkbox"/> chaque <input type="checkbox"/> une par une	

Traitement :

Culture	fréquence	Coût d'un traitement

Récolte:

1. Participez-vous à la récolte ? Oui Non

Cultures	Date de la 1ère réc.	Date dernière réc.	(N) Jours de récolte	Main d'œuvre (N)	Prix de main d'œuvre/jour

Commercialisation :

1. Quel est le type de commercialisation de vos produits ?

- Vente direct au niveau de l'exploitation
- Vente directe aux marchés de gros
- Vente directe aux marchés de détail
- Entreprise de transformation

Bilan

Produits	Nbr caisses/ récolte moy	Nbr caisses max	Poids de la caisse	Prix de vente

Annexe C. Effet de l'utilisation du goutte à goutte sur l'EUE**Tableau C1.** Test de Normalité (test de Jarque-Bera)

	Gravitaire	Goutte à goutte
JB (Valeur observée)	0,461	5,336
JB (Valeur critique)	5,991	5,991
DDL	2	2
p-value	0,794	0,069
alpha	0,05	0,05

H_0 : l'échantillon suit une loi Normale, H_a : si non.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification (seuil $\alpha=0,05$), l'hypothèse nulle H_0 est validée.

Tableau C2. Test d'Homogénéité des variances (test de Levene)

F (Valeur observée)	0,552
F (Valeur critique)	4,007
DDL1	1
DDL2	58
p-value (unilatérale)	0,460
alpha	0,05

H_0 : les variances sont identiques, H_a : au moins l'une des variables est différente des autres.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification (seuil $\alpha=0,05$), on peut valider l'hypothèse nulle H_0 .

Tableau C3. Test t pour deux échantillons indépendants (niveau de signification : 5%)

Différence	24,417
t (Valeur observée)	3,151
t (Valeur critique)	2,002
DDL	58
p-value (bilatérale)	0,003
alpha	0,05

H_0 : la différence entre les moyennes est égale à 0, H_a : Si non.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au seuil de signification $\alpha=0,05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H_0 et retenir l'hypothèse alternative H_a .

Annexe D. Coût de revient du m³ d'eau d'irrigation par périmètre irrigué pour la campagne d'irrigation 2016 (Source : ONID)

Direction régionale	Unité d'exploitation	Périmètre	Charges (DU + siège de la DR et de la DG)	eau produite MTR (Hm ³)	eaux distribuées (Hm ³)	Superficies irriguées (Ha)	Tarif de distribution volumétrique (DA/m ³)
Oranie	Habra	Habra	148.86	27.113423	18.211	6994.00	2.50
		Brezina			2.103	435.00	2.00
	Sig	Sig	88.06	42.51	27.739	5264.00	2.50
		Hennaya			2.503	665.00	0.00
		Ain skhouana			4.405	1000.00	2.00
	Total Oranie			236.92	69.62	54.96	14358.00
Cheliff	Haut cheliff	Haut cheliff	333.51	52.409	45.359	7602.80	2.50
	Moyen cheliff	Moyen cheliff	17.42	47.039	35.346	5344.93	2.00
	Bas cheliff	Bas cheliff	147.26	50.67495	46.659	704.34	2.00
		Kramis			1.495	353.75	2.00
	Mina	Mina	128.19	30.72	25.963	7880.00	2.00
	Amra abadia	Amra abadia	201.82	12.598	11.981	2433.15	2.00
	Dahmouni	Dahmouni	156.19	5.844	15.666	2183.45	2.00
		Bougara			0.459	150.25	2.00
M'ghila		0.399			110.00	2.00	
Total Cheliff			1154.39	199.28	183.33	33132.67	/
Algérois	Hamiz	Hamiz	154.93	16.333973	8.021	1715.00	2.50
		Plateau del asnam			3.322	830.19	2.00
	Ahmer el ain	Mitidja ouest	251.91	13.203267	8.841	3550.07	2.50
		Sahel algeroise			2.027	412.66	2.00
		Mitidja entre			0.809	532.52	2.00
Total Algerois			406.84	29.54	23.02	7040.44	/
Constantinois	Bouamoussa	Bouamoussa	156.70	24.937	15.590	2600.59	2.50
	Guelma bouchegouf	Guelma Bouchegouf	374.88	31.32	25.044	3273.10	2.50
		Sadrata	35.02	9.27	3.640	797.23	2.00
		Ksar sbihi			4.300	1863.86	2.00
	Skikda	Saf – saf	82.37	13.86	6.304	1095.43	2.00
		Zit emba			5.319	1463.00	2.00
		Collo			0.812	159.55	2.00
jijel	Jijel	37.63	2.11	1.713	891.00	2.00	
Total Constantinois			686.60	81.51	62.72	12143.76	/
Sahara	Oued righ	Oued righ	173.97	71.507	69.298	5802.00	/
	outaya	Outaya	99.67	5.619	5.393	965.00	2.00
	Total Sahara			273.65	77.13	74.69	6767.00
Total onid			2758.39	457.08	398.72	73441.87	/