

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للعلوم الزراعية – الحراش

École Nationale Supérieure d'Agronomie – El Harrach

قسم علم الاقتصاد الريفي

Département d'Économie Rurale



THÈSE

En vue de l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Spécialité : Economie rurale

Option : Développement Rural

Sur le thème :

ANALYSE DES DÉTERMINANTS DU CHOIX DES TECHNOLOGIES D'IRRIGATION PAR LES EXPLOITATIONS DE LA MITIDJA

Réalisée par :

Samir BELAIDI

Présentée et soutenue publiquement devant le jury composé de :

M. Brahim MOUHOUCHE	Professeur, ENSA, Alger	Président de Jury
M. Foued CHEHAT	Professeur, ENSA, Alger	Directeur de thèse
M. Ali DAOUDI	Professeur, ENSA, Alger	Examineur
M. Salah Eddine BENZIOUHE	Professeur, Université de Biskra	Examineur
M. Ahmed BENMIHOUB	Directeur de Recherche, CRAED	Examineur

Année universitaire 2021/2022

العنوان: تحليل محددات اختيار تقنيات الري من قبل مزارع متيجة

الملخص

الهدف من هذه الأطروحة هو تحليل العوامل المحددة لعملية اعتماد تقنيات الري المقتصدة للمياه في سهل متيجة منطقة الغربية الجزائرية 1. على أساس دراسة تجريبية، نسعى لنمذجة اختيار المزارع الذي يواجه اعتماد تقنية الري والرشد الموضعي، وذلك من خلال البحث عن العوامل المهمة التي تؤثر على تبني التقنيات الري الجديدة من قبل المزارعين وما تأثير كل منهما المحدد له على سلوك التبنّي.

تقارن أطروحتنا الملاحظات الميدانية (على المزارعين الذين شملهم المسح) مع العناصر الموجودة في الدراسات السابقة حول اختيار تقنيات الري. لهذا، قمنا باتباع مقاربتين للتغيير التقني: مقارنة التفضيلات المكشوفة (النماذج الاقتصادية القياسية) ومقارنة التفضيلات المعلنة.

تم جمع البيانات من خلال مسح شمل 136 مزارعاً في منطقة الدراسة. سمحت لنا التحقيقات التجريبية بتوجيه منهجية العمل نحو نماذج الاختيار، والتي تم اختيار كل من النموذج اللوجستي، والنموذج الاحتمالي لتوبين ونموذج بواسون ونموذج ثنائي الحد السلبي، لشرح التبنّي المقاس على أساس أنه اختيار، معدل وحدة.

تشير النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها في أطروحتنا إلى أنه من الواضح أنه بالتوازي مع السياسة الوطنية لتوفير مياه الري وبرنامج دعم معدات توفير المياه، يجب على الحكومة التركيز على مجموعة من التدابير المصاحبة التي يمكن أن تعزز نشر تقنيات الري الجديدة. يمكن أن يكون تشجيع صغار المزارعين، وبرامج التعليم والتدريب المهني للري، وتوعيتهم، وتحسين آليات التمويل في سهل متيجة، من بين هذه التدابير. يمكن تصور أشكال أخرى من التدخل مخصصة لهذه الفئة من السكان. وتشمل هذه تخفيف وتحسين آليات الحوافز لاعتماد تقنيات الري المواتية للحفاظ على الموارد المائية. إن دعم تقنيات الري المقتصدة للمياه سيققل من تكلفة وأسعار المياه للمزارعين الذين يفكرون في اعتمادها. من المحتمل أن تخفف هذه السياسة من بعض آثار قيود رأس المال على المزارعين، ولكن إلى حد صغير فقط.

لا يمكن إنكار أن لهذه الدراسة لها نقائص والتي تطرح، في نفس الوقت، العديد من الآفاق البحثية.

الكلمات الدالة: الزراعة؛ الجزائر؛ الابتكار؛ تكنولوجيا الري؛ متيجة. نماذج تنبؤية محيط مروي.

Titre : Analyse des déterminants du choix des technologies d'irrigation par les exploitations de la Mitidja

Résumé

L'objectif de cette thèse est d'analyser les facteurs déterminants du processus de l'adoption des TIEE dans la plaine de Mitidja (Zone de Mitidja Ouest, Tranche 1). Sur la base d'une étude empirique, nous cherchons à modéliser le choix de l'agriculteur face à l'adoption de technologie d'irrigation localisée et aspersion, et ce en cherchant les facteurs significatifs qui influencent l'adoption des nouvelles technologies d'irrigation par les agriculteurs et quel effet exerce chaque déterminant sur le comportement d'adoption.

Notre thèse confronte les observations de terrain (sur les irrigants enquêtés) aux éléments trouvés dans la littérature sur la sélection des technologies d'irrigation. Pour cela, nous avons mobilisé deux approches du changement technique : l'approche des préférences révélées (modèles économétriques) et l'approche des préférences déclarées.

La collecte des données s'est réalisée à travers une enquête auprès de 136 agriculteurs de la zone d'étude. Les investigations empiriques nous ont permis d'orienter la méthodologie du travail vers les modèles de choix, dont les modèles de Logit, Tobit et Poisson/Binomiale Négative ont été sélectionnés pour expliquer l'adoption qui est un choix, un taux et une intensité.

Les principaux résultats obtenus dans notre thèse stipulent qu'il est clair qu'en parallèle de la politique nationale d'économie d'eau d'irrigation et du programme de subvention des équipements d'économie d'eau, le gouvernement doit se concentrer sur un ensemble de mesures d'accompagnement qui pourront promouvoir la diffusion des nouvelles techniques d'irrigation. L'encouragement des jeunes agriculteurs, les programmes d'éducation et de formation professionnelle des irrigants, leur sensibilisation, et l'amélioration des mécanismes de financement dans la plaine de Mitidja, peuvent être parmi ces mesures. D'autres formes d'interventions destinées à cette population peuvent être envisagées. Parmi celles-ci figurent l'assouplissement et l'amélioration de mécanismes d'incitation à l'adoption des techniques d'irrigation favorables à la préservation des ressources hydriques. Subventionner la TIEE permettra de réduire le coût et le prix de l'eau pour les agriculteurs qui envisagent de l'adopter. Cette politique atténuera potentiellement certains des effets des contraintes de capital sur les agriculteurs, mais seulement dans une faible mesure.

Cette étude présente incontestablement des limites qui constituent, en même temps, autant de perspectives de recherche.

Mots clés : agriculture, Algérie, innovation, technologie d'irrigation, Mitidja, modèles prédictifs, périmètre irrigué.

Title: Analysis of determinants of Irrigation Technologies Choice by Farms in Mitidja.

Abstract

The objective of this thesis is to analyze the determining factors of the process of the adoption of the WSIT in the plain of Mitidja (Zone of Mitidja Ouest, Tranche 1). On the basis of an empirical study, we seek to model the choice of the farmer faced with the adoption of localized irrigation and sprinkler technology, and this by seeking the significant factors that influence the adoption of new irrigation technologies by farmers and what effect each determinant has on adoption behavior.

Our thesis compares field observations (on the irrigators surveyed) with elements found in the literature on the selection of irrigation technologies. For this, we mobilized two approaches to technical change: the revealed preference approach (econometric models) and the declared preference approach.

Data collection was carried out through a survey of 136 farmers in the study area. The empirical investigations allowed us to direct the methodology of the work towards the models of choice, of which the models of Logit, Tobit and Poisson/Binomial Negative were selected to explain the adoption which is a choice, a rate and a intensity.

The main results obtained in our thesis state that it is clear that in parallel with the national irrigation water saving policy and the subsidy program for water saving equipment, the government must focus on a set of accompanying measures that can promote the dissemination of new irrigation techniques. The encouragement of young farmers, education and professional training programs for irrigators, their awareness, and the improvement of financing mechanisms in the Mitidja plain, can be among these measures. Other forms of intervention intended for this population can be envisaged. These include the relaxation and improvement of incentive mechanisms for the adoption of irrigation techniques favorable to the preservation of water resources. Subsidizing the WSIT will reduce the cost and price of water for farmers considering adopting it. This policy will potentially mitigate some of the effects of capital constraints on farmers, but only to a small extent.

This study undeniably has limitations which constitute, at the same time, as many research perspectives.

Keywords : agriculture, Algeria, innovation, irrigation technologies, Mitidja ; predictive models ; irrigated perimeter.

Remerciements

Au terme de ce travail, c'est avec plaisir que je remercie vivement tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Mes vifs remerciements s'adressent d'abord à mon directeur de thèse M. CHEHAT Foued pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant de diriger cette thèse, et de m'avoir encadré et avec bienveillance et rigueur scientifique pour l'aboutissement de ce travail, il m'a laissé libre de choisir ma voie et a su me guider lorsque cela était nécessaire, il trouvera ici tout mon profond respect.

Je tiens à remercier l'ensemble des membres du jury, M. MOUHOUCHE Brahim pour avoir accepté et m'a fait l'honneur de présider le jury. Messieurs DAOUDI Ali, BENZIOUCHE Salah Eddine, BENMIHOUB Ahmed qui ont bien voulu examiner cette thèse.

Je remercie chaleureusement Dr. Mohamed amine BENMEHAIA pour son aide, ses commentaires sur le fond et la forme ainsi que pour sa disponibilité au cours de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également aux enseignants de l'ENSA qui ont contribué à ma formation et particulièrement du département d'économie rurale.

Je remercie fortement les différents responsables des institutions, qui m'ont apporté leurs précieuses aides dans mes enquêtes du terrain et ma gratitude et mes respects sont adressés à l'ensemble des agriculteurs du périmètre de la Mitidja Ouest Tranche 1, qui ont fait preuve de bonne volonté et de disponibilité sans retenue

Enfin, merci à ma famille.

Grand MERCI à tous.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
Le champ de questionnement : Problématique de recherche.....	3
Méthodologie adoptée.....	4
Structure du document	7
PARTIE I. L'IRRIGATION ET SES ENJEUX : CADRE CONCEPTUEL DE L'ÉTUDE	9
CHAPITRE 1 : POLITIQUES DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE ET RESSOURCES EN EAU : ÉTAT DES LIEUX EN ALGÉRIE.....	10
1. Ressources en eau en Algérie.....	10
1.1. Contexte géographique et climatique	10
1.2. Le changement climatique en Algérie.....	14
1.3. Les potentialités en eau de l'Algérie	16
1.3.1. Les potentialités en eau superficielle	16
1.3.2. Potentialités en eau souterraine	17
1.4. Les modes de mobilisation des ressources en eau.....	19
1.4.1. Eau conventionnelle	19
1.4.2. Eau non conventionnelle	26
2. La politique de gestion des ressources d'eau en Algérie.....	31
2.1. Institutions et dispositions législatives de la politique de l'eau en Algérie	31
2.2. La politique de gestion intégrée des ressources en eau	36
2.3. La politique de tarification de l'eau agricole	39
2.4. Politique d'économie des ressources en eau	43
3. La plaine de la Mitidja : Une exploration d'un périmètre irrigué.....	51
3.1. Situation géographique et délimitation	51
3.2. Les caractéristiques naturelles du périmètre d'étude	54
3.2.1. Le climat.....	54
3.2.2. Les caractéristiques hydrologiques	57
3.2.3. Les caractéristiques du sol.....	59
3.2.4. Les aptitudes culturelles	61
3.3. La politique de la gestion de l'eau dans le périmètre	67
3.4. Les techniques d'irrigation pratiquées dans la Mitidja	72
4. Conclusion	75
CHAPITRE 2 : LE CHANGEMENT DE TECHNOLOGIES D'IRRIGATION : ENJEUX ET RÉALITÉS	77
1. Technologie d'irrigation économe en eau : Du traditionnel au plus efficient !	78
1.1 Les technologies d'irrigation agricole de surface	78
1.2 Les technologies d'irrigation agricole économes en eau	80
1.3. Jauger l'efficacité de l'irrigation et de l'utilisation de l'eau	81
1.4. La comparaison des méthodes d'irrigation	83
2. Technologie modernes d'irrigation : Enjeux et bénéfices	83
2.1. Impact des technologies d'irrigation	83
2.2. L'effet rebond et le paradoxe de Jevons	87
2.3. Efficacité et économies réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation.....	88
3. Débat sur les économies d'eau par les technologies d'irrigation	99
4. Conclusion	103
CHAPITRE 3 : THÉORIE DE LA DIFFUSION ET DE L'ADOPTION DES TECHNOLOGIES DANS L'AGRICULTURE	104
1. Théorie de l'adoption et la diffusion des innovations.....	104

1.1 Concepts et fondements théoriques des analyses d'adoption et de diffusion	105
1.2. Les modèles d'analyse de l'adoption des innovations	109
2. Théorie de l'adoption et la diffusion des technologies en agriculture	113
2.1. L'adoption en agriculture	116
2.2. Le rythme (vitesse) d'adoption des technologies agricoles	122
2.3. Source et impact du progrès technologique en agriculture	123
2.4. Mode et séquence d'adoption des technologies agricoles	126
3. L'adoption et la diffusion des technologies d'irrigation.....	127
3.1. Les approches de l'adoption des technologies d'irrigation	128
3.1.1. Approche normative sur l'adoption des technologies d'irrigation	128
3.1.2. Approche positive sur l'adoption des technologies d'irrigation.....	131
3.2. Les facteurs influençant sur l'adoption des technologies d'irrigation	132
3.2.1. L'adoption et variables environnementales.....	133
3.2.2. L'adoption et variables institutionnelles	138
3.2.3. L'adoption et variables socioéconomiques	143
4.Conclusion	163
Conclusion de la première partie.....	164
PARTIE II. ANALYSE EMPIRIQUE DE L'ADOPTION DES TECHNOLOGIES D'IRRIGATION DANS LA MITIDJA	166
CHAPITRE 4 : MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE POUR L'ÉTUDE DE L'ADOPTION DES TECHNOLOGIES D'IRRIGATION DANS LA MITIDJA	167
1. L'échantillon et résultats préliminaires d'enquête auprès des irrigants	167
1.1. Population de l'étude et procédure d'échantillonnage	167
1.2. Résultats de l'enquête de terrain auprès des irrigants	170
1.2.1. Le système de production des exploitations enquêtées	170
1.2.2. Répartition des superficies cultivées selon les spéculations végétales	170
1.2.3. L'activité d'élevage dans les exploitations enquêtées.....	172
1.2.4. La répartition des bornes individuelles par exploitation agricole enquêtée	172
1.2.5. Les caractéristiques des technologies d'irrigation	173
2. Le cadre théorique du changement de technologies d'irrigation	181
2.1. Présentation du modèle théorique	182
2.1.1. Fonction de production.....	182
2.1.2. Fonction de profit	183
2.1.3. Contraintes de ressources	184
3.2.4. Contrainte de crédit	184
3.2.5. Maximisation du profit sous contraintes	185
2.2. Enseignement de la littérature et principales hypothèses.....	186
3. Cadre opératoire de l'analyse économétrique dans l'étude.....	192
3.1. Le choix des variables	192
3.1.1. Les variables dépendantes à inclure	192
3.1.2. Les variables explicatives à inclure.....	194
3.2. Les modèles utilisés de choix individuel.....	198
3.2.1. Le model Logit binomial.....	198
3.2.2. Le modèle Tobit	204
3.2.3. Le modèle de régression de Poisson/Binomiale	209
3.3. Théorie et principes des préférences déclarées	215
4.Conclusion	217
CHAPITRE 5 : ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DE L'ADOPTION DES TECHNOLOGIES D'IRRIGATION DANS LA MITIDJA	218
1. Adoption des technologies d'irrigation par les exploitants enquêtés de la Mitidja	218

1.1. Répartition des superficies des exploitations enquêtées par technique d'irrigation.....	219
2. Les facteurs empiriques de choix des technologies d'irrigation.....	221
2.1. Facteurs socio-économiques	222
2.1.1. La taille de la ferme.....	222
2.1.2. L'âge de l'exploitant	225
2.1.3. Le niveau d'instruction des exploitants.....	227
2.1.4. Diversification dans l'exploitation	230
2.1.5. Les contraintes budgétaires : Le coût des équipements d'irrigation	232
2.1.6. Mode d'accès à l'eau.....	237
2.1.7. La main d'œuvre agricole	246
2.2. Les caractéristiques institutionnelles.....	249
2.2.1 Statut juridique de l'exploitation.....	249
2.2.2. Le mode de faire valoir	251
2.2.3. La confiance des irrigants envers leurs institutions	252
2.3. Les caractéristiques du contexte d'adoption des irrigants.....	262
2.3.1. Le prix de l'eau d'irrigation	262
2.3.2. Le programme d'aide à l'investissement	264
2.3.3. Le mode de commercialisation	271
2.4. Le contexte social : Le transfert d'information.....	276
3.Conclusion	280
CHAPITRE 6 : ÉTUDE ÉCONOMÉTRIQUE DES DÉTERMINANTS DE L'ADOPTION DES TECHNOLOGIES D'IRRIGATION DANS LA MITIDJA	282
1. Les résultats d'évaluation des modèles estimés	283
2. Analyse des modèles empiriques estimés.....	291
2.1. Résultats et discussion des modèles économétriques.....	291
2.2. Résultats et discussion des préférences déclarées	307
3. Comparaison des préférences révélées et des préférences déclarées	312
4.Conclusion	312
Conclusion de la deuxième partie.....	315
CONCLUSION GÉNÉRALE	316
Synthèse de recherche	316
Apports de recherche.....	317
Limites et perspectives de recherche	323
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	324
ANNEXES	354

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Types du climat en fonction des zones en Algérie	12
Tableau 2. Pluviométrie moyenne annuelle des différentes régions de l'Algérie	13
Tableau 3. Projections climatiques réalisées par les modèles UKHI et ECHAM3TR	15
Tableau 4. Répartition spatiale des ressources de surface de l'Algérie.....	17
Tableau 5. Récapitulatif des potentialités en eau de l'Algérie	18
Tableau 6. La capacité des ressources superficielle par bassins hydrographiques (2011)	20
Tableau 7. Évolution de nombre de barrages, capacités et les volumes régularisable	22
Tableau 8. Évolution du nombre de retenues collinaires et petits barrages	23
Tableau 9. Inventaire physique des puits et de forages	23
Tableau 10. Les principaux transferts d'eau en Algérie.....	25
Tableau 11. Stations de dessalement d'eau de mer depuis 2013.....	29
Tableau 12. Évolution des volumes des eaux usées épurées au niveau national.....	30
Tableau 13. La tarification de l'eau agricole dans les périmètres irrigués en 1996 et 2005.....	40
Tableau 14. Le coût de l'eau -Prix de l'eau DA par m ³	42
Tableau 15. L'évolution des subventions 2000-2006.....	46
Tableau 16. Les subventions du matériel d'irrigation dans le plan quinquennal 2010-2014	48
Tableau 17. Les subventions dans le nouveau programme quinquennal 2015-2019	49
Tableau 18. Précipitations moyennes mensuelles en mm (1971-2008)	55
Tableau 19. Températures mensuelles moyennes (1971-2008)	56
Tableau 20. Les surfaces, le débit et l'alimentation du périmètre par secteur.....	65
Tableau 21. Répartition des exploitations agricoles par nature juridique en 2020.....	66
Tableau 22. Répartition des exploitations agricoles par nature juridique et par secteur	66
Tableau 23. Taux de recouvrement des coûts dans la région de Mitidja.....	70
Tableau 24. La répartition des superficies irriguées par les techniques d'irrigation dans le périmètre	74
Tableau 25. Systèmes d'irrigation disponibles au niveau du périmètre	74
Tableau 26. Valeur en pourcentages de l'efficacité au champ des systèmes d'irrigation	82
Tableau 27. Études comparant le rendement au goutte à goutte à d'autres méthodes	87
Tableau 28. Réduction des apports d'eau pour différentes cultures en Inde	90
Tableau 29. Preuve empirique du paradoxe de Jevons dans les politiques de conservation des eaux souterraines.....	98
Tableau 30. Les résultats empiriques sur l'adoption et la diffusion de l'irrigation économe en eau ...	162
Tableau 31. La sélection de l'échantillon dans le périmètre irrigué de Mitidja Ouest Tranche 1	169
Tableau 32. Répartition des superficies cultivées selon les spéculations végétales et l'adoption des TIEE	171
Tableau 33. La répartition des exploitants enquêtés par activité d'élevage pratiqué	172
Tableau 34. La répartition des bornes d'irrigation	172
Tableau 35. Avantages de l'aspersion mobile perçus par les exploitants	180
Tableau 36. Perception des avantages et inconvénients de l'irrigation par goutte à goutte par les exploitants	181
Tableau 37. Les hypothèses sur le changement dans la probabilité d'adoption d'une TIEE	194
Tableau 38. Définition et statistiques descriptives des variables dépendantes utilisées.....	197
Tableau 39. Définition et statistiques descriptives des variables du modèle d'adoption.....	196
Tableau 40. Répartition des superficies irriguées selon la technique d'irrigation et les cultures pratiquées (en ha).....	219
Tableau 41. Équipements et matériels des agriculteurs.....	221
Tableau 42. Classification des exploitations selon leur taille.....	222
Tableau 43. Taux de l'adoption des technologies d'irrigation par les exploitations enquêtées.....	224
Tableau 44. Relation entre l'application des technologies et la taille de l'exploitation agricole	224
Tableau 45. Tests du khi-deux entre l'adoption de TIEE et la taille de l'exploitation	224
Tableau 46. Tests de normalité entre l'adoption de TIEE et la taille de l'exploitation.....	226
Tableau 47. Statistiques descriptives de la taille de l'exploitation.....	225
Tableau 48. Tests non paramétriques pour l'adoption de TIEE et la taille de l'exploitation.....	225

Tableau 49. La répartition des exploitants enquêtés par classe d'âge	226
Tableau 50. Tests de normalité entre l'adoption de TIEE et l'âge de l'exploitant	226
Tableau 51. Statistiques descriptives sur l'âge de l'exploitant	226
Tableau 52. Tests non paramétriques pour l'adoption de TIEE et l'âge de l'exploitant	226
Tableau 53. Répartition des agriculteurs des exploitations enquêtées selon le niveau d'instruction ..	227
Tableau 54. La répartition des exploitants enquêtés par niveau d'instruction et adoption <i>TIEE</i>	228
Tableau 55. Tests du khi-deux entre l'adoption et le niveau d'éducation de l'exploitant	229
Tableau 56. Relation entre l'application des technologies et le niveau d'éducation	229
Tableau 57. Le degré d'association et la corrélation entre l'adoption des TIEE et l'éducation	230
Tableau 58. Statistiques descriptives de niveau d'éducation de l'exploitant	230
Tableau 59. Tests non paramétriques Mann-Whitney entre l'adoption des TIEE et l'éducation	230
Tableau 60. Résultats de croisement entre l'adoption de TIEE et la diversification au sein de l'exploitation (ADOPT*Divers)	231
Tableau 61. Résidus standardisés entre l'adoption de TIEE et la diversification	231
Tableau 62. Tests du khi-deux entre l'adoption de TIEE et la diversification	231
Tableau 63. Force d'association et la corrélation entre l'adoption de TIEE et la diversification	231
Tableau 64 : Tests de normalité entre l'adoption de TIEE et la diversification	231
Tableau 65 : Tests de normalité entre l'adoption de TIEE et la diversification	231
Tableau 66. Statistiques descriptives de la variable de diversification	232
Tableau 67. Estimation de l'équipement en micro-irrigation d'un hectare de l'arboriculture	233
Tableau 68. Estimation de l'équipement en micro-irrigation pour un hectare de serre	233
Tableau 69. Coût de l'investissement du matériel d'irrigation aspersion à l'hectare	234
Tableau 70. La répartition des exploitants enquêtés par la coût adoption des TIEE	235
Tableau 71. Tests du khi-deux Pearson entrel'adoption des TIEE et coût de l'investissement	236
Tableau 72. La corrélation entre le coût de l'investissementsur l'adoption des TIEE	237
Tableau 73. Nombre de forages recensés	237
Tableau 74. Caractéristiques physiques des forages utilisés par les exploitants enquêtés dans l'irrigation de leurs cultures.	238
Tableau 75. Les superficies irriguées par source d'irrigation dans les exploitations enquêtées	238
Tableau 76. Importance de l'origine des eaux utilisées par les exploitations enquêtées dans l'irrigation des cultures	239
Tableau 77. Nombre de forages par classe d'exploitation	240
Tableau 78 : Tests du khi-deux entre le mode d'accès à l'eau et l'adoption des TIEE	243
Tableau 79. La corrélation entre le mode d'accès à l'eau et l'adoption des TIEE	244
Tableau 80. Résidus standardisés ajustés entre l'adoption des TIEE et le nombre de forages utilisés par l'exploitant agricole	244
Tableau 81. Tests du khi-deux entre l'adoption des TIEE et le nombre de forages	244
Tableau 82. Tests de normalité entre l'adoption des TIEE et le nombre de forages	244
Tableau 83. Statistiques descriptives de la variable de nombre de forages	245
Tableau 85. Tests de normalité entre l'adoption des TIEE et le ratio de forages	245
Tableau 85. Tests de normalité entre l'adoption des TIEE et le ratio de forages	245
Tableau 86. Statistiques descriptives de la variable ratio de forages	245
Tableau 87. Tests non paramétrique Mann-Whitney entre l'adoption et le ratio de forages	246
Tableau 88. Quantité de main d'œuvre disponible (UTH) et Méthode de calcul	246
Tableau 89. La répartition des exploitations enquêtées selon la quantité du travail disponible	246
Tableau 90. Distribution des exploitations agricole selon l'effectif de la main d'oeuvre	247
Tableau 91. Résidus standardisés ajustés entre l'adoption des TIEE et la main d'oeuvre	247
Tableau 92. Tests du khi-deux entre l'adoption des TIEE et la main d'oeuvre	247
Tableau 93. La corrélation entre l'adoption des TIEE et la main d'oeuvre	248
Tableau 94. Tests de normalité entre l'adoption des TIEE et la main d'oeuvre	248
Tableau 95. Statistiques descriptives de la variable de la main d'oeuvre	248
Tableau 96. Tests non paramétrique Mann-Whitney entre l'adoption et la main d'oeuvre	248
Tableau 97. Tests de normalité entre l'adoption des TIEE et la main d'oeuvre	248
Tableau 98. Statistiques descriptives de la variable surface par actif	249
Tableau 98.1. Tests non paramétrique de Mann-Whitney de l'adoption et la surface par actif	249

Tableau 99. Répartition des exploitations enquêtées selon le statut juridique	249
Tableau 100. La répartition des exploitants enquêtés par statut foncier des terres et SAU.....	250
Tableau 101. La répartition des exploitants enquêtés par statut juridique et adoption des TIEE.....	250
Tableau 102. Tests du khi-deux entre l'adoption de TIEE et le statut juridique de l'exploitation.....	251
Tableau 103. La corrélation entre l'adoption de TIEE et le statut juridique de l'exploitation.....	251
Tableau 104. La répartition des exploitations de l'échantillon selon le mode de faire valoir.....	252
Tableau 105. Répartition du mode de faire valoir selon l'adoption	252
Tableau 106. La répartition des exploitants enquêtés selon l'accès au crédit bancaire.....	254
Tableau 107. Répartition des exploitants ayant investi selon le mode de financement	255
Tableau 108. La répartition des exploitants selon l'accès au crédit et l'adoption des TIEE	256
Tableau 109. L'effet de l'accès au crédit sur l'adoption des TIEE	257
Tableau 110. La corrélation entre l'accès au crédit sur l'adoption des TIEE.....	257
Tableau 111. Taux d'adhésion aux coopératives agricoles dans la Wilaya de Blida	259
Tableau 112. Adhésion à une organisation professionnelle agricole et comportement d'adoption ...	260
Tableau 113. L'effet de l'appartenance à une coopérative ou association sur l'adoption TIEE	261
Tableau 114. Corrélation entre l'appartenance à une coopérative ou association et les TIEE.....	261
Tableau 115. La tarification de l'eau d'irrigation dans le périmètre irrigué	262
Tableau 116. La perception des exploitants enquêtés du prix de l'eau agricole de l'ONID	263
Tableau 117. Évolution du coût subventionné des technologies d'irrigation dans la Mitidja, 2000-2021	266
Tableau 118. Évolution du montant à la charge de l'agriculteur pour les technologies d'irrigation dans la Mitidja , 2000-2021	266
Tableau 119. Répartition des exploitations par la subvention.....	269
Tableau 120. Tests du khi-deux entre l'adoption de TIEE et subvention	269
Tableau 121. La corrélation entre l'adoption de TIEE et subvention	270
Tableau 122. La relation entre le comportement d'adoption et le mode de commercialisation.....	271
Tableau 123. Les exploitations enquêtées selon la production dominante.....	272
Tableau 124. L'évolution du prix de l'orange sur le marché du gros depuis 2010-2017	273
Tableau 125. Évolution des prix des céréales : prix à la production (y compris prime de la collecte) pour la période 1988/2014. Unité : DA/Quintal.....	275
Tableau 126. L'effet du mode de commercialisation sur le comportement d'adoption.....	276
Tableau 127. La corrélation entre le mode de commercialisation et l'adoption	276
Tableau 128. Sources d'information selon l'adoption de TIEE.....	277
Tableau 129. L'effet de la sources d'information sur comportement d'adoption des TIEE	279
Tableau 130. La corrélation entre sources d'information et l'adoption de TIEE.....	280
Tableau 131. Statut des exploitants selon l'adoption de TIEE.....	284
Tableau 132. Statistiques descriptives des variables explicatives utilisées selon le l'adoption	285
Tableau 133. Résultats de la vérification de l'indépendance des erreurs	285
Tableau 134. Résultats de diagnostic de la multicollinéarité entre les variables explicatives.....	286
Tableau 135. Matrice de corrélation des variables explicatives	286
Tableau 136. Matrice de multicollinéarité.....	286
Tableau 137. Tests de normalité des variables explicatives continues.....	287
Tableau 138. Matrice de confusion de la variable dépendante.....	288
Tableau 139. Test d'ajustement de Hosmer-Leshmshow du modèle Logit.....	289
Tableau 140. Goodness-of-fit test of Logistic model for <i>ADOPT</i> (Table collapsed on quantiles of estimated probabilities)	289
Tableau 141. L'évaluation du pouvoir discriminant d'un modèle	291
Tableau 142. Résultats de l'estimation des régressions du Logit et Tobit pour les facteurs déterminants de choix et du taux de l'adoption des TIEE dans la Mitidja Ouest Tr1	292
Tableau 143. Résultats de l'estimation des régressions du Poisson et Binomial négatif pour les facteurs déterminants de l'intensité de l'adoption des TIEE dans la Mitidja Ouest Tr1	293
Tableau 144. Les corrélations entre la taille de l'exploitation et la culture de céréales	295
Tableau 145. La qualité d'ajustement du modèle Poisson.....	301
Tableau 146. Surface équipée en technologies d'irrigation plus efficaces	302
Tableau 147. Test composite pour Surface équipée en technologies d'irrigation.....	302

Tableau 148. Corrélations entre la taille de l'exploitation, le nombre de forages et le ration forages sur la taille de l'exploitation.....	306
Tableau 149. Résultats des préférences déclarées sur les raisons de l'adoption d'une TIEE	309
Tableau 150. Résultats des préférences déclarées sur les raisons de non-adoption d'une TIEE.....	310

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte de précipitations moyennes annuelles en (mm) en Algérie	14
Figure 2. Les Agences des Bassins hydrographiques.....	16
Figure 3. Localisation des Barrages en 2014.....	21
Figure 4. Localisation de la plaine de la Mitidja	52
Figure 5. La présentation de la Mitidja Ouest Tranche 1	53
Figure 6. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord	55
Figure 7. Variabilité annuelle des précipitations dans la station pluviométrique de Boufarik	56
Figure 8. Diagramme Ombrothermique de Guaussen, Station de Blida	57
Figure 9. Puits et forages en exploitation au niveau de la Mitidja.....	59
Figure 10. La carte des types de sols du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tranche I.....	61
Figure 11. La carte des aptitudes culturales du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tranche I.....	62
Figure 12. La carte du réseau d'irrigation et de drainage du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tranche I.....	63
Figure 13. Schéma général du fonctionnement du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1	65
Figure 14. Les Réalisations de réseaux de micro-irrigation pour la période 2000-2014.....	72
Figure 15. Répartition des superficies irriguées par techniques d'irrigation dans la wilaya de Blida..	73
Figure 16. Technique d'irrigation dans le périmètre de la Mitidja Ouest Tr1	74
Figure 17. Variation et progression des niveaux piézométriques pour le puits 82-13 et 105-91	97
Figure 18. Exemples de rabattements en Algérie du Continental Intercalaire du système NWSAS. ...	97
Figure 19. Diminution attendue des ressources en eau souterraine dans le bassin de High et Middle Cheliff	98
Figure 20. Théorie d'adoption et de diffusion d'Innovation	106
Figure 21. Le changement technologique et la courbe de produit total	125
Figure 22. Le changement technologique et la combinaison factorielle	125
Figure 23. Le changement technologique et les possibilités de production	126
Figure 24. L'effet théorique d'une hausse des subventions à l'équipement sur le sentier de diffusion d'une nouvelle technologie d'irrigation	130
Figure 25. Nombre de bornes d'irrigation individuelles	173
Figure 26. Les tours d'eau selon le type de technologie d'irrigation	174
Figure 27. Doses et fréquence des apports en aspersion et en goutte à goutte cas de la tomate	174
Figure 28. Les apports d'eau selon le tour d'eau pour le cas des agrumes en gravitaire dans la Mitidja	175
Figure 29. Lacomparaison des fréquences moyennes d'irrigation pour les agrumes selon le mode d'irrigation.....	176
Figure 30. Répartition des agriculteurs adoptants selon la facilité perçue d'utilisation des TIEE.....	177
Figure 31. Techniques d'irrigations par type de culture et d'irrigant dans la Mitidja-ouest	179
Figure 32. Cadre conceptuel pour les facteurs affectant l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces dans les exploitations agricole.....	188
Figure 33. La distribution de Poisson.....	211
Figure 34. Les formes de distributions NB, ZIP et ZINB	213
Figure 35. Fréquence d'utilisation des techniques d'irrigation par les exploitants enquêtés.	218
Figure 36. Répartition des techniques d'irrigation pratiquée par les exploitations enquêtées.	219
Figure 37. Répartition des superficies irriguées selon la technique d'irrigation et les cultures pratiquées (en ha).....	219
Figure 38. L'adoption des technologies d'irrigation selon la surface.....	223
Figure 39. Histogrammes de l'adoption de TIEE et la taille de l'exploitation.....	225
Figure 40. Comparaison de moyennes de l'âge selon l'adoption des technologie d'irrigation.....	226
Figure 41. Répartition des agriculteurs des exploitations enquêtées par niveau d'instruction	228
Figure 42. Répartition des agriculteurs des exploitations enquêtées et l'adoption des TIEE.....	228
Figure 43. L'adoption intra-classe des TIEE par classe le niveau d'instruction	229
Figure 44. Histogrammes de l'adoption de TIEE et la diversification.....	232

Figure 45. L'appréciation des coûts d'investissement par les exploitants enquêtés.....	236
Figure 46. Volumes d'eau d'irrigation distribués et surface irriguée dans le périmètre irrigué de Mitidja Tr1	241
Figure 47. Évolution du nombre de forages dans le temps et par type d'exploitation	242
Figure 48. Répartition des exploitations par source d'irrigation	243
Figure 49. Histogrammes de l'adoption des TIEE et le nombre de forages.....	245
Figure 50. Histogrammes de l'adoption des TIEE et le ratio de forages.....	245
Figure 51. Histogrammes de l'adoption des TIEE et la main d'oeuvre	248
Figure 52. Histogrammes de l'adoption des TIEE et la main d'oeuvre(surface par actif	249
Figure 53. Répartition des exploitations selon leur statut juridique	250
Figure 54. Répartition des exploitations agricoles en fonction du statut juridique.....	251
Figure 55. Répartition du mode de faire valoir selon l'adoption.....	252
Figure 56. L'accès au crédit et comportement d'adoption	256
Figure 57. Intention d'investissement par les agriculteurs enquêtés dans le cas où les crédits leur soient accessibles.....	258
Figure 58. Adhésion à une organisation professionnelle agricole et comportement d'adoption.....	260
Figure 59. L'évolution du prix courant de l'eau d'irrigation dans le périmètre de la Mitidja Ouest Tr1, 1988-2020	263
Figure 60. La perception des exploitants enquêtés du prix de l'eau agricole de l'ONID.....	263
Figure 61. Évolution de la subvention de la technologie d'irrigation et leurs équipements, 2000-2020 dans le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1	265
Figure 62. Evolution des surfaces installées en goutte à goutte dans le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1 entre 2001 et 2019.....	267
Figure 63. Evolution des prix courants moyens de l'orange, période Nov. 2010- Avril 2016.....	273
Figure 64. L'évolution du prix de l'orange sur le marché du gros depuis 2011-2017	273
Figure 65. Évolution des prix de vente des fertilisants (2010-2017) en Dinars/Quintal	274
Figure 66. Taux d'adoption des technologies d'irrigation économes en eau.....	283
Figure 67. Adoption des technologies d'irrigation économes en eau	284
Figure 68. Analyse graphique de la normalité de variables indépendantes continues (Q-Q plot)	288
Figure 69. Courbe d'évaluation de la qualité prédictive du modèle.....	290
Figure 70. Les distributions du nombre d'hectares équipé.....	300

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AEP	: Alimentation en eau potable
ANBT	: Agence Nationale des Barrages et des Transferts
ANRH	: Agence Nationale des Ressources Hydriques
BADR	: Banque Algérienne de Développement Rural
AEC	: Algerian Energy Company
AGIRE	: Agence de Gestion Intégrée des Ressources en Eau
BNA	: Banque Nationale d'Algérie
CNES	: Conseil National Économique et Social
CAW	: Chambre d'Agriculture de la Wilaya
DSA	: Direction des Services Agricoles
DA	: Dinar Algérien
DHW	: Direction de l'Hydraulique de la Wilaya
DAS	: Domaine Agricole Socialiste
CEARE	: Comité d'Évaluation et d'Affectation des Ressources en Eau
EAC	: Exploitation Agricole Collective
EAI	: Exploitation Agricole Individuelle
EP	: Exploitation Agricole Privée
FNDA	: Fonds National du Développement agricole
FAO	: Food and Agriculture Organization
FNDRA	: Fonds National de la Régulation et du Développement Agricoles.
FNDIA	: Fonds National du Développement de l'Investissement Agricole.
GPI	: Grand Périmètre Irrigué
Ha	: Hectare
H.H.I	: Herfindahl-Hirschman Index
JORADP	: Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire
MADR	: Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
MRE	: Ministère de Ressources en Eau
MATE	: Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
MAO	: Mostaganem Arzew Oran
NBR	: Negative Binomial Regression
ODD	: Objectifs de Développement Durable
ONID	: Office National d'Irrigation et de Drainage
OPI	: Office des Périmètres Irrigués
OAIC	: Office Algérienne Interprofessionnelle des céréales
ONS	: Office National des Statistiques
OSS	: Observatoire du Sahara et du Sahel
PMH	: Petite et Moyenne Hydraulique
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
PNDA	: Plan National du Développement agricole
PNE	: Plan National de l'Eau
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
R.G.A	: Recensement Général de l'Agriculture
SAU	: Superficie Agricole utile
DREW	: Direction des Ressources en Eau de Wilaya (DREW)
TIEE	: Technologies d'irrigation économes en eau

INTRODUCTION

L'objectif général de cette thèse est de mieux comprendre le processus d'adoption des nouvelles technologies d'irrigation en Algérie afin de formuler des éléments de réflexion qui peuvent aider les gestionnaires des périmètres irrigués à améliorer la probabilité de succès des projets d'adoption de nouvelles technologies d'irrigation par les agriculteurs, et les décideurs politiques à développer des politiques publiques de support à l'adoption.

La problématique de la préservation et l'utilisation rationnelle de la ressource "Eau" constituent le cœur d'une stratégie de développement agricole durable à l'échelle mondiale. Dans plusieurs régions du monde, la demande des ressources en eau disponibles excède l'approvisionnement, et la concurrence entre les divers secteurs de l'économie pour l'eau rare devient intense. Pour tous ses usagers, y compris les agriculteurs, les clients résidentiels et les producteurs industriels, l'eau est, depuis toujours, une ressource vitale et rare.

En Algérie, l'agriculture est le principal utilisateur d'eau et la rareté des ressources hydriques, qui diffère d'une région à l'autre, reste le problème le plus entravant du développement de l'agriculture algérienne. En effet, 70% des potentialités en eau mobilisées en 2018 (soit 8 milliards de m³) sont destinées à l'agriculture contre moins de 40% en 2000 (1,8 milliards de m³), selon O.D.D (PNUD,2020). Malgré l'importance stratégique du secteur agricole, eu égard à sa contribution à l'économie nationale et la population active dans ce secteur qui restent considérables, selon Bessaoud *et al.* (2019), l'agriculture représente environ 12,20% du PIB et emploie 25% de la population active du pays. Compte tenu des ressources disponibles, l'agriculture algérienne est encore loin de son potentiel réel. Ces statistiques illustrent le caractère vital de ce secteur pour l'économie algérienne.

Cependant, malgré la rareté des ressources globales en eau dans le pays, la mauvaise répartition de cette ressource dans l'espace et dans le temps conduit à des pénuries et à des conflits d'usage sur une grande partie du territoire national. La forte croissance démographique et l'extension de l'irrigation entraînent une tension sur les ressources en eau, confrontées sur les nappes littorales au problème des intrusions salines. D'autre part, la gestion de la ressource a surtout porté jusqu'à présent sur la mobilisation de ressources nouvelles. La politique algérienne en matière de gestion de l'eau a principalement été axée sur la mobilisation de nouvelles ressources plutôt que sur l'optimisation de l'utilisation des ressources hydriques déjà disponibles (Benblidia, 2011). Face à la montée de la demande en eau, la priorité a été en faveur du développement de l'offre, comme en témoigne la part prépondérante accordée aux

budgets d'investissements de la grande hydraulique (barrages, exploitation de nappes profondes, dessalement, grands transferts d'eau) (Mozas & Ghosen, 2013).

En outre, on assiste à un faible financement consacré à l'entretien et à la maintenance des installations existantes, ou encore à l'amélioration des performances des systèmes de distribution d'irrigation. La diminution des quantités d'eau superficielles captées, la baisse des niveaux des nappes, l'augmentation de la demande sur l'eau et l'impératif de l'augmentation de la productivité du secteur agricole irrigué sont autant de raisons qui plaident en faveur d'une rationalisation de l'utilisation de l'eau pour l'irrigation. Une rationalisation qui passe inévitablement par l'amélioration de l'efficacité des techniques utilisées et/ou par l'introduction de techniques plus économes en eau. La réorientation vers une gestion de la demande et plus seulement de l'offre, est donc aujourd'hui une préoccupation majeure qui s'inscrit bien dans la nouvelle politique de l'eau d'irrigation.

Les marges d'économies d'eau au niveau de la demande en eau d'irrigation semblent importantes, car on constate fréquemment des consommations excessives par rapport aux besoins des cultures. Une politique d'incitations à l'adoption de nouvelles technologies plus économes en eau a été mise en place, permettant aux agriculteurs de bénéficier d'une aide aux investissements en matériel d'irrigation. L'adoption de nouvelles technologies d'irrigation dans l'agriculture est un processus important pour des raisons à la fois économiques et environnementales, comme l'augmentation de la productivité agricole et l'économie des ressources en eau. Des systèmes d'approvisionnement en eau efficaces, comme l'irrigation au goutte-à-goutte, peuvent contribuer à augmenter le potentiel de rendement des cultures et à améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau et des fertilisants (Badr *et al.*, 2010).

Le périmètre irrigué de la Mitidja, grand par l'étendue de ses terres fertiles et productives et important par ses ressources hydriques souterraines, connaît aujourd'hui encore la prédominance de techniques d'irrigation gravitaires traditionnelles très peu efficaces. La diminution des ressources hydriques de surface et leur fluctuation en fonction des conditions climatiques ont imposé une nouvelle perception de l'irrigation dans le périmètre. Ainsi, l'économie et la maîtrise de l'eau sont devenues les concepts de base de la politique de gestion de l'eau dans le périmètre. De grands efforts de modernisation de l'irrigation ont été consentis dans le but d'améliorer l'efficacité de l'irrigation. Ils ont permis l'introduction de certaines techniques plus efficaces que l'irrigation gravitaire traditionnelle. Toutefois, dans la pratique, ces techniques n'ont pas pu être introduites de façon significative par les agriculteurs et la reconver-

sion de l'irrigation traditionnelle se heurte à des contraintes techniques et socio-économiques, objet de cette thèse.

Le champ de questionnement : Problématique de recherche

L'adoption des nouvelles technologies d'économie d'eau d'irrigation est souvent citée comme la voie pour l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de la ressource. Une telle adoption permet de faire face aux baisses des dotations d'eau tout en maintenant les niveaux courants de la production (Cason & Uhlaner., 1991; Green *et al.*, 1996a). En revanche, ces technologies peuvent accroître la surexploitation des ressources en eau souterraine. Ainsi, les nouvelles technologies d'irrigation réduisent l'utilisation de l'eau localement, mais les subventions poussent à une extension de la surface irriguée, avec des impacts négatifs sur l'utilisation durable des eaux souterraines, plus de la moitié des aquifères en Algérie et au Maroc, et environ un quart des aquifères en Tunisie sont surexploités (Kuper *et al.*, 2016, Bouarfa *et al.*, 2020).

Ces qualités expliquent l'attention accordée à ces technologies par la majorité des intervenants en irrigation : les qualités les plus souvent mentionnées dans la littérature scientifique pour expliquer la réussite de ces technologies sont un potentiel élevé en termes d'efficacité d'utilisation de l'eau (Foltz, 2003 ; Darouich *et al.*, 2012; Friedlander *et al.* 2013; Darouich *et al.*, 2014 ; Wanvoeke *et al.*, 2016), les gains potentiels de rendement (Garb & Friedlander, 2014 ; Chandran & Surendran, 2015) et de rentabilité économique (Darouich *et al.*, 2012, 2014).

Particulièrement en Algérie, des montants énormes ont été mobilisés en tant que subventions pour l'économie d'eau à la parcelle depuis 2000. Tous les équipements installés à partir de cette date sont ou seront bientôt amortis. Des subventions ont été déjà fournies (à partir de 2001) pour les premiers remplacements. Donc, quelle politique mener à l'avenir ? Faudrait-il maintenir la pression ? Et à quel coût ? Le gouvernement doit donc se pencher sur ces questions pour déterminer le niveau des encouragements pour l'adoption et les remplacements ultérieurs. Que l'adoption émerge d'un choix individuel, ou qu'elle soit le résultat d'une politique d'incitation à travers les subventions et la vulgarisation, cela reste à définir selon le contexte global de l'activité.

Cette problématique qui règne sur l'usage agricole de la ressource a suscité notre intérêt pour les facteurs déterminants de l'adoption des techniques d'économie d'eau, et plus précisément l'irrigation localisée et l'aspersion. Notre conviction du fait que la capacité de financement de l'agriculteur n'est pas, à elle seule, l'élément déterminant de l'adoption, nous a amené à explorer le choix d'adoption dans un périmètre irrigué en contexte de rareté de la ressource. Sur

la base d'une étude empirique, nous cherchons à modéliser le choix de l'agriculteur face à l'adoption de technologie d'irrigation localisée et aspersion, et ce en essayant de répondre aux questions suivantes : quels sont les facteurs significatifs qui influencent l'adoption des nouvelles technologies d'irrigation par les agriculteurs ? Quels sont les facteurs qui déterminent les niveaux et l'intensité de l'adoption des technologies d'irrigation ? Et quel effet chaque déterminant exerce sur le comportement d'adoption ?

Reconnaissant les bénéfices que peuvent engendrer les nouvelles technologies d'irrigation, les pouvoirs publics ont le désir d'accroître l'adoption de ces dernières par l'agriculture algérienne, et notamment dans la Wilaya de Blida, qui est le site de notre étude. Considérant cela et sachant que les nouvelles technologies d'irrigation sont encore peu documentées, une question plus générale émerge : quelle politique doit être menée pour généraliser ces techniques ?

La multitude et la complexité des éléments qui influencent les décisions des exploitants agricoles concernant l'adoption d'innovations agricoles ainsi que les divers angles d'approche pour les étudier rendent nécessaire la précision de cette question. Avec comme prémisse notre définition de l'innovation, il est donc proposé de poursuivre les objectifs spécifiques suivants : *i*) Proposer, à partir de la littérature un cadre conceptuel intégrateur explicatif de la décision des agriculteurs à adopter des technologies d'irrigation ; *ii*) Identifier empiriquement les facteurs susceptibles de catalyser ou d'inhiber la décision des agriculteurs à adopter ou non des technologies d'irrigation plus efficaces; *iii*) Hiérarchiser l'ampleur de l'impact de ces facteurs sur la décision des agriculteurs d'adopter ou non des technologies d'irrigation ; *iv*) Formuler des pistes d'actions pour une meilleure gestion du processus d'adoption des technologies d'irrigation par les gestionnaires locaux.

Méthodologie adoptée

Sur le plan méthodologique, tout au long de notre travail de recherche, cette thèse comporte deux volets : un volet consacré à l'étude bibliographique du sujet de thèse, qui est l'économie de l'eau dans l'agriculture et l'adoption des technologies d'irrigation ; et un autre volet qui comporte l'aspect empirique de notre recherche, à travers l'analyse empirique du comportement de l'agriculteur vis-à-vis les nouvelles technologies d'irrigation.

La partie empirique de notre thèse comporte trois phases : une phase exploratoire, une phase d'enquêtes, et une phase de traitement et d'analyse.

Notre cas empirique débutait avec une phase exploratoire comportant deux étapes : la première a pour objectif de constituer une base de données sur les systèmes de production et de

l'irrigation par les différentes techniques. Elle a porté sur le recueil des différents travaux effectués sur les systèmes de production de la plaine de la Mitidja, les différentes études socio-économiques sur la zone d'étude et les données monographiques disponibles sur cette zone. La deuxième étape consiste à identifier les cartes géographiques disponibles pour délimiter la zone d'étude et raisonner le choix de l'échantillon à enquêter.

Un questionnaire a été testé auprès de 10 agriculteurs. En effet, malgré l'attention portée lors de la conception, tester le questionnaire en réel, sur un petit échantillon, s'est avéré nécessaire. Ceci nous a permis de tester la durée de l'entretien, de vérifier si toutes les questions sont claires et bien comprises en arabe par les agriculteurs. Les enquêtes exploratoires ont eu lieu au début de la recherche avant la délimitation définitive du sujet de travail, de la problématique et du choix de la zone d'étude. L'objectif général attendu était de cerner la problématique de recherche sur le plan spatial et temporel. Les objectifs spécifiques recherchés durant cette étape étaient d'une part d'avoir une idée sur les raisons qui ont incité certains agriculteurs de la région de la Mitidja à adopter une innovation (techniques d'irrigation goutte-à-goutte ou par aspersion), de recenser les adoptants du goutte-à-goutte et/ou aspersion dans la zone d'étude, d'inventorier les origines des eaux d'irrigation et délimiter le périmètre qui est la zone de notre étude, pour déterminer l'échantillon à enquêter.

D'autre part, notre intérêt s'est porté sur la possibilité d'améliorer l'adoption et la diffusion des techniques d'irrigation efficaces, les cultures et systèmes d'irrigation pratiqués, et les textes législatifs qui régissent l'exploitation des eaux souterraines. Les personnes ou organismes contactés ont concerné tous les acteurs depuis l'échelle nationale jusqu'au niveau local. Il s'agit au niveau national : des directions du Ministère de l'Agriculture et des ressources en eau. Quant au niveau régional, nos sources d'information sont la direction des services agricole et la chambre d'agriculture de Blida. Enfin, au niveau local, nos informations furent obtenues de la part des subdivisions agricoles et nos sujets d'enquêtes qui sont essentiellement les agriculteurs.

Dans la deuxième phase, l'investigation sur le terrain vise à construire une base de données originale permettant d'analyser le processus de sélection individuelle des technologies d'irrigation par un agriculteur (l'adoption). La rareté des données est souvent un frein à l'application de méthodes statistiques en agriculture. Une base de données agroéconomiques a été construite. Un échantillon représentatif d'agriculteurs appartenant au périmètre irrigué de la Mitidja Ouest (Tranche 1) a été conçu. Un questionnaire d'enquête permettant d'obtenir, d'une part, des taux d'adoption de chaque technologie d'irrigation calculés à partir des don-

nées individuelles et de renseigner, d'autre part, un ensemble de facteurs susceptibles d'influencer des adoptions individuelles a été élaboré et 136 agriculteurs ont été échantillonnés et interrogés au sein de leur exploitation (parmi un total de 473 agriculteurs de notre région d'étude).

L'étape suivante vise à confronter ces observations de terrain à une revue de la littérature sur la sélection des technologies d'irrigation par les agriculteurs. Deux approches complémentaires de l'économie du changement technique ont été mobilisées : l'approche des préférences révélées et l'approche des préférences déclarées développées par Lewin (1996), Alriksson & Öberg (2008), Asrat *et al.* (2010), Espinosa-Goded *et al.* (2010), Blazy *et al.* (2011), Beharry-Borg *et al.* (2013), Kuhfuss *et al.* (2014). Dans le domaine de l'irrigation, l'approche des préférences révélées a essentiellement été mobilisée ces dernières années pour analyser le processus de sélection individuelle des technologies d'irrigation en faisant l'hypothèse que les agriculteurs décident d'adopter une nouvelle technologie d'irrigation suite à un raisonnement complexe aboutissant finalement à une analyse coûts-bénéfices sous incertitude.

L'obtention de déclarations directes sur les préférences, bien que courante dans les études sociologiques et psychologiques, reste rare en économie. L'approche des préférences déclarées a été rarement appliquée, à notre connaissance, au problème spécifique de la sélection des technologies d'irrigation par les agriculteurs. Cette approche a été récemment développée pour analyser les processus de diffusion et d'adoption de nouvelles technologies bénéfiques pour l'environnement par des producteurs. Au lieu de supposer que les préférences sont inobservables pour l'observateur, bien que connues par les individus, nous pourrions plutôt demander aux individus leurs préférences réelles. On se tourne donc, vers la technique la plus simple et la plus directe pour obtenir les déterminants des décisions d'adoption de technologies par les agriculteurs : on demande directement aux agriculteurs pourquoi ils ont adopté ou non une technologie. Les économistes préfèrent généralement les méthodes de préférences révélées parce qu'elles ont une cohérence interne et qu'elles sont considérées comme plus indépendantes des problèmes de mesure. Les problèmes de mesure dans la révélation des préférences directes proviennent des répondants : l'incapacité des agriculteurs à décrire de manière adéquate leur processus de choix, la réponse reste dépendante de la formulation d'une question et la nature subjective des préférences elles-mêmes en tant que données. Une procédure d'échantillonnage minutieuse peut facilement surmonter ces difficultés de mesure, ce qui permet d'obtenir des informations précieuses sur les motivations des agriculteurs.

La dernière phase de recherche sur le terrain consiste à travailler sur la base des données obtenues. Afin d'assurer la pertinence de notre analyse, nous avons déployé une diversité

d'outils analytiques. Des modèles d'adoption individuelle dans un cadre incertain sont développés. Les modèles Logit, Tobit, Poisson, Binomiale négative sont utilisés pour l'estimation. Une fonction d'utilité linéaire est spécifiée pour chaque nouvelle technologie. On estime les modèles avec des variables dépendantes de différentes natures : discrète binaire (Logit), continue censurée (Tobit), comptage (Poisson, Binomiale négative). Cela nous permet de proposer une contribution empirique originale.

Plusieurs variables indépendantes (explicatives) ont été introduites. Elles se rapportent principalement à quatre catégories : *i*) les attributs des individus (âge, scolarité), *ii*) les déterminants économiques (taille de la ferme, les coûts de l'investissement des équipements économes en eau, les subventions publiques, l'accès au crédit bancaire, la main d'œuvre agricole, la diversification, la rentabilité des cultures, etc.), et enfin *iii*) les variables socio-institutionnelles (affiliation à des organisations, source d'information) et enfin *iv*) les attitudes et les perceptions. Nous nous interrogeons notamment sur l'effet de ces facteurs et perceptions dans la prise de décision.

La stratégie d'analyse envisagée se base sur des vérifications statistiques privilégiant une modélisation de type économétrique. Dans le processus de vérification, plusieurs analyses préalables sont requises. Un intérêt particulier est accordé à la représentativité de l'échantillon et à la vérification de la cohérence des mesures et de la validité des construits utilisés. Les vérifications empiriques sont réalisées principalement par le biais d'analyses de corrélations et de robustesse des régressions.

Enfin, le traitement des données a été fait à travers deux logiciels spécialisés SPSS[®] et Stata[®] selon l'exigence et la complexité de la modélisation économétrique envisagée.

Structure du document

Le présent document de thèse se compose de deux principales parties. Dans la première partie, il est question d'explorer le contexte théorique de la problématique de la recherche. La deuxième partie concerne la présentation du volet empirique de l'étude.

La première partie, consacrée à une revue bibliographique du sujet, est composée de trois chapitres. Le premier chapitre porte sur l'état des lieux de la politique de l'eau d'irrigation dans l'agriculture algérienne. Nous mettrons en évidence la place de l'hydraulique agricole, au sens large, dans les programmes de développement de l'agriculture en termes de mobilisation des ressources en eau (eau de surface et eau souterraine), et de développement des périmètres irrigués.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les approches théoriques du changement de technologies. Les modèles standards de sélection des technologies d'irrigation sont d'abord présentés, puis l'approche du changement technologique est discutée, et enfin nous proposons les modèles adaptés à l'analyse de la sélection des technologies d'irrigation.

Le troisième chapitre est une revue de la littérature sur les déterminants de l'adoption des technologies en agriculture. Cette revue présente les déterminants étudiés dans littérature récente sur l'adoption d'innovations. Elle met en évidence l'importance des déterminants non observables, tels que les perceptions et les préférences, dans l'analyse de la décision d'adoption d'innovation par les agriculteurs. L'accent est mis en suite sur les technologies d'irrigation particulièrement, à la lumière des études sur leur adoption à travers une revue de la littérature.

La deuxième partie de ce document est consacrée à l'exploration des résultats et à leur discussion. Elle est composée à son tour de trois chapitres. Le quatrième chapitre présente en détail la méthodologie poursuivie : la région d'étude, la procédure d'enquêtes sur le terrain, les résultats préliminaires, les outils analytiques et économétriques déployés.

Le cinquième chapitre est consacré à l'analyse des facteurs empiriques de sélection des technologies d'irrigation. Nous analysons les caractéristiques des irrigants et de leurs exploitations, puis les caractéristiques du contexte d'adoption des irrigants et les caractéristiques des technologies d'irrigation. Les méthodes d'analyse appliquées dans ce chapitre relèvent de la statistique descriptive incluant des pourcentages, des tableaux de contingence et des tests non paramétriques. L'analyse bidirectionnelle décrit l'impact de chaque facteur sur l'adoption et aide à identifier les variables qui doivent être incluses dans les modèles économétriques.

Le dernier chapitre est consacré à l'évaluation des déterminants du processus de sélection individuelle des technologies d'irrigation par les agriculteurs de périmètre de la Mitidja Ouest (Tr 1). Nous développons les modèles économétriques de sélection technologique, où nous procédons la recension des principales évidences empiriques apportées, puis nous tenterons de développer les explications et interprétations éventuelles dans le cadre théorique déjà proposé.

La conclusion générale clôtura cette thèse par plusieurs remarques sur la portée de l'angle d'analyse adopté pour aborder la question de l'adoption des technologies d'irrigation en Algérie et les implications potentielles des résultats de cette recherche. Nous finirons par souligner les limites de la recherche effectuée et par identifier des nouvelles pistes de recherche sur le sujet.

PARTIE I. L'IRRIGATION ET SES ENJEUX : CADRE CONCEPTUEL DE L'ÉTUDE

CHAPITRE 1 : POLITIQUES DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE ET RESSOURCES EN EAU : ÉTAT DES LIEUX EN ALGÉRIE

Ce chapitre a pour objectif de cerner la problématique de l'eau et de l'irrigation en Algérie en relation avec les politiques de développement agricole. De par son climat aride à semi-aride, l'Algérie est un pays où les précipitations sont non seulement faibles, mais irrégulièrement réparties dans le temps et dans l'espace. À l'exception des eaux fossiles des nappes profondes du Sahara, les ressources en eau de l'Algérie dépendent essentiellement de la pluviométrie qui est très inégalement répartie sur le territoire et caractérisée par de fortes irrégularités intra-annuelles et interannuelles (Benblidia & Thivet, 2010).

La demande globale en eau a considérablement et rapidement augmenté sous l'effet des changements climatiques et de la croissance démographique. À ce rythme, la limite maximale de l'offre sera atteinte dans quelques décennies, probablement avant 2050. Dans ce contexte, une forte concurrence se développe entre les grands secteurs d'utilisation, se surajoutant aux déséquilibres de disponibilités de ressources entre les régions, et rendant de plus en plus difficiles les arbitrages de répartition (Benblidia, 2011).

Au cours de ce chapitre, nous tenterons de décrire ces différents aspects tout en situant l'évaluation des ressources hydriques dans le contexte algérien ; nous exposerons aussi les politiques de l'eau, de gestion et d'irrigation menées par les pouvoirs publics pour répondre à cette demande en forte croissance ainsi que leurs résultats et limites.

1. Ressources en eau en Algérie

Nous présentons dans cette section un aperçu général sur les ressources en eau dans le pays. Nous commençons avec le contexte géographique et climatique du pays, puis un accent sera mis sur le changement climatique. Ensuite, nous présentons les potentialités du pays en termes d'eau, et nous présenterons en détail les modes de mobilisation des ressources en eau préconisées par le gouvernement.

1.1. Contexte géographique et climatique

Le territoire algérien s'étend sur une superficie de 2.381.741 km². Du Nord au Sud de l'Algérie, on distingue trois grands ensembles géographiques très contrastés qui diffèrent par leur relief et leur morphologie : le Tell au Nord, les hauts plateaux et l'Atlas Saharien au centre, et le Sahara au Sud.

Le Tell est une étroite bande côtière de 1.280 km de long et de 100 à 200 km de large, délimitée au Sud par une chaîne de montagnes, plus ou moins parallèle au littoral (M.A.T.E., 2010). Cet ensemble est constitué de plaines fertiles où se concentre la majorité de la population algérienne, de vallées et d'une succession de monts (l'Atlas tellien) qui dépassent régulièrement les 2000 m à l'Est. À l'intérieur des terres, le long des oueds côtiers, s'étendent de nombreuses vallées fertiles: la vallée du Chélif, irriguée par le cours d'eau du même nom, le plus long d'Algérie (725 km) ; la Mitidja, une plaine de subsidence séparée de la mer par les collines du Sahel d'Alger. À l'Est, les fonds de vallées forment des plaines, d'une importance économique comparable à celle de la Mitidja. Cette plaine discontinue et de largeur variable (80 km à 190 km) ainsi que les vallées attenantes, abritent la grande majorité des terres agricoles du pays.

Les hauts plateaux et l'Atlas saharien courent en diagonale depuis la frontière marocaine jusqu'au Nord-est de l'Algérie. La majorité de la zone des Hautes Plaines offre un paysage de steppes : à l'Ouest, elles s'étirent sur près de 500 km sur une largeur de 100 à 200 km; à l'Est, elles s'étendent sur près de 200 km, avec un relief plus élevé de 800 à 1.000 m (M.A.T.E., 2010). C'est une région de transition vouée à une économie pastorale semi-nomade, l'élevage des ovins y est la principale activité, sans exclure l'activité de la céréaliculture.

Enfin, au Sud, s'étend sur 2 millions de km² l'un des plus grands déserts du monde : le Sahara qui recouvre 85% de la superficie du territoire national algérien, 1.500 km d'Est en Ouest, 2000 km du Nord au Sud. Le Grand Sud algérien alterne entre paysages volcaniques (massif du Hoggar avec le point culminant de l'Algérie, le mont Tahat à 3.000 mètres d'altitude) et lunaires (Tassili N'Ajjer), plaines de pierres (les Regs) et plaines de sable (les Ergs) d'où jaillissent parfois de superbes oasis.

C'est cette disposition du relief qui, avec les conditions climatiques, détermine le potentiel agricole et les ressources en eau du pays (P.N.U.D., 2009). Chacune de ces bandes a un climat particulier, caractérisé surtout par la température et la pluviométrie. Les trois étages bioclimatiques qui constituent le climat méditerranéen de l'Algérie se distinguent par (M.A.T.E., 2010) :

- 1) Un étage bioclimatique subhumide sur la côte et dans l'Atlas Tellien : les gelées sont très rares en hiver et les étés sont chauds. Il est caractérisé par des hivers pluvieux et doux, et des étés chauds et secs, tempérés par des brises de mer ; les précipitations diminuent d'Est en Ouest (1.000 – 400 mm) et du Nord au Sud (1.000 à moins de 130 mm).

2) un étage bioclimatique désertique (hyperaride) dans la région saharienne: les pluies sont exceptionnelles et très irrégulières provoquant souvent des inondations, les précipitations sont inférieures à 150 mm par an.

3) Le Sahara est une des régions les plus chaudes du monde : les températures de jour atteignent en été 45 et même 50°C. La température moyenne saisonnière est de 15 à 28°C en hiver et atteint 40 à 45°C en été. Le sirocco est un vent du sud chaud et sec. Le Sahara occupe 87% du pays et se caractérise par des conditions climatiques extrêmes avec de fortes amplitudes thermiques (F.A.O,2015b) où les précipitations sont quasi nulles, mais qui recèle d'importantes ressources fossiles d'eaux souterraines.

La partie Nord, caractérisée par son climat méditerranéen, dispose de ressources en eau renouvelables tant pour les eaux de surface que pour les nappes phréatiques. Près de 90% des eaux de surface sont situées dans la région du Tell qui couvre environ 4% du territoire (Mozas & Ghosen, 2013). Les précipitations sont caractérisées par une importante variabilité spatio-temporelle (Figure1). La bande méditerranéenne au nord reçoit jusqu'à 1.200 mm par an, et varie d'année à l'autre en diminuant vers l'ouest. Les régions centrales sont transitoires et reçoivent des précipitations annuelles moyennes de 100 à 400 mm. Le désert reçoit moins de 100 mm de pluie par an. Les pertes naturelles par évapotranspiration potentielle vont de 1.000 mm dans le nord-est à près de 3.000 mm dans le sud-est (Tableau 1).

La pluviométrie se concentre dans la partie septentrionale (littorale et sublittoral) en particulier le Nord du pays ; elle est estimée selon l'Agence Nationale des Ressources en Eau à 94,3 milliards m³ dont 82 milliards m³ (87%) s'évaporent et seulement un huitième soit 12,40 milliards m³ constitue le débit annuel de l'ensemble des cours d'eau et une petite fraction de 3 milliards m³ s'infiltré pour recharger les nappes souterraines (Moulai,2009).

Tableau 1. Types du climat en fonction des zones en Algérie

<i>Région</i>	<i>Superficie (%)</i>	<i>Bande (Km)</i>	<i>Précipitation (mm)</i>	<i>Population (%)</i>	<i>Type de climat</i>
Région tellienne (Nord)	4	100-150	400-1.200	65	Méditerranéen sur le littoral
Région steppique des hauts plateaux	9	300-350	250-400	25	Semi-aride
Région saharienne (Sud)	87		<100	10	Aride

Source : Mozas & Ghosen (2013) ; Terra (2011)

La pluviométrie varie beaucoup sur le territoire, allant de 1.000 mm sur les hauts reliefs de l'Est à moins de 100 mm au nord du Sahara. La moyenne annuelle nationale est de 450 mm, cependant des écarts significatifs existent entre l'Est et l'Ouest (Tableau 2 et Figure 1).

Tableau 2. Pluviométrie moyenne annuelle des différentes régions de l'Algérie

Régions	Ouest (mm)	Centre (mm)	Est (mm)
Littoral	400	700	900
Atlas tellien	600	700-1.000	800-1.000
Hautes plaines	250	250	400
Atlas saharien	150	200	300-400
Sahara	20-150	20-150	20-150

Source : M.A.T.E. (2010)

Le climat de l'Algérie est connu pour sa diversité géographique et sa grande variabilité pluviométrique interannuelle. Les volumes des précipitations sont très variables dans le temps : concentration sur quelques mois dans le Nord et quelques jours par an dans le Sud. Des années de fortes pluies peuvent être suivies par des périodes de sécheresses sévères. Des fluctuations aussi marquées vont affecter, d'une année à l'autre, le volume des ressources renouvelables disponibles (écoulements superficiels et alimentation des nappes souterraines). Ces paramètres déterminent fortement les conditions d'utilisation des ressources en eau.

Jusqu'à présent, le secteur de l'eau en Algérie a accordé peu d'attention à la question du changement climatique, connu par sa grande diversité et son irrégularité spatio-temporelle et ignore souvent son impact sur les ressources en eau futures. Par sa situation géographique au sein de la zone aride et semi-aride, l'Algérie est soumise à des conditions physiques et hydroclimatiques défavorables, exacerbées par des périodes de sécheresse chronique. Le changement climatique constaté depuis le milieu des années 1970 représente une nouvelle menace en termes de diminution des précipitations, notamment dans le nord du pays.

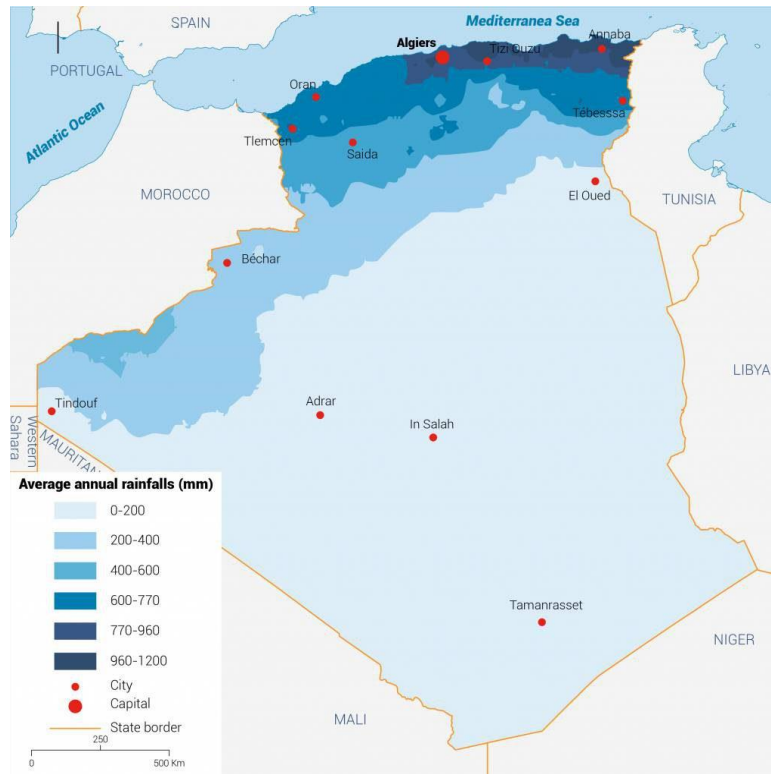


Figure 1. Carte de précipitations moyennes annuelles en (mm) en Algérie (Fanack, 2019)

Les répercussions porteront principalement sur les secteurs sensibles, tels que les ressources en eau et l'agriculture. En effet, les potentialités des eaux souterraines ou leur disponibilité étant intimement liée aux fluctuations pluviométriques ont été négativement impactées, de même pour les eaux de surface, et des baisses importantes des niveaux piézométriques ont été constatés (Achour *et al.*, 1998 ; El Meddahi *et al.*, 2014, 2016 ,Meddi *et al.*,2014 ; Hamiche *et al.*,2018). Les changements climatiques et la sécheresse observés depuis plusieurs décennies en Afrique du Nord, particulièrement en Algérie, ont aggravé l'impact négatif sur les ressources hydriques du pays (Hamiche *et al.*, 2018).

1.2. Le changement climatique en Algérie

Le changement climatique en l'Algérie a été analysé sur la base des modèles climatiques globaux. Plusieurs travaux réalisés en Algérie et dans la région méditerranéenne montrent une augmentation de la température associée à une baisse de la pluviométrie en Algérie (Giorgi & Lionello, 2008 ; Meddi *et al.*, 2009 ; Sahnoune *et al.*, 2013 ; Assaba *et al.*, 2013 ; Benhamiche *et al.*, 2014 ; Elmeddahi, 2016). Il y a eu également plusieurs travaux qui ont analysé la problématique de la pluviométrie en Algérie. Ces études montrent que l'eau en Algérie se raréfie de plus en plus (Boudjadja *et al.*, 2003 ; Boukhari *et al.*, 2008 ; Remini 2010, Trambly *et al.*,2018).

Par ailleurs, une augmentation est prévue dans la fréquence des sécheresses et un déficit de la contribution de l'eau de surface de 15%, entraînant une baisse des nappes phréatiques de 4,4% en 2020 et 6,6% en 2050 (M.A.T.E., 2010). Deux modèles UKHI et ECHAM3TR ont été sélectionnés pour une analyse de simulation de modèles climatiques globaux. Le modèle UKHI (*United Kingdom Meteorological Office High Resolution*) est élaboré en Angleterre en 1989 par le Service Météorologique anglais. Le modèle ECHAM3TR a été développé en Allemagne en 1995 par l'Institut Max Planck. Le choix de ces deux modèles de simulation utilisés dans le monde découle du fait qu'ils donnent des résultats acceptables et encadrent le mieux les indicateurs de variation (M.A.T.E., 2001 ; Benhamiche *et al.*, 2014).

Les projections climatiques saisonnières réalisées à l'horizon 2020 et 2050 sont synthétisées dans le Tableau 3. Un réchauffement de l'ordre de 0.8 à 1.1°C est estimé pour l'année 2020 en automne accompagné d'une fluctuation de la pluviométrie avec une tendance à la baisse, de l'ordre de 5 à 8% sur le court terme. Par contre, sur le long terme, une diminution de la pluviométrie a été envisagée qui varie entre 10 à 15% d'ici 2050. En hiver, l'augmentation de la température est de l'ordre 0.9 à 1.6° C pour 2050 ; par contre les précipitations diminuent de 10% à 20% de 2020 à 2050. Presque les mêmes tendances ont été observées au printemps. En été, le réchauffement est estimé de 0.8 à 1°C pour 2020, et de 1.3 à 2.1°C en 2050 avec une fluctuation des précipitations de l'ordre de 8 à 13% en 2020 et 15 à 22% pour 2050.

La conclusion ici fait ressortir une augmentation de la température de l'ordre de 1°C et une baisse de la pluviométrie située entre 4 et 9% en moyenne. Donc, l'Algérie se dirige vers une pénurie beaucoup plus sévère de l'eau au cours des prochaines décennies.

Tableau 3. Projections climatiques réalisées par les modèles UKHI et ECHAM3TR

Modèle	Horizon 2020				Horizon 2050	
	Modèle UKHI		Modèle ECHAM3TR		Modèle UKHI	
Saisons	Paramètre		Paramètre		Paramètre	
	Température (°C)	Pluie (%)	Température (°C)	Pluie (%)	Température (°C)	Pluie (%)
<i>Automne</i>	0.8 - 1.1	-6 à -8	0.8 - 1.3	0	1.2 - 2.2	-10 à -15
<i>Hiver</i>	0.65 - 0.8	-10	0.9 - 1	-5	0.95 - 1.6	-16
<i>Printemps</i>	0.85 - 0.95	-5 à -9	0.95 - 1.1	-7 à -10	1.25 - 1.9	-10 à -20
<i>Été</i>	0.85 - 1.05	-8 à -13	0.95 - 1.45	-5	1.25 - 2.1	-15 à -22

Source : M.A.T.E. (2001)

1.3. Les potentialités en eau de l'Algérie

Le territoire algérien a été subdivisé en cinq grands bassins hydrographiques (Figure 2) créant dans chacun d'entre eux des organismes de gestion : Agences de Bassin Hydrographique et Comités de Bassin Hydrographique. La gestion unitaire à l'échelle du Bassin Hydrographique est assurée par les Agences de Bassin Hydrographique (Bouchedja, 2012). Cette répartition s'inscrit dans la politique de gestion de l'eau. Le découpage de l'Algérie du Nord en quatre régions repose sur les critères suivants : les caractéristiques géographiques et naturelles des régions, et le groupement des bassins versants et sous-bassins hydrographiques, entre lesquels existent des nécessités de transfert (Figure 2). Les bassins du nord : 1) Oranie Chott–Chergui, 2) Chelif–Zahrez, 3) Algérois–Hodna–Soummam, 4) Constantinois–Seybouse–Mellegue et 5) le bassin du sud : Sahara.

Les ressources potentielles en eau sont limitées et inégalement réparties en Algérie, que ce soit au niveau de leur implantation géographique, de leur quantité, de leur qualité ou encore de leur nature, à savoir souterraine ou superficielle.

1.3.1. Les potentialités en eau superficielle

Dans la littérature qui traite la question de l'eau en Algérie et les documents publiés par les institutions de l'État chargées d'évaluer les potentialités en eau de surface du pays, nous avons rencontré d'importantes différences dans les données statistiques. En effet, les écoulements de surface avaient été évalués pendant la période coloniale à 15 milliards de m³ (C.N.E.S., 2000) ; alors qu'en 1987, le ministère de l'hydraulique évalue les potentialités totales dans une fourchette de 16 à 19 milliards de m³ dont 12,4 milliards de m³ comme des potentialités superficielles (Kherbache, 2014).

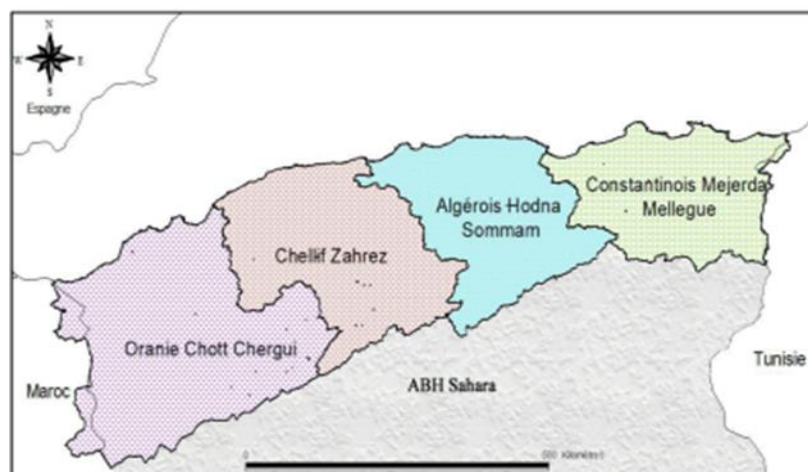


Figure 2. Les Agences des Bassins hydrographiques

Selon Ferrah et Yahiaoui (2004), les ressources potentielles en eau sont évaluées à 19.2 milliards de m³ dont 12.4 milliards m³ d'eau de surface. Dans les études menées par l'A.N.R.H., les potentialités en eau de l'Algérie sont estimées à 19.1 milliards de m³ dont 12 milliards de m³ en eaux de surface (ANRH, 1993 et 2009). Mebarki (2010) a donné une évaluation de 12 milliards m³ pour les eaux de surface dans le Nord du pays et 0,2 milliards m³ pour le Sud. Selon Mozas & Ghosen (2013), les potentialités en eau sont estimées à 18 milliards de m³/an dont 10 milliards en écoulements superficiels dans les régions du Nord et 0.5 milliards de m³ en écoulements superficiels dans les régions sahariennes de même (Bouchedja, 2012), les potentialités hydriques de l'Algérie sont estimées en moyenne à 17.20 milliards de m³/an, dont 10 milliards de m³ en écoulements superficiels dans le Nord et 0.2 milliards de m³ en écoulements superficiels au Sahara.

Les potentialités hydriques de l'Algérie sont estimées à 15.02 milliards de m³ dont 7,4 milliards de m³ en écoulement de surface au nord du pays et 0.37 milliards de m³ eau de surface dans le Sahara (Hamiche *et al.*, 2015). Dans le cadre de l'élaboration du Plan National de l'Eau (P.N.E., 2010 a,b) imposé par la loi n°05-12 (article 59), elles sont estimées à 11,22 milliards de m³. À notre sens, les chiffres du P.N.E. (2010 a.b, 2011) restent les plus vraisemblables compte tenu des détails sur la base desquels ils ont été réalisés (Tableau 4).

Tableau 4. Répartition spatiale des ressources de surface de l'Algérie

<i>Régions hydrographiques</i>	<i>Superficie (Km²)</i>	<i>Apport moyen en (milliards m³)</i>
Oranie – Chott Chergui	77.320,20	0,702
Cheliff – Zaher	56.134,40	1,340
Algérois –Hodna -Soummam	47.297	3,359
Constantinois-Seybouse-Mellegue	43.887	4,908
Sahara	2.157.102,40	0,9116
Total	2.381.741	11,2206

Source : P.N.E. (2010 a, b)

1.3.2. Potentialités en eau souterraine

Le manque de rigueur dans la détermination des volumes potentiels mis en exergue pour les eaux de surface est également valable pour les ressources en eaux souterraines. En effet, le M.R.E. (2005) estime les eaux souterraines de l'Algérie de Nord à 2 milliards de m³, le

C.N.E.S. (2000) avance le chiffre de 1.9 milliards de m³ en se basant sur les études de l'A.N.R.H. (2010) et Ferrah & Yahiaoui (2004), les ressources potentielles en eau souterraines en Algérie ont été évaluées à 1.8 milliards m³ d'eaux souterraines du Nord et 5 milliards m³ d'eaux souterraines exploitables dans le Sud.

Les P.N.E. (1993, 2006 cités par Kherbache, 2014) estiment les ressources souterraines de l'Algérie du Nord autour 1,904 milliards de m³ et 2,11 milliards de m³ respectivement. Bouchedja (2012) avance le chiffre de 7 milliards de m³ en ressources souterraines dont 2 milliards m³ ressources souterraines dans les régions Nord du pays et 5 milliards de m³ en ressources souterraines dans les régions Sahariennes. Selon Mozas & Ghosen (2013), les potentialités en ressources souterraines sont évaluées à 7.5 milliards de m³ dont 2,5 milliards de m³ en ressources souterraines renouvelables au nord de l'Algérie et 5 milliards de m³ en ressources souterraines non renouvelables au Sud ; de même Hamiche *et al.* (2015) a donné le chiffre de 7.6 milliards de m³ dont 5 milliards de m³ de ressources souterraines de la nappe de l'Albien et 2,6 milliards ressources souterraines au Nord. D'après ce qui précède, nous pouvons donner les potentialités en eau de l'Algérie en ressources en eau dans le Tableau 5.

Tableau 5. Récapitulatif des potentialités en eau de l'Algérie

<i>Régions hydrographiques</i>	<i>Eau souterraine</i>	<i>Eau de surface</i>	<i>Total ABH</i>
Oranie–Chott Chergui	0,547	0,702	1,249
Cheliff–Zaher	0,346	1,34	1,686
Algérois–Hodna–Soulmmam	1,063	3,359	4,422
Constantinois-Seybouse-Mellegue	0,667	4,908	5,575
Sahara	2,6964	0,9116	3,608
<i>Total</i>	5,3194	11,2206	16,54

Source : P.N.E. (2010b)

Ces potentialités correspondent à une disponibilité annuelle de moins de 400 m³ par habitant et par an, inégalement réparties, les eaux de surface diminuant du Nord au Sud et d'Est en Ouest. De ce point de vue, l'Algérie se situe dans la catégorie des pays considérés comme pauvres en ressources hydriques au regard du seuil de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³/hab./an. L'évaluation des potentialités en eau de l'Algérie se heurte à des divergences entre les chiffres de différentes sources. On peut donc se demander s'il s'agit d'une baisse réelle due au réchauffement climatique ou d'une méconnaissance du potentiel réel du pays ?

1.4. Les modes de mobilisation des ressources en eau

A l'instar des pays en voie de développement, la politique algérienne en matière de politique de l'eau, entamée depuis une dizaine d'années, a été axée davantage sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'un meilleur usage des disponibles hydriques (Benblidia, 2011). Face à la montée de la demande en eau, la priorité a été en faveur du développement de l'offre, comme en témoigne la part prépondérante accordée aux budgets d'investissements de la grande hydraulique (barrages, exploitation de nappes profondes, dessalement, grands transferts d'eau (Mozas et Ghosen, 2013).

1.4.1. Eau conventionnelle

L'accroissement rapide de la demande en eau dans les secteurs de l'irrigation, de l'industrie ainsi que les besoins incompressibles de la population ont amené les pouvoirs publics à augmenter la capacité de stockage des eaux de surface, à accroître l'exploitation des eaux souterraines et à réaliser des adductions et des transferts de volumes considérables sur des distances de plus en plus longues entre zones excédentaires et zones déficitaires. Pour répondre à cette demande croissante, d'importants efforts ont été entrepris par l'Algérie depuis le début de la décennie 2000 afin de mobiliser les ressources en eau aussi bien de surface que souterraines. Cela s'est traduit par des investissements massifs. C'est ainsi que les efforts entrepris durant deux décennies et notamment les quinze premières années, ont permis d'enregistrer des améliorations sensibles. L'objectif des pouvoirs publics est l'augmentation de la mobilisation des eaux à 11 milliards de m³ par an en 2025 contre 7.4 milliards de m³/an en 2014, soit presque la totalité des eaux renouvelables (FAO, 2015b). Nous tenterons de présenter des éléments sur les efforts du pays en matière de mobilisation des ressources en eau conventionnelles.

Les Barrages, principal vecteur de la politique de mobilisation de l'eau :

Le secteur des ressources en eau a connu la réalisation de nombreux projets ayant permis l'approvisionnement en eau des différentes régions du pays et contribué à l'irrigation de grandes superficies de terres agricoles (ONS, 2015). En effet, plusieurs barrages et transferts ont aidé à l'amélioration de l'alimentation en eau potable et de l'irrigation des terres agricoles (Tableau 8).

L'année 2010 s'est distinguée par la réception de plusieurs barrages notamment celui de Koudiat Acerdoun, deuxième grand barrage du pays dont la capacité est estimée à 640 millions de m³. Il alimente toute la région du sud de la wilaya de Tizi-Ouzou et une partie de la wilaya de Bouira. L'ensemble des barrages (y compris ceux réceptionnés en 2010) ont une capacité to-

tale de stockage d'environ 7 milliards de m³ (ONS, 2015). Cette capacité, qui était de l'ordre de 4 milliards de m³ en 2000, devra passer à 9 milliards de m³ en 2014 (MRE, 2014).

Le parc des infrastructures de mobilisation de l'eau, notamment les barrages, s'est considérablement développé passant de 16 barrages au lendemain de l'indépendance, à 75 barrages en 2015 (Figure 3 et Tableau 7). La capacité totale des 16 barrages existants en 1962 sur les cinq bassins hydrographiques était d'environ 1.256 millions m³ (Remini, 2017) ; celle des 47 barrages de 2000 s'élevait à plus de 5.030 millions m³ (FAO, 2015b), et, en 2014, la capacité a atteint 8.600 millions de m³ dans 74 barrages (Remini, 2017). Entre 2000 et 2015, le volume d'eau régularisé par ces barrages est passé de 1,6 à 5 milliards de mètres cubes et atteindra 5,5 milliards de mètres cubes en 2020 (Chehat *et al.*, 2018). Le tableau 6 présente la capacité des ressources superficielle par bassins hydrographiques et par barrages.

Tableau 6. La capacité des ressources superficielle par bassins hydrographiques

<i>Bassins hydrographiques</i>	<i>Barrages</i>	<i>Capacité (hm³)</i>	
		<i>Initial</i>	<i>Actuel</i>
Oranie – Chott Chergui	Beni-Bahdel, Meffrouch, Sidi-Abdelli, Boughrara. Sikkak, Sarno, Cheurfas II, Ouizert, Bouhnifia, Fergoug, Kramis	737	649.97
Cheliff - Zaher	Bakhadda, Dahmouni, C.Bougara, Merdja, S.Abed, Gargar. S.M.B. Aouda. Sidi-Yacoub. Oued-Fodda. Deurdeur, Harreza, Ghrib, Boughzoul, O.Mellouk.	2294.9	1709.2
Algérois – Hodna - Soummam	Kt.Rosfa, S.M.B.Taiba, Prise-MAO, Kerrada Bouroumi, Ladrat, Meurad, Boukourdane, Keddara, Beni Amrane, Hamiz, Lakhal, K'Sob, Ain-Zada, Taksebt, Tilesdit, Tichy, Haf.K.Acerdoune	1724.4	1693.2
Constantinois-Seybouse-Mellegue	H.Debagh, Ain-Dalia, O.Cherf, Zardezas, Guenitra, Beni Zid, Zit Emba, Cheffia. Mexa, F.E.Gueiss, Babar, F.ElGherza, F.Gazelles, El Agrem Kt. Medouar, H.Grouz, B.Haroune, O.Athmania, Kissir, Boussiaba, Bougous	3141.3	3007.4
Sahara	Djorf Torba, Brézina	472.5	368.72
Total		8370.5	7428.49

Source : Hamiche *et al.* (2015)

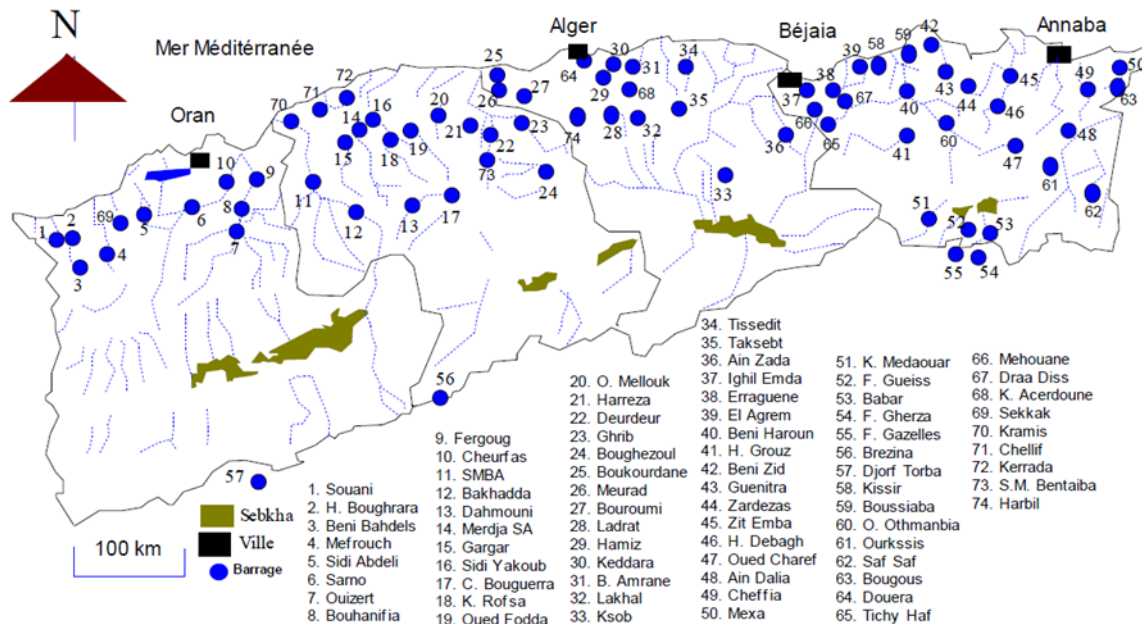


Figure 3. Localisation des Barrages en 2014 (Remini, 2017)

Depuis 2000 à nos jours, l'État algérien a énormément investi dans la construction d'une quarantaine de barrages pour arriver à un nombre de 80 barrages (Djelouah, 2018). Une dizaine de barrages sont actuellement en cours de réalisation. Une cinquantaine étant prévus en réalisation entre 2015 et 2030 (Chehat *et al.*, 2018), les projections tablent sur 124 barrages, réalisables à l'horizon 2030 dans l'objectif d'atteindre une capacité de stockage de 12 milliards de m³. Les volumes disponibles au niveau des barrages sont destinés soit à satisfaire les besoins en AEP, soit aux grands périmètres irrigués (GPI), soit à vocation mixte.

Dans une région à climat semi-aride et aride comme l'Algérie, la politique de construction des barrages est fortement risquée ; les bassins hydrographiques sont sensibles à de faibles variations des caractéristiques climatiques. Des changements faibles dans la température et les précipitations peuvent avoir des répercussions importantes sur l'écoulement des eaux superficielles.

Selon Assaba *et al.* (2013), une baisse relativement modérée de la pluviométrie aurait un effet très important sur les écoulements de surface et donc sur les conditions de remplissage des ouvrages hydrauliques : 15% de baisse de pluviométrie se traduirait par une baisse de 40% des écoulements de surface. L'étude de Trambly *et al.* (2018) a porté sur les impacts du changement climatique sur les ressources en eau de surface pour les plus grands barrages d'Algérie ; sachant que 20 barrages ont été retenus, leurs résultats ont montré une diminution générale des précipitations dans le futur et tous les modèles prévoient une diminution dans la plupart des régions d'Algérie.

Tableau 7. Évolution de nombre de barrages, des capacités et des volumes régularisables

<i>Année</i>	<i>Nombre de barrages</i>	<i>Capacité de mobilisation des ressources superficielles (En milliards de m³)</i>	<i>Volume régularisable (En milliards de m³)</i>
1962	16	1.256	----
1967	17	1.44	----
1974	19	1.796	----
1986	30	3.290	----
1999	39	3.48	----
2000	47	5.03	1.6
2002	52	5.50	----
2004	60	6.80	1.65
2010	67	6.98	2.67
2012	72	7.4	3.78
2014	74	8.6	----
2015	75	8,11	5
2016	84	8.40	----
2030	124	12	----

Source : Chehat *et al.* (2018) ; Remini (2017), FAO (2015b) ; Kherbache (2014) ; Remini (2010) ; M.R.E. (2014)

En outre, vu le problème d'envasement des barrages algériens, Remini (2017) a établi un classement des barrages sur la base du taux de comblement annuel ; l'étude de l'envasement de 74 barrages a montré que 20 barrages d'une capacité totale égale à 2.370 millions de m³ sont gravement menacés par les dépôts de vase. Huit nouveaux barrages dont l'âge ne dépasse pas 14 ans sont vulnérables à l'envasement. Douze barrages d'une capacité totale égale à 830 millions de m³ sont moyennement envasés et 24 barrages sont faiblement envasés, le volume de boue déposé dans les 74 barrages est estimé à 1,9 milliards de m³ pour la fin de l'année 2017.

Les petits barrages et les retenues collinaires :

Les retenues collinaires et petits barrages sont dédiés à la petite et moyenne hydraulique (P.M.H.). La construction de retenues collinaires serait un palliatif à l'absence de zones pour l'implantation de grands barrages, mais de nombreux ouvrages se sont envasés prématurément en raison de leur construction hâtive et sans technique sûre, ce qui fait que la capacité de mobilisation prévue a été réduite de moitié (Kherbache, 2014). Les retenues collinaires sont de l'ordre de 524 en 2014 avec une capacité de mobilisation de 74 millions de m³/an qui permettraient d'irriguer 14.500 hectares en 2014, soit trois fois plus que la superficie à irriguer en 1999. En effet, en 2013, les petits barrages destinés à l'irrigation ont contribué à irriguer 11.172 ha (Tableau 8). Entre 2000 et 2015, le volume régularisable par ces petits barrages et retenues collinaires, est passé de 0.2 à 0.5 milliard de mètres cubes (Chehat *et al.*, 2018).

Tableau 8. Évolution du nombre de retenues collinaires et petits barrages

Année	Nombre de retenues	Superficie à irriguer (ha)	Capacité (Hm ³)	Superficie irriguée (ha)	Petits barrages	Superficie irriguée (ha)
1999	304	4.500	27,5	-	-	-
2003	-	-	-	5.673	53	7.775
2004	341	6.418	32	4.505	54	7.661
2005	-	-	-	7.291	48	4.891
2009	428	8.600	43	6.090	96	4.019
2010	-	-	-	8.416	91	5.194
2011	463	11.800	59	7.663	86	5.938
2012	472	12.117	61	6.407	141	9.325
2013	-	-	-	6.205	140	11.172
2014	524	14.500	74	-	163	-
2019	740	-	-	-	-	-

Source: FAO (2015); SOGREAH (2006); M.R.E. (2014, 2020)

Les forages et les puits :

Les forages et les puits sont employés pour la mobilisation des eaux souterraines. Recenser tous les ouvrages de ce type est pratiquement irréalisable, étant donné le nombre de puits et de forages illicites. L'évaluation de la mobilisation réelle des ressources en eau souterraine est une tâche délicate et pleine d'incertitudes. À ce propos, les contradictions sont nombreuses et aucune des institutions ne possède un dossier ou un répertoire exhaustif et précis sur l'état des ponctions souterraines effectives.

Le fait qu'il y a absence d'un inventaire exhaustif des volumes utilisés dans les PMH rend les évaluations de prélèvements approximatives. En effet, selon Djelouah (2018), les volumes mobilisés sont évalués pour les 88.000 forages à une capacité de 5.7 millions de m³/jour. Le tableau 9 présente un inventaire physique des puits et de forages et les superficies irriguées.

Tableau 9. Inventaire physique des puits et de forages

Année	Forages	Superficie (ha)	Puits	Superficie (ha)
2003	33.024	300.050	120.595	218.550
2004	36.983	324.061	127.805	234.712
2005	38.110	363.083	110.142	222.844
2009	57.826	445.322	133.333	293.253
2010	60.044	457.207	140.326	301.356
2011	62.967	486.806	144.050	316.198
2012	65.967	487.872	140.343	331.579
2013	66.810	535.280	147.310	346.716

Source : SOGREAH (2006) ; M.R.E. (2014)

Les transferts d'eau :

La répartition équitable et équilibrée des ressources en eau entre les diverses régions du territoire algérien constitue un autre axe de la politique de l'eau mise en place par les pouvoirs publics. En effet, afin de pallier aux disparités géographiques, un programme de transferts régionaux qui vise à assurer une meilleure équité entre les territoires pour l'accès à l'eau a été graduellement mis en œuvre.

Ces transferts d'eau répondent également aux objectifs de la stratégie de sécurité alimentaire du pays qui vise à soutenir des régions à fort potentiel agricole. En effet, les sept systèmes de transfert inter-bassins considérés comme « grands projets structurants » sont, d'Est en Ouest (Tableau 10) :

- 1) Le Système Béni Haroun-Hautes Plaines constantinoises (504 hm³/an) aménagement complexe refoulant les eaux de l'Oued Kébir - Rhumel au profit de plusieurs centres urbains (Constantine, Batna, Khenchela...) et de l'irrigation de 40.000 ha.
- 2) Le Complexe hydraulique Sétif-Hodna : commandé par les deux anciens barrages hydroélectriques de Petite Kabylie (Ighil Emda et Erraguène), destinés aujourd'hui à alimenter deux systèmes parallèles : système Ouest de Ighil-Emda-Mahouane (122 hm³/an) ; 31 hm³ pour l'AEP de la ville de Sétif et des agglomérations avoisinantes et 91 hm³ pour l'irrigation de 13.000 ha dans les Hautes Plaines sétifiennes ; système Est de Erraguène-Tabellout-Draa Diss (191 hm³/an) : 38 hm³ pour l'AEP de la ville d'El Eulma et des agglomérations avoisinantes et 153 hm³ pour l'irrigation de 30.000 ha.
- 3) L'Aménagement d'El Tarf (300 hm³/an), dispositif de six barrages (Cheffia, Mexa, Bougous, Bouhalloufa, Boulatane et Bounamoussa) devant desservir le pôle urbano-industriel d'Annaba, ainsi que la région d'El Tarf - El Kala et ses grands périmètres irrigués (plaines d'El Kebir - Est et de Bounamoussa-Annaba) ;
- 4) Le Transfert Tichy Haf-Béjaia (150 hm³/an) desservant les villes de la vallée de la Soummam (Akbou, Béjaia), les périmètres d'irrigation du Sahel et de la Basse Soummam, ainsi que la plaine d'El Esnam ;
- 5) Le Transfert Taksebt - Alger (180 hm³/an) : le système de production d'eau Taksebt-Souk Tleta répond à un programme d'urgence d'AEP de la région d'Alger - Tizi Ouzou – Boumerdès

- 6) Le transfert Koudiat Acerdoune - Hauts Plateaux (178hm³/an) : en plus de son rôle d'appoint pour le barrage de Keddara, ce projet couvrira les besoins d'AEP de 300.000 habitants (Bouira, Tizi Ouzou, M'sila et Médéa) ainsi que l'irrigation de 190.000 ha (Issers de Mitidja) ;
- 7) Le Système MAO (155 hm³/an), aménagement de l'oued Chlef- Kerrada destiné à l'AEP des villes formant le couloir Mostaganem - Arzew - Oran.

Le transfert des eaux souterraines du Sahara Septentrional vers deux couloirs de transfert (Djelfa et Biskra), une ressource optimale évaluée à 900 hm³/an (Mebarki, 2005). Par ailleurs, le transfert d'In Salah - Tamanrasset, par exemple, mobilise 100.000 millions de m³/jour d'eau potable provenant de l'intercalaire continentale sur une distance de 740 km (Sattar & Demmak, 2014). Le projet réalisé par sept entreprises nationales et étrangères, comprend 48 forages, une nappe, qui sera reliée à In Salah par une conduite de 100 kilomètres, ensuite d'In Salah à Tamanrasset. Il existe également deux conduites parallèles de 450 km chacune.

Au niveau de ces conduites, il y a des stations de pompage, une station de déminéralisation, deux réservoirs géants de 50.000 m³ chacun et un apport en eau pour la ville de Tamanrasset de 100.000 m³ jour. Le projet est considéré par certains comme une réalisation majeure, permettant d'approvisionner en eau les régions les plus reculées du pays.

Cependant, il a été également fortement critiqué pour son approche pharaonique et son coût élevé¹, visant principalement à maintenir les dépenses sociales dans un contexte d'instabilité politique et ne tenant pas compte d'autres alternatives locales. Ce projet, inauguré en avril 2011, est l'une des plus importantes réalisations du secteur de l'hydraulique des dix dernières années en Algérie, tout comme le système énergétivore. La dynamique de mobilisation toujours plus importante de ressources en eau s'axe autour d'une politique de l'offre appelée à combler les retards accumulés depuis plusieurs décennies.

¹Le coût représente près de 2 milliards de dollars (<https://www.liberte-algerie.com/actualite/sellal-le-coût-represente-pres-de-2-milliards-de-dollars-77282/print/1>). Ce projet dont le coût initial était de 1,2 Milliards d'Euros (Mebarki.A,2010).

Tableau 10. Les principaux transferts d'eau en Algérie

Désignation	Lieux d'affectation
<i>Transferts Nord-Nord et Nord-Hauts Plateaux</i>	
Béni Haroun	Mila, Constantine, Khenchela, Oum El Bouagui et Batna (504 hm ³ /an)
Taksbet	Tizi Ouzou, Boumerdès et Alger (180 hm ³ /an)
Koudiat Acedoune	Wilayas Bouira, Tizi Ouzou, M'sila et Médéa (178 hm ³ /an)
Mostaganem–Arzew–Oran	Mostaganem et Oran (155 hm ³ /an)
Barrages Erraguène, Tabel-lout et Draa Diss	Sétif (191 hm ³ /an)
Barrages Ighil Emda et Mahouane	Sétif (122 hm ³ /an)
Barrage Tichi Haf-Bejaia	Bejaia
<i>Transfert Sud-Sud</i>	
Nappe Albienne In Salah	Tamanrasset (36 hm ³ /an)
Transfert Sud-Hauts Plateaux	600 millions de m ³ /an
Nappe Albienne	Djelfa, Tiaret, M'sila, Biskra, Batna, Saïda, Tiaret et Médéa

Source: M.R.E. (2014b); A.N.B.T. (2018); Mozas & Ghosen (2013)

1.4.2. Eau non conventionnelle

La mobilisation des ressources en eau non conventionnelle est devenue une priorité du secteur pour pallier aux déficits régionaux en eau conventionnelle et afin d'assurer une sécurité future en matière de mobilisation des ressources en eau. Ces ressources non conventionnelles regroupent : 1) Dessalement de l'eau de mer, 2) Déminéralisation des eaux saumâtres, 3) Réutilisation des eaux usées urbaines épurées.

Pour réduire l'intensité de la rareté de l'eau conventionnelle, il y a deux solutions possibles : le recours à la mobilisation des ressources non conventionnelles ou une politique de gestion de la demande en eau (GDE). Selon Bouarfa et al., (2020), la gestion de la demande en eau consiste principalement à mobiliser plusieurs leviers d'action et à les articuler :

- 1) L'amélioration des techniques d'irrigation pour réduire les pertes en eau au cours de son transport et de son application à la parcelle ;
- 2) La baisse de la demande en eau d'irrigation, voire sa meilleure valorisation économique, par l'adoption du principe d'une tarification de l'eau d'irrigation adaptée à la qualité du service de l'eau et à la capacité à payer des agriculteurs et les incitant à en faire un usage économe ;

- 3) Une plus grande responsabilisation des agriculteurs pour gérer l'eau via des institutions décentralisées, telles que les associations d'irrigants, en misant sur une meilleure gestion locale porteuse de gains d'efficience.

En Algérie, les pouvoirs publics ont choisi l'augmentation de l'offre de l'eau via le premier terme de l'alternative qui constitue un axe prioritaire de la politique de l'eau. La gestion de la demande est reléguée comme une orientation de second ordre. L'année hydrologique 2001-2002 a été une année charnière de crise (sécheresse) avec des déficits pluviométriques atteignant 50 à 60% dans les régions du Centre et de l'Est du pays pour l'approvisionnement en eau et un défi politique particulier pour l'Algérie, dans les prochaines décennies, de s'adapter à une diminution des ressources en eau renouvelable (Hamiche *et al.*, 2018 ; Messahel & Benhafid, 2007). Cette crise et les perturbations de l'approvisionnement en eau ont mis en évidence le caractère très aléatoire des ressources en eau et ont contribué à une prise de conscience de la nécessité d'utiliser des ressources en eau non conventionnelles (dessalement de l'eau de mer et réutilisation des eaux usées par extension et mise en œuvre d'une nouvelle politique pour le secteur des ressources en eau (Hamiche *et al.*, 2018).

Le dessalement de l'eau de mer et la déminéralisation des eaux saumâtres :

Le dessalement d'eau de mer est devenu indispensable pour sécuriser l'alimentation en eau potable des populations des villes côtières et ce compte tenu de l'accroissement rapide de la demande en eau dans les secteurs de l'agriculture et de l'industrie. Le recours au dessalement de l'eau de mer permet non seulement de satisfaire les besoins en eau potable de la population mais aussi de libérer d'importantes quantités d'eau des barrages pour les besoins de l'irrigation. Le programme de dessalement, mis en œuvre à partir de 2003, prévoit la réalisation de 13 stations de dessalement d'une capacité nominale totale de 2,31 millions de m³/j, ce qui représente près de 850 millions de m³/an, pour desservir 8 millions d'habitants². A ce jour, onze (11) stations, d'une capacité installée de 2,1 millions m³ /jour, ont été réalisées et mises en service. Il s'agit des unités d'Arzew (Oran : 86.000 m³/j), de Hamma (Alger : 200.000 m³/j), de Skikda (100.000 m³/j), de Beni Saf (Ain Temouchent : 200.000 m³/j), Mostaganem (200.000 m³/j), Fouka (Tipaza : 120.000 m³/j), Souk Tlala-(Tlemcen : 200.000 m³/j), Honein (Tlemcen : (200.000 m³/j), Cap Djinet (Boumerdès : 100.000 m³/j), Tenes (Chlef : 200.000 m³/j) et Maacta (Oran : 500.00 m³/j). La station d'El-Mactaa, proche d'Oran, entrée en exploitation en novembre 2015, disposera d'une capacité de 500.000 m³/jour, soit l'une des plus

²(Source site MEE (Ministère de l'énergie et des Mines) / <https://www.energy.gov.dz/?article=projet-de-dessalement-de-l'eau-de-mer>)

grandes unités de dessalement par osmose inverse (Drouiche *et al.*, 2020) . Deux nouvelles stations de dessalement d'une capacité de 300.000 m³/jour chacune, seront réalisées : la première est celle de la wilaya d'E-Tarf, et la seconde sera installée à l'ouest d'Alger. La station de la wilaya d'El Tarf sera appelée à renforcer et à sécuriser l'alimentation en eau potable d'une large zone géographique de l'Est du pays. Pour ce qui est de la station de l'Ouest d'Alger, elle est destinée à satisfaire la demande en eau potable de la partie Ouest d'Alger et de Blida. La mise en service de ces deux autres stations portera la capacité de production totale à 2.3 millions de m³/jour d'ici 2020 (Safar-Zitoun, 2018). Le Conseil Interministériel du 24/10/2017 a décidé, entre autres, que ces deux unités soient réalisées dans les meilleurs délais et dans les meilleures conditions. Toutefois, ces deux grandes stations de dessalement d'eau de mer, d'une capacité de production de 300 000 m³ par jour pour la wilaya d' El Tarf lancés en 2018 puis gelé, le projet a été repris de nouveau par le ministère des Ressources en eaux (MRE) en 2021, pour la station de l'Ouest d'Alger est prévu d'être opérationnelle d'ici 2024. La politique de dessalement de l'eau de mer en Algérie a pour objectif de satisfaire les besoins en eau potable des villes côtières et réaffecter les eaux de barrages vers les wilayas en déficit hydrique.

Cette nouvelle orientation qu'elle a adoptée sert à sécuriser et accroître la mobilisation des ressources en eau, en raison de l'insuffisance de la quantité de ressources en eau conventionnelle par rapport aux demandes (Djaffar & Kettab, 2018). Cette arrivée de l'eau dessalée permet aussi d'atténuer la pression sur les prélèvements souterrains.

L'eau dessalée dont le coût variera entre 65 et 75 dinars (0,6 euros) par mètre cube sera distribuée par l'ADE (Algérienne des Eaux) à des prix négociés qui devraient rester au même niveau que l'eau conventionnelle (Hamiche *et al.*, 2018). Même si la politique de dessalement peut être un moyen de combler le déficit hydrique de certaines régions du pays, elle est une aberration économique dans la mesure où il est déraisonnable de recourir au dessalement avant de résorber toutes les fuites dans les réseaux d'approvisionnement et de distribution, avant la mise en œuvre d'instruments économiques (tarification, marchés de l'eau) qui permettent aux différentes demandes en eau de faire face à une offre limitée, qui encouragent l'émergence de nouvelles technologies de production agricole économes en eau et qui incitent à une utilisation plus efficiente de la ressource.

La théorie du choix public paraît particulièrement appropriée à l'analyse des politiques de l'eau, puisque ces politiques reposent davantage sur la rationalité politique que sur la rationa-

lité économique (Rinaudo & Morardet, 1999). Les principales stations de dessalement stations de dessalement en cours d'exploitation sont indiquées dans le tableau 11.

Tableau 11. Stations de dessalement d'eau de mer depuis 2013

<i>Stations</i>	<i>Petites stations</i>	<i>Grandes stations</i>	<i>Total</i>
Nombre	21	9	30
Capacité en millions de m ³ /jour	57,500	1.410,000	1.467,500
Production en millions de m ³ /an	21	514,6	535,6

Source : Fnack, (2019)

Trente stations de dessalement de l'eau de mer sont en exploitation dont 21 monoblocs sont construits en 2001 avec une capacité 57.500 m³/j et neuf grandes usines mises en œuvre depuis 2005, avec un volume de production total de 536 Hm³/an. À la fin 2015, la situation des infrastructures de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles en exploitation se présente comme suit (M.R.E., 2020) : 10 stations de dessalement d'eau de mer, d'une capacité totale de 587,65 hm³/an pour une population desservie de 7.111.190 habitants, 21 stations monoblocs de dessalement d'une capacité totale de 2,9 hm³/an pour population desservie de 247.460 habitants. Selon (Algerian Energy Company AEC,2021)³, trois nouveaux projets de réalisation de stations de dessalement de l'eau de mer seront opérationnels à l'horizon 2024, et un quatrième projet sera réalisé à Oran. Concernant les trois projets retenus pour le programme en cours, il a été retenu un à El Tarf (300 000 mètres cubes/jour), un à Alger Ouest (300 000 m³/j) et un à Guerbes (Skikda) avec 70 000 m³/j. Les 670 000 m³/j d'eau qui seront produits par les trois stations s'ajouteront à la capacité de production actuelle estimée à 2,1 millions de m³/j, pour atteindre une capacité totale de production de 2,8 millions de m³/j. Pour l'amélioration de la qualité de l'eau saumâtre, un programme de déminéralisation a consisté en la réalisation de 14 stations de déminéralisation pour une capacité de 92.429 m³/j (e-MRE, 2020). Le volume des eaux saumâtres mobilisé est estimé à 153,5 hm³/an. Le volume global des eaux saumâtres mobilisé à partir des 15 stations de déminéralisation des eaux saumâtres en exploitation est de 71.597 m³/j soit 26,1 hm³/an. A la fin 2015, la situation des infrastructures des eaux saumâtres est de 18 stations de déminéralisation des eaux saumâtres avec une capacité totale de 33,73 hm³/an pour une population desservie de 498.160 habitants (M.R.E., 2020). On dénombre actuellement 23 stations de déminéralisation d'une capacité de 254.000 m³/jour (Djelouah, 2018). Un programme ambitieux de développement d'infrastructures de mobilisation et de déminéralisation des eaux saumâtres est en voie de réalisation afin d'améliorer la qualité de l'eau potable mis à la disposition des populations du sud.

³ [https://lejournalalgerie.com/eau-potable-projets-de-quatre-nouvelles-stations-de-dessalement/\(24 mai 2021\)](https://lejournalalgerie.com/eau-potable-projets-de-quatre-nouvelles-stations-de-dessalement/(24%20mai%202021))

La réutilisation des eaux usées épurées :

La réutilisation des eaux usées traitées est devenue une priorité de la nouvelle politique de l'eau, ce qui a entraîné la réhabilitation des anciennes stations et la construction de nouvelles. Elle constitue une forme de valorisation d'un potentiel hydrique important, qui permet d'alléger le recours aux ressources hydriques conventionnelles, notamment les eaux de surface et souterraines très vulnérables tout en protégeant le milieu naturel.

L'objectif est de construire 239 stations d'épuration des eaux usées d'une capacité totale de 1,2 milliards de m³/an d'eau purifiée destinée principalement à l'irrigation, préservant ainsi les ressources en eau conventionnelles tout en augmentant la production agricole (Mozas & Ghosen, 2013). Selon le ministère des Ressources en eau, les investissements dans le dessalement et le traitement des eaux usées seront ciblés dans les années à venir, et la coopération avec des entreprises internationales sera encouragée (Mosbahi, 2019). En effet, le linéaire du réseau d'assainissement est passé de 21.000 km en 1990 à 47.000 km en 2019 ; de plus, un programme de réalisation de 2.000 km de réseau est en cours (P.N.U.D., 2019).

Pour ce qui est du taux national de raccordement au réseau public d'assainissement, qui est l'un des indicateurs les plus fréquemment utilisés pour apprécier les efforts d'un pays en matière d'assainissement, il était de 90% en 2016 avant d'atteindre 91% en 2019, avec un taux d'accès à l'assainissement de 95% en comptabilisant l'assainissement autonome et individuel pour une population totale qui s'élève à 40 millions d'habitants alors qu'en 1999, il ne représentait que 72% (P.N.U.D., 2019).

Tableau 12. Évolution des volumes des eaux usées épurées au niveau national

Année	Linéaire des réseaux d'assainissement (km)	Nombre de stations	Capacité des stations (hm ³ /an)	Volume d'eaux usées rejetées (hm ³ /an)	Volume des eaux usées traitées (hm ³ /an)	Taux de raccordement (%)
1962	-	1	3	-	-	20
1999	21.000	45	90	600	-	72
2009	41.000	68	665	-	253	86
2012	42.000	70	700	1.200	280	87
2014	45.000	72	900	1.500	293	89
2016	-	177	860	-	-	90
2019	47.000	199	1.300	2.000	-	95

Source : P.N.U.D (2019) ; Boubou (2015)

L'Algérie a réalisé, une importante avancée en matière d'infrastructures de base : le parc des stations d'épuration est passé de 45 stations en 2000, à 177 en 2016 pour atteindre 199 sta-

tions en exploitation en 2019 ; il reste actuellement l'achèvement d'un programme en cours de 66 stations, devant permettre à l'Algérie d'atteindre à l'horizon 2022 une capacité épuratoire de plus de 1 milliard de m³ (P.N.U.D., 2019).

En somme, la politique nationale en matière d'exploitation des EUE à des fins agricoles consiste à contribuer à l'extension des terres irriguées, à l'augmentation de la production agricole et à la préservation des ressources hydriques superficielles et souterraines.

2. La politique de gestion des ressources d'eau en Algérie

2.1. Institutions et dispositions législatives de la politique de l'eau en Algérie

Les assises nationales de l'eau de 1995 ont permis le début d'une prise de conscience de la gravité du problème de l'eau en Algérie. Elles ont posé les bases d'une réforme du secteur de l'eau et d'une définition des orientations de la nouvelle politique de l'eau. Depuis cette année, de nombreuses opérations ont été entreprises pour une meilleure gestion de l'eau. En plus de la promulgation de l'ordonnance no. 96-13 (du 15 juin 1996 modifiant et complétant la loi n°83-17 du 16 juillet 1983) portant code de l'eau, qui définit les fondements de cette politique.

La politique de l'eau en Algérie a connu deux étapes essentielles : la première a démarré après les assises nationales de l'eau et l'amendement de la loi n°83-17 (du 16 juillet 1983 portant code de l'eau), et la seconde a débuté avec la promulgation de la loi n°05-12 (du 4 août 2005 sur l'eau). La gestion du secteur de l'eau en Algérie s'organise principalement dans le cadre de la loi relative à l'eau (loi 05-12 du 4 Août 2005). Instrument juridique à double finalité, normative et de politique sectorielle. Celui-ci a subi des modifications successives pour prendre en compte les évolutions économiques du pays et pour adopter les principes et règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale (Benblidia, 2011).

La politique algérienne de gestion de l'eau est, depuis plus d'une décennie, davantage orientée sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'une meilleure utilisation des ressources déjà existantes (Benblidia, 2011). Pour faire face à la hausse de la demande en eau, la priorité a été donnée au développement de l'offre, comme en atteste la part prépondérante accordée aux budgets d'investissement dans la grande hydraulique (barrages, exploitation des nappes profondes, dessalement, transferts d'eau à grande échelle (Mozas & Ghosen, 2013).

La gestion du secteur de l'eau en Algérie relève principalement de la loi n°05-12 sur l'eau de 2005 (Mozas & Ghosen, 2013). Elle remplace la loi de 1983 (loi n°83-17) portant Code des eaux, complétée en 1996 (n°96-13). Les autres textes promulgués relatifs à l'eau sont :

1) Décret n°96-100 de 1996 portant définition du bassin hydrographique et fixant le statut type ;

2) Décret n°2000-324 de 2000 fixant les attributions du M.R.E. ;

3) Arrêté interministériel de 2005 déterminant les cahiers des charges types relatifs à la concession de la gestion, de l'exploitation et de l'entretien des ouvrages et des infrastructures de la petite et moyenne hydraulique agricole ;

4) Décret n°07-270 de 2007 fixant les conditions et modalités d'établissement du système de tarification du service de l'eau d'irrigation.

Concernant les eaux usées :

1) Décret n°07-149 de 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges type y afférent ;

2) Arrêté interministériel de 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation, ainsi que la liste des cultures pouvant être irriguées avec ces eaux usées épurées.

Enfin, un certain nombre de circulaires ministérielles ont donné la priorité aux aménagements de retenues collinaires et l'amélioration de la productivité des céréales irriguées. La principale politique relative à l'hydraulique est le Schéma National d'Aménagement Hydraulique 2006-2025, adopté en 2007 et intégré au Schéma National d'Aménagement du Territoire (S.N.A.T.). Il constitue le cadre de référence de la politique de l'eau. Son objectif est de satisfaire tous les besoins en eau du pays en année normale et en cas de sécheresse, l'ensemble des besoins en eau potable et 60% de ceux de l'irrigation. Il est décliné à plus court terme en Plan National de l'Eau (P.N.E.) et Plan Directeur des Aménagements des Ressources en Eau (P.D.A.R.E.).

Face à la situation de déficit chronique et de non satisfaction des besoins et malgré l'importance des investissements consentis, le secteur des ressources en eau n'a pas cessé d'entreprendre des refontes de son système d'organisation et de gestion reposant sur les principes suivants : Unicité de la ressource, Gestion intégrée à l'échelle du bassin hydrographique, Gestion concertée, économique et environnementale.

Depuis 1962, l'administration de l'hydraulique agricole a successivement été rattachée au Ministère de l'Agriculture (1962), Secrétariat d'État à l'Hydraulique (1970), Ministère de

l'Hydraulique (1977), Ministère de l'Équipement (1990), Secrétariat d'Etat à l'Hydraulique Agricole et au Génie Rural (1992) et Ministère de l'Agriculture (1993). Depuis 2000, elle est rattachée au Ministère des Ressources en Eau (M.R.E.) (FAO, 2015a). Ces politiques de réorganisation s'inscrivent toutes dans le cadre de la loi sur l'eau de 2005 qui 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 (Benblidia, 2011). Le M.R.E. est responsable de l'élaboration et la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau.

Les principales directions concernées par l'irrigation sont :

1. Direction des études et des aménagements hydrauliques (D.E.A.H.) : Cette direction est chargée, avec les autres structures, de mettre à jour l'évaluation des ressources en eau, des superficies irrigables et les besoins des différents secteurs d'activité. Elle assure également la réalisation des schémas d'aménagements hydrauliques à l'échelle nationale et régionale et la réalisation du plan national de l'eau, mais aussi de son actualisation.
2. Direction de la mobilisation des ressources en eau (D.M.R.E.) : elle participe à l'élaboration, l'évaluation et la mise en œuvre de la politique nationale en matière de production, de stockage de l'eau. Elle contribue dans les études de faisabilité de mobilisation des ressources en eau souterraines et superficielles ainsi que la réalisation des barrages et des transferts.
3. Direction de l'hydraulique agricole (D.H.A.) : Dans le cadre de la politique hydro-agricole en matière d'irrigation et de drainage, la D.H.A. est chargée d'élaborer des plans de développement et des schémas nationaux et régionaux et de contrôler les programmes d'études et de réalisation des infrastructures. Elle participe dans la mise en œuvre de la politique de production et de stockage de l'eau agricole et couverte par des opérations de petite et moyenne hydraulique (puits, forages et retenues collinaires) et des grands périmètres. Elle qui comprend : la Sous-direction des grands périmètres (S.D.G.P.) , la Sous-direction de la PMH (S.D.P.M.H.) et la Sous-direction de l'exploitation de l'hydraulique agricole (S.D.E.H.A).

Les organisations suivantes sont également sous la tutelle du M.R.E. (MRE, 2014) :

1. Office national de l'irrigation et du drainage (O.N.I.D.) : créé par le décret n°05-183 du 18 mai 2005 en intégrant à la fois l'ex-Agence nationale de réalisation et de gestion des in-

frastructures hydrauliques pour l'irrigation et le drainage (A.G.I.D.) et les Offices de périmètres irrigués (O.P.I.) chargés de la gestion, de l'exploitation et la maintenance des équipements et infrastructures hydrauliques dans les périmètres irrigués. L'O.N.I.D. est donc responsable de la gestion des périmètres d'irrigation de l'État et des collectivités locales, ainsi que de l'efficacité hydraulique de ces périmètres.

2. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H.) : Créée par le décret n°81-167 du 25 Juillet 1981. C'est un établissement à caractère administratif à vocation scientifique et technique. La mission principale de cette agence est la mise en application des programmes d'inventaire des ressources en eau et en sols du pays. Elle intervient pour inventorier et évaluer les ressources en eau et sols irrigables.
3. Agence Nationale des Barrages et Transferts (A.N.B.T.) : Elle est créée par le décret n°85-163 du 11 juin 1985 ; elle a un statut d'établissement administratif mais son statut juridique a été modifié en EPIC par le décret n°05-101 du 23 mars 2005. L'A.N.B.T. est responsable de la production et de la fourniture d'eau aux établissements et régions communales chargés de sa distribution, d'assurer la gestion, l'exploitation et la maintenance des ouvrages en exploitation, dans le cadre de la mobilisation et du transfert des ressources en eau de surface. Elle assure par ailleurs la maîtrise d'ouvrage des infrastructures de transfert.

L'organisation suivante est sous la tutelle du M.A.D.R

1. Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage (I.N.S.I.D.) : Créé par le décret exécutif n°09-311 du 23 septembre 2009 modifiant et complétant le décret n°87-15- du 13 du janvier 1987, chargé de procéder à l'inventaire des ressources en terres agricoles et mettre en œuvre un programme d'actions d'aménagement en vue de leur mise en valeur et préservation.

Au niveau local, le M.R.E. dispose d'une direction des ressources en eau de wilaya (D.R.E.W.) dans chacune des 48 wilayas du pays. Enfin, le Conseil national consultatif des ressources en eau, créé en 2008, coordonne les différents aspects de la politique de l'eau entre les diverses institutions. En ce qui concerne l'eau potable et l'assainissement, l'Algérienne des eaux (A.D.E.), créée en 2001, est chargée d'assurer, sur tout le territoire national, la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau potable et industrielle moyennant 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, ainsi que du renouvel-

lement et du développement des infrastructures connexes. L'Office national de l'assainissement (O.N.A), créé lui aussi en 2001, est chargé d'assurer la protection de l'environnement hydrique et la mise en œuvre de la politique nationale d'assainissement en concertation avec les collectivités locales. Depuis 2008, l'autorité de régulation des services publics de l'eau créée évalue les services d'eau et d'assainissement fournis aux usagers, et contrôle leurs coûts et les tarifs. Le secteur de l'eau a depuis longtemps été administré par une multiplicité d'organisations dont les différents statuts et tailles constituent un véritable "magma" organisationnel.

Depuis le transfert du secteur de l'irrigation qui relevait du Ministère de l'Agriculture (Décret exécutif no. 2000-324 du 25 octobre 2000 fixant les attributions du Ministre des Ressources en eau), le Ministère des Ressources en Eau (M.R.E.) est le principal responsable de la politique de l'eau dont il assure l'élaboration et la mise en œuvre. Sa compétence s'étend à l'ensemble des activités relatives à la recherche, l'exploitation, le stockage, la distribution de l'eau pour tous les usages et à l'assainissement. Il veille, avec les ministères chargés de l'Environnement et de la Santé, à la préservation de la qualité des ressources en eau (Benbli-dia, 2011).

De nombreuses lois, décrets et textes d'application, arrêtés et circulaires ont été publiés. Ces instruments ont été mis en place, modifiés, complétés ou abrogés lors de la dissolution de structures ou du changement de responsables (Benzerra, 2016). Les textes conçus au fur et à mesure de la création des structures n'ont joué aucun rôle concret sur le terrain, et leur multiplication a contribué à rendre complexe et difficile le fonctionnement et l'organisation des services concernés ; dans l'ensemble, le cadre réglementaire et juridique est défaillant, les mécanismes réglementaires sont peu appliqués et les moyens d'exercice des pouvoirs publics sont faibles (Bedjou, 2012).

La gestion des périmètres irrigués était assurée, jusqu'en 1985, par les subdivisions rattachées aux directions de l'hydraulique de Wilaya. L'année 1985 a été marquée par la création des Offices des Périmètres Irrigués (O.P.I.), responsables de la gestion, de l'exploitation et de l'entretien des infrastructures hydrauliques des périmètres irrigués. Les ressources financières de ces offices étaient issues des redevances d'eau pour l'irrigation. Il existait deux types d'OPI :

- 1) Les OPI régionaux pour la gestion des grands périmètres d'irrigation, cinq au total: Mitidja, vallée du Cheliff, Habra-Sig, El-Tarf et Oued R'Hir ;

- 2) Les OPI de wilaya pour la gestion des petits et moyens périmètres d'irrigation publics, huit au total : Béchar, Tlemcen, Saida, Boumerdès, Bouira, Bejaïa, M'sila et Tizi-Ouzou.

Toutefois, depuis 2005, ces OPI ont cédé la place à l'O.N.I.D. pour la gestion de ces mêmes périmètres. La gestion des autres superficies irriguées de la PMH est principalement dispensée par des agriculteurs privés de façon individuelle et secondairement par des associations d'usagers ou d'irrigants. La gestion sectorielle de l'eau des années 1980 et 1990 a été substituée par une gestion concertée au niveau des bassins hydrographiques à partir de 1996 avec la création des Agences de Bassin Hydrographique (A.B.H.) sous la tutelle des M.R.E., le pays est divisé en 5 bassins hydrographiques regroupant les 19 bassins versants du pays (FAO, 2015). Elles sont chargées de développer le suivi des ressources afin de planifier l'allocation des ressources de leur bassin et s'appuient sur des comités de bassins (Mozas & Ghosen, 2013).

2.2. La politique de gestion intégrée des ressources en eau

Depuis 1996, l'Algérie s'est engagée graduellement dans une nouvelle politique de l'eau, à savoir la « Gestion intégrée des ressources en eau » pour assurer leur valorisation et durabilité (Bouchedja, 2012). Ainsi, la loi n°05-12 sur l'eau de 2005 définit l'eau comme un bien public national et a introduit le concept de gestion par bassin hydrographique. Cette nouvelle politique est fondée sur un ensemble de réformes institutionnelles en mettant en œuvre un cadre organique, des nouveaux instruments de gestion qui sont les Agences de bassin et les Comités de Bassin et des mécanismes de financement.

À cet effet, le territoire algérien a été subdivisé en cinq grands bassins hydrographiques créant dans chacun d'entre eux des organismes de bassin : Agences de Bassin hydrographique et Comités de bassin hydrographique (Bouchedja, 2012), ces comités de Bassin Hydrographique sont constitués de 35 membres représentant les collectivités locales, les usagers, les organismes de gestion des services d'eau et les différentes administrations ; ils sont le cadre de concertation pour la gestion intégrée des ressources en eau. Leur mission est de traiter toute question relative au développement et à la gestion des ressources en eau, notamment dans le cadre du Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau⁴, des programmes d'activités

⁴ Institué par la loi de l'eau, notamment son article 56 « Pour chaque unité hydrographique naturelle, il est institué un Plan Directeur des Ressources en Eau, qui définit les choix stratégiques de mobilisation, d'affectation et d'utilisation des ressources en Eau, y compris les eaux non conventionnelles »

pour la protection des ressources en eau et des programmes d'information et de sensibilisation des usagers de l'eau.

Une Agence Nationale de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (AGIRE) est en fonction depuis 2014 pour assurer les missions d'orientation, d'animation, de coordination et d'évaluation des Agences des Bassins Hydrographiques (P.N.U.D., 2019). En vue d'encadrer la gestion commune de ces ressources transfrontalières, des conventions, des accords et divers instruments ont été élaborés entre l'Algérie et ces pays. En outre, un mécanisme de coopération et de concertation sur la gestion du Système Aquifère du Sahara Nord (SASS) est opérationnel depuis 2008 (P.N.U.D., 2019).

Dans les pays où l'agriculture est le plus gros consommateur d'eau, les réformes engagées sont principalement orientées vers le transfert de la gestion des périmètres irrigués aux usagers, l'objectif ciblé par les gouvernements qui engagent de telles réformes est une réduction progressive des subventions publiques allouées au secteur irrigué (Rinaudo, & Morardet, 1999) et la décision politique d'intégrer les Associations des Usagers de l'Eau (A.U.E.) dans la gestion des périmètres irrigués.

Dès 2005, la décision politique d'intégrer les AUE 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 ».

En ce qui concerne la Petite et Moyenne Hydraulique (P.M.H.) et dans le cadre du Transfert de la Gestion de l'Irrigation (T.G.I.), la décision politique est traduite par la condition de création d'une A.U.E. pour toute réalisation par l'État d'infrastructure destinée à la petite irrigation. En Algérie, il existe 3 types d'association intervenant dans l'agriculture irriguée : 1) Association Syndicale ; 2) Association Professionnelle ; 3) Association des Usagers de l'Eau.

En matière d'association syndicale, il existe une organisation nationale dénommée « Union Nationale des Paysans Algériens » (U.N.P.A.). Cette association, affiliée à l'UGTA, a été créée en 1974 et regroupe en son sein la totalité de la paysannerie algérienne (agriculteurs, éleveurs, transformateurs agro-alimentaires, distributeurs...). Sa principale mission est la recherche des meilleurs moyens d'améliorer le niveau de vie du paysan et d'augmenter la productivité dans le domaine agricole. Toutes les négociations avec le gouvernement passent par l'UNPA.

Les associations professionnelles sont présentes au niveau de chaque wilaya à travers les Chambres de l'Agriculture de Wilaya (C.A.W.) et dont la coordination est assurée par la Chambre Nationale de l'Agriculture (C.N.A.). Les chambres sont créées dès février 1991, cependant, leur statut a été réformé en septembre 2010. Sont membres des C.A.W. les associations professionnelles agricoles, les coopératives agricoles et leurs unions ainsi que toutes autres personnes morales exerçant à titre principal une activité de production de biens ou de services liés à l'agriculture. Les C.A.W. sont chargées de développer, en direction de leurs membres, les services et prestations utiles dans tous les domaines liés à l'activité agricole et la santé animale entre autres. La chambre nationale d'agriculture (C.N.A.) a pour mission de coordonner et d'évaluer l'activité des C.A.W.

Le mouvement associatif en Algérie est assez jeune ; c'est la constitution de Février 1989 qui ouvre la porte et dès la parution des décrets d'application et de la loi du 4 décembre 1990 relative aux associations, il en apparaît un nombre appréciable. Aujourd'hui, on dénombre au moins une association d'irrigants au niveau de chaque périmètre d'irrigation. En application des principes de la gestion participative, ces associations activent au sein des comités de suivi des campagnes d'irrigation au niveau de chaque périmètre. Deux de leurs représentants sont membres du Conseil d'Orientation et de Surveillance (C.O.S.) de l'O.N.I.D (Belkated ,2012).

Le manque d'expérience des A.U.E., la rareté de la ressource, le statut du foncier agricole et la complexité des systèmes de distribution de la Grande Irrigation freinent l'engouement des A.U.E. à une participation active de l'irrigation (Belkated ,2012). Ceci est notamment constaté au sein des comités de suivi de l'irrigation institués localement. Cependant, la loi portant sur le foncier agricole ainsi et les fonds de soutien mobilisés par l'État pour la modernisation de l'irrigation notamment dans les systèmes économiseurs d'eau (le taux de soutien accordé au collectif est plus important que celui individuel) montre aujourd'hui un intérêt grandissant de la part des A.U.E. dans la gestion de la ressource en eau (Belkated ,2012).

Depuis la création de l'O.N.I.D. en 2005, cette dernière s'est dotée d'instruments afin d'appuyer les A.U.E. dans leurs organisation et leurs implication dans la gestion participative de l'irrigation, en participant à la création des comité de suivi de l'irrigation au niveau de chaque périmètre et en organisant des réunions de concertation périodique, en intégrant 02 représentants des AUE au sein de son conseil d'administration (COS) et enfin en apportant assistance et conseils aux usagers de l'eau tels que prévu par l'art. 7 de son décret de création (Belkated ,2012). En ce qui concerne la coopération pour la gestion des eaux transfrontalières, l'Algérie partage avec la Libye et la Tunisie d'importantes ressources en eaux souterraines.

2.3. La politique de tarification de l'eau agricole

Suite à la politique de construction des infrastructures de mobilisation et de mise en place du cadre institutionnel et législatif essentiel pour la gestion des ressources hydriques, l'Algérie doit inciter les agriculteurs à mieux valoriser les ressources productives pour faire face aux défis d'urbanisation, démographie, sécurité alimentaire et impacts du changement climatique, etc.). En effet, une politique de recouvrement des coûts d'exploitation et de maintenance du circuit d'approvisionnement en eau d'irrigation a été adoptée depuis l'instauration du plan d'ajustement structurel sur les périmètres publics irrigués pour la vente d'eau d'irrigation.

Les mécanismes de tarification visent à contrôler la demande et à couvrir les frais et les charges d'entretien et d'exploitation des ouvrages et infrastructures d'irrigation et d'assainissement/drainage, ainsi que pour financer les infrastructures. Les difficultés financières rencontrées par la majorité des établissements de production et de distribution d'eau ont été à l'origine en 2005, des décrets n°05-14 du 9 janvier 2005 et n°07-270-2007⁵ qui ont fixés les modalités de tarification de l'eau à usage agricole et les tarifs, ont précisé les zones tarifaires et procédé à une augmentation des bases tarifaires. Les pouvoirs publics ont augmenté nominalement le prix de l'eau, en répondant au principe de couverture des coûts réels du service de l'eau par les redevances payées par les usagers, selon le mode d'irrigation. Mais la question qui reste posée est la suivante : quel est l'effet de ces augmentations sur la gestion de la demande et sur la couverture du coût réel de l'eau ?

La politique de tarification vise à garantir aux organismes gestionnaires des périmètres irrigués, des ressources financières suffisantes pour leur permettre d'assurer leurs obligations vis

⁵ Le décret du 20 mai 2007 est spécifique à l'utilisation des eaux usées traitées à des fins d'irrigation de cultures ou d'espaces verts, à l'exclusion des cultures maraîchères dont les produits sont consommables crus (la loi Eau a énoncé le principe d'interdiction d'utilisation d'eaux usées brutes pour l'irrigation). Il est élaboré par l'Agence de bassin et approuvé par le comité de bassin et fixe les orientations fondamentales de la gestion de la ressource en eau et élabore le plan de gestion des ressources en eau mobilisées et leurs affectations.

à vis des irrigants, et ce dans le cadre du régime de la concession défini par l'État. Mais la tarification en vigueur est établie avec la perspective de couvrir uniquement les charges d'exploitation et les tarifs appliqués sont différenciés d'un périmètre à un autre. Ils sont passés de 1/1,25 DA/m³ en 1996 et à 2/2,5DA /m³ en 2005 et sont applicables pour la fourniture de l'eau dans les périmètres irrigués ; ils sont fixés conformément au tableau 13. Les prix de l'eau appliqués dans les autres périmètres sont : 1) Prix volumétrique : 2,00 DA par mètre cube en amont des parcelles. 2) Le prix fixe à 250 DA par hectare souscrit.

Ce tarif de l'eau à usage agricole couvre les frais et les charges d'entretien et d'exploitation des ouvrages et infrastructures d'irrigation et d'assainissement – drainage et contribue au financement des investissements pour leur recouvrement et leur extension. Pour cela, tout exploitant agricole dont les terres sont situées dans un périmètre irrigué mis en eau est tenu de contracter un abonnement. Les tarifs applicables actuellement sont de 2 à 2,50 DA par mètre cube en tête de parcelle plus un tarif fixe de 250 à 400 DA par litre/seconde/hectare souscrit.

En réalité, la dernière tarification de 2005 s'inscrit dans le cadre des conditionnalités du plan d'ajustement structurel négocié avec le Fonds monétaire international (FMI), plan qui engageait l'Algérie à augmenter sur dix années (1995-2005) le tarif réel de l'eau à raison de 10% par an pour tous les secteurs d'usage (Salem, 2007).

Tableau 13. La tarification de l'eau agricole dans les périmètres irrigués en 1996 et 2005

Périmètre	Wilaya	1996		2005	
		Tarif variable DA/m ³	Tarif fixe DA/l/s/h	Tarif variable DA/m ³	Tarif fixe DA/l/s/h
Sig	Mascara	1,20	250	2,50	250
Habra		1,20	250	2,50	250
Mina	Relizane	1,00	250	2,00	250
Bas Cheliff	Chlef	1,00	250	2,00	250
Moyen Cheliff	Chlef	1,15	250	2,00	250
Haut Cheliff	Ain Defla	1,25	400	2,50	400
Mitidja Ouest	Blida, Tipaza	1,00	400	2,50	400
Hamiz	Alger, Boumerdès, Blida	1,25	400	2,50	400
Bouchegouf	Guelma	-	-	2,50	400
Saf Saf	Skikda	1,00	400	2,00	400
Bouamoussa	El Tarf — Annaba	1,20	400	2,50	400

Source : Décret exécutif n°05-14, 09 Janvier 2005, JORADP (1996)

Cependant, et depuis 2005, les tarifs de l'eau agricole ont stagné, et les niveaux des tarifs fixés par décrets et appliqués sont loin de répondre à ces conditions d'équilibre des charges d'exploitation sans tenir compte les amortissements d'investissement dans les périmètres

d'irrigation. En effet, cette tarification a été nettement insuffisante pour bien gérer les périmètres irrigués (Benblidia, 2011). L'étude de la Banque mondiale (2007) montre que cette nouvelle tarification ne permet pas (à quelques exceptions près) de réduire significativement l'écart entre les recettes et les coûts d'exploitation et d'entretien. Elle indique que les redevances ne couvrent qu'environ 78% en moyenne des dépenses d'exploitation et d'entretien des 19 périmètres irrigués étudiés. La plupart de ces périmètres (14 sur 19) présentent un taux de couverture variable entre 32 et 87%. Une bonne partie des redevances sert à payer la masse salariale qui a été substantiellement revalorisée, laissant ainsi une part négligeable pour les dépenses d'entretien (Benmihoub & Bédrani, 2012).

La situation devient compliquée durant les années de sécheresse où les volumes d'eau vendus sont quelquefois insignifiants, alors que les subventions de l'État ne sont presque jamais versées aux organismes gestionnaires bien que prévues contractuellement (Benmihoub & Bédrani, 2012). L'étude de Fabre & d'Abreu (2018)⁶ illustre bien la problématique de la tarification actuelle de l'eau (irrigation et usage domestique) qui est règlementée et qui n'intègre pas le coût de la mobilisation de l'eau brute au niveau des barrages, en amont du circuit de distribution. Cette mobilisation s'effectue en Algérie à travers 76 barrages et 18 ouvrages de transfert gérés par l'A.N.B.T.

Actuellement le taux de recouvrement des coûts d'exploitation de l'eau agricole et domestique est de 35% en moyenne. Les coûts d'exploitation des barrages et transferts augmentent fortement au regard des besoins croissants en eau et sont largement subventionnés par l'État (A.N.B.T., 2018).

L'analyse que nous avons effectuée pour les grands périmètres irrigués sur les cinq directions régionales (Bilan sur trois campagnes d'irrigation allant de 2014 à 2016) a permis de constater que le prix de l'eau d'irrigation est en dessous des coûts d'exploitation des périmètres ; dans certains cas, nous estimons qu'il ne couvre que 10% du coût total ou qu'il couvre à peine la seule charge d'électricité, le taux de recouvrement pour tous les grands périmètres irrigués ne dépasse pas en moyenne les 34% pour les trois campagnes d'irrigation (Annexe 22). Par conséquent, l'activité exploitation est très déficitaire au cours des trois dernières années sur l'ensemble des directions régionales.

⁶ Dans le cadre de l'atelier régional sur les instruments économiques qui s'est tenu les 12 et 13 avril 2018 à Marseille (voir lien : <https://www.cmimarseille.org/highlights/workshop-economic-instruments-water-demand-management-mediterranean>) dans le cadre du programme du CMI sur la Gestion de la Demande en Eau (voir lien : <https://www.cmimarseille.org/programs/water-demand-management>) a réuni 8 pays et 34 participants

Les recettes de ventes d'eau sont très variables d'une année à l'autre. Cela s'explique par les variations d'attribution des ressources en eau, qui se répercutent sur les surfaces irriguées.

Le complément est en principe assuré par l'État sous forme de subventions d'équilibre, prévues pour compenser la différence entre les charges réelles d'exploitation et le produit des ventes d'eau. Cependant, celles-ci tendent à se réduire au fil des ans.

Malgré le faible niveau du tarif des OPI, la surface irriguée en GPI n'atteint pas les surfaces équipées. Il en résulte un produit de vente de l'eau faible qui, conjugué à la limitation du tarif, abouti à une situation financière difficile dans les offices, qui les empêchent d'assurer l'exploitation et l'entretien des réseaux d'irrigation, engendrant une dégradation des équipements.

À ce jour, le tarif de l'eau d'irrigation ne paraît pas incitatif pour engager les agriculteurs dans le sens des économies d'eau (Tableau 14). La tarification actuelle et prévue par le décret exécutif n°7-270 de septembre 2007 est encore très basse et ne s'applique qu'aux grands périmètres publics d'irrigation. La petite et la moyenne hydraulique ne sont pas incluses dans cette tarification. Une révision des prix est actuellement à l'étude, et une taxe sur les forages est également prévue.

Tableau 14. Le coût de l'eau/Prix de l'eau (DA par m³)

<i>Réseaux</i>	<i>Prix moyen</i>	<i>Tarif</i>	<i>Taux de couverture (Tarif/Prix de revient)</i>
Par gravité	5	2	40%
Par pompage	8	2.5	32%

Source : Langenberg *et al.* (2021)

Les agriculteurs ne paient ni les coûts d'investissement ni les charges d'exploitation et de maintenance des ouvrages de mobilisation de l'eau brute. Les pouvoirs publics ne couvrent pas en effet une grande partie des charges liées aux barrages qui alimentent les grands périmètres irrigués. L'étude sur la tarification de l'eau agricole en 2007 donne un coût de revient d'un volume moyen au niveau national de 5,6 DA/m³ dans l'hypothèse où l'ONID ne paie rien à l'ANBT en contrepartie de l'eau lâchée (Kherbache ,2014).

Ce réajustement de la tarification prend en considération uniquement les charges d'exploitation. Il en est de même pour l'augmentation qui a été prévue en 2008. À partir de 2009, les investissements seront intégrés dans les factures. Mais même avec ces augmentations, le tarif n'atteindra pas le prix des charges d'exploitation qui étaient antérieurement à 2005 de l'ordre de 9 à 12 DA/m³, alors que le coût des charges d'exploitation est de l'ordre 25,5 DA en moyenne. Avec cette augmentation, le tarif moyen passera à 20 DA, soit environ

60% des charges d'exploitation. Cette étude a été réalisée pour ajuster les tarifs mais rien n'a évolué après. Actuellement, on estime que seulement moins de 50% des charges d'exploitation sont couverts. Mais c'est sans doute à travers la Petite et moyenne hydraulique (PMH) que les incidences les plus négatives sont constatées.

En effet, les grands volumes d'eau utilisés par la PMH ne font l'objet d'aucune facturation à l'heure actuelle. Il s'ensuit une surexploitation des ressources hydriques souterraines et des menaces majeures d'épuisement et de salinisation des nappes phréatiques. La présence d'un organisme gestionnaire suppose davantage d'investissement allant de la réalisation des canaux pour l'acheminement de l'eau, la mise en place d'une station de pompage et les frais d'entretien qu'elle entraîne, les charges liées à l'utilisation de l'énergie, les frais du personnel etc. Ce qui sans doute rendra le coût du m³ beaucoup plus élevé.

2.4. Politique d'économie des ressources en eau

En 2000, l'Algérie a lancé un vaste plan de modernisation des systèmes d'irrigation dans le but de réduire la consommation d'eau agricole et l'extension des surfaces irriguées. Ce plan de modernisation de l'irrigation a pour but de réduire le déficit hydrique de l'Algérie. Il s'agissait, dans un premier temps, d'encourager les agriculteurs à abandonner l'irrigation de surface traditionnelle au profit de l'aspersion et du goutte à goutte. Le plan national de modernisation des techniques d'irrigation ne touche que les parcelles agricoles et non les réseaux d'irrigation publics. Ce plan est en effet confié au ministère de l'Agriculture et non au ministère des ressources en eau, qui gère les périmètres irrigués.

L'objectif principal des programmes d'économie d'eau est de rationaliser l'utilisation de l'eau agricole, en vue d'en tirer le meilleur profit économique et de maintenir la demande de l'irrigation à un niveau compatible avec les ressources en eau disponibles.

Le Programme national d'économie d'eau pour l'irrigation a été renforcé par la décision politique d'augmenter le taux de subvention pour l'adoption d'équipements modernes d'économie d'eau d'irrigation. Le programme définit diverses actions à entreprendre dans les zones irriguées. La plupart d'entre elles visent à améliorer l'efficacité des réseaux et des techniques d'irrigation. Le programme une fois lancé en 2000 a créé une nouvelle tendance vis-à-vis la mise en place d'équipement d'économie d'eau. L'État s'est lancé dans la mise en œuvre d'une politique d'irrigation dans le cadre du Plan National de Développement Agricole (PNDA) initié en 2000 par le MADR qui se veut une réponse aux impératifs socio-économiques et techniques au regard du processus de paupérisation et de marginalisation des espaces ruraux.

Cette politique vise à assurer une amélioration durable du niveau de la sécurité alimentaire et de la couverture des besoins en consommation mais aussi de l'utilisation rationnelle des ressources naturelles pour un développement durable. Fondé sur les contraintes agro-climatiques du pays, ce plan vise également le développement de l'irrigation à travers des actions relatives :

- Au développement de la production et de la productivité par des travaux d'aménagement et de protection des sols ainsi que la confection ou la réhabilitation de drains dans les parcelles.
- A la mobilisation des ressources hydriques par la creusée de forages et puits et la réalisation d'infrastructures de stockage intermédiaire (réservoir artificiel aménagé en béton armé étanche pour emmagasiner l'eau d'irrigation).
- Aux équipements de pompage de l'eau pour l'irrigation.
- Aux équipements d'irrigation par aspersion et d'irrigation localisée.

Les actions de réhabilitation des foggaras pour l'agriculture oasienne, d'aménagement et d'entretien des galeries et des puits sont soutenues par le FNRDA et sont soumises aux conditions spécifiques d'éligibilité (voir décret exécutif n°2000-18 du 30.05.2000 fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spécial FNRDA). En Algérie, le PNDA a subventionné l'installation de systèmes de goutte à goutte. Selon les chiffres du MADR (2005), l'irrigation représente la part la plus importante dans les dépenses totales du FNRDA, elles sont passées de 23.96% soit 5.603 millions de dinars à 45.25% soit 12.219 millions de dinars des dépenses de ce fonds en 2005 (Bouri, 2011). Par rapport aux coûts de développement des technologies d'irrigation plus efficaces aucune information détaillée n'est disponible sur les opérations du programme de développement de l'irrigation par aspersion et goutte à goutte dans le secteur de la grande et la petite et moyenne hydraulique. Toutefois, les dépenses totales (aides et subventions pour l'achat de matériels et d'équipements) pour la période 2001-2018 sont de 17.80 milliards de DA pour une superficie totale de 444706 ha (aspersion) plus 312788 ha (goutte à goutte), soit 757494 ha. La dépense moyenne d'investissement par hectare serait de l'ordre de 235000 DA (MADR, 2014, 2019). L'État a en effet soutenu les agriculteurs pour l'acquisition du système goutte à goutte avec une subvention à l'investissement à hauteur de 100% initialement (en 2000), mais qui est descendue jusqu'à 30% en 2005 (Salhi & Bédrani, 2010). Malgré la nette progression de la superficie irriguée due essentiellement à l'augmentation de l'efficacité des réseaux et à la réduction des pertes, la superficie irriguée va être améliorée grâce à un autre programme. Il s'agit du programme de soutien à l'économie

de l'eau sur le Fond National de Développement de l'Investissement Agricole (FNDIA). Il a été initié dans l'objectif d'irriguer jusqu'à 70.000 ha avec le même volume d'eau distribué (avec des économies en eau d'irrigation de l'ordre de 30% pour l'irrigation localisée et de 15% pour l'aspersion).

Les objectifs primordiaux du Programme National d'Economie d'Eau d'Irrigation résident dans la rationalisation de l'utilisation de l'eau d'irrigation. Sous le volet de la stratégie nationale d'économie d'eau, plusieurs actions ont été menées en vue de réussir cet objectif.

1) Premier programme 2000-2008 : Étant donné que l'agriculture demeure le plus grand consommateur d'eau avec plus de 60% des volumes prélevés, toute mesure instaurée pour la valorisation de la ressource passe nécessairement par une rationalisation de la demande agricole. Pour une meilleure gestion de l'eau en termes d'efficacité et d'efficience, l'État a mis en place une politique d'irrigation dans le cadre du PNDA (plan national pour le développement agricole) lancé le 1^{er} septembre 2000, qui s'appellera plus tard le Plan national de développement agricole et rural (PNDAR) et qui visait l'amélioration de la sécurité alimentaire du pays, la stabilisation de la balance commerciale agricole et la préparation de l'intégration de l'agriculture algérienne au contexte mondial (OMC, Union européenne, UMA...). Il fut par la suite complété par le programme de relance économique de 2001 qui concernait l'ensemble de l'économie, et dont le but était de dynamiser l'économie nationale et de lancer un processus de développement durable. Cette nouvelle politique vise à encourager les nouvelles techniques d'irrigation afin d'économiser l'eau et d'étendre les superficies à irriguer. Des subventions importantes sont attribuées aux agriculteurs dans ce cadre. L'objectif visé par ce soutien financier est la redynamisation de l'agriculture algérienne en assurant : une meilleure utilisation et valorisation des ressources naturelles ; la préservation des ressources naturelles pour un développement durable ; une intensification de la production agricole dans les zones favorables et sa diversification dans le but d'améliorer la sécurité alimentaire nationale ; l'adaptation des systèmes de production aux vocations des sols des différentes régions du pays et aux conditions climatiques ; la promotion de l'emploi ; et l'amélioration du revenu des populations agricoles. (CNES, 2000).

Les actions entreprises au niveau de la parcelle concernent essentiellement l'encouragement et l'incitation financière des agriculteurs à l'équipement des parcelles par des systèmes d'économie (systèmes par aspersion, goutte-à-goutte). En vue d'agir sur la consommation de l'eau agricole, les ministères des Ressources en eau et de l'Agriculture pilotent la reconversion du secteur agricole vers des systèmes d'irrigation économiseurs d'eau. Ils ont commencé

à fournir gratuitement des équipements économes en eau à hauteur de l'équivalent de 2.600 euros/ha aux agriculteurs qui en exprimaient la demande (Mozas & Ghosn, 2013).

A travers des plans de développement à l'échelle nationale, l'Etat algérien a lancé une nouvelle politique de subvention des systèmes économiseurs en eau aux profits des agriculteurs dans le but de moderniser et rendre économe la consommation en eau agricole, et par conséquent étendre les superficies irriguées (Imache et al., 2006).

Tableau 15. L'évolution des subventions 2000-2006

<i>Nature de la subvention</i>	<i>Période</i> 2000-2003	<i>Période</i> 2004	<i>Période</i> 2005-2006.
	<i>Les subventions en (DA)</i>		
Réseau pour 1 hectare	200.000	170.000	140.000
Station de tête	60.000	45.000	60.000
Bassin de stockage d'eau en béton de 100m ³ de capacité	250.000	250.000	150.000
Groupe de pompage et accessoires.	200.000	100.000	100.000
Pompe immergée avec accessoires	500.000	350.000	300.000

Source : Décision ministérielle n°599 du 08/07/2000, Avenant à la Décision ministérielle n°259 du 26/05/2006 et Décision ministérielle n°259 du 26 /05/2006

Selon le Bilan 2000-2008 du Ministère de l'Agriculture, la superficie totale irriguée (GPI+PMH) est de 905.293 hectare, soit 10.78% de la SAU totale, avec la répartition suivante des surfaces par méthode d'irrigation : Gravitaire 56.61%, Aspersion 22.63%, Localisée (goutte à goutte) 20.76%. Le ministère de l'agriculture estime que le développement de ces systèmes d'irrigation reste encore insuffisant par rapport aux préoccupations nationales d'économie d'eau (Benblidia, 2011).

2) *Un deuxième programme a été décidé pour la période 2009-2014* : L'eau étant un facteur essentiel d'intensification de la production agricole, le développement de l'irrigation reste insuffisant au regard des préoccupations nationales en matière d'économie de l'eau et de sécurisation de la production agricole. Le programme de l'économie de l'eau 2009 - 2014 représentait un grand défi pour la diversification des productions agricoles et pour répondre à une demande sociale.

Sur la base des prévisions fixées à l'horizon 2014 par les directions des services agricoles, la superficie irriguée totale serait de 1.120.000 ha dont 810.000 ha en systèmes économiseurs d'eau par extension de 472.000 ha et le recours vital à l'utilisation des eaux non conventionnelles, d'une estimation de 1.2 milliards de m³ pour assurer la stabilité du système de produc-

tion en irrigué. La préoccupation d'exploiter la ressource en eau s'est traduite par la mise en place des infrastructures et des équipements d'irrigation pour dégager une stratégie de:

- développement de système économiseur d'eau (reconversion des systèmes gravitaires) ;
- amélioration et exploitation des eaux non conventionnelles ;
- une priorisation des cultures stratégiques dans l'affectation de la ressource en eau.

Dans le Plan quinquennal 2010-2014, il était prévu d'augmenter la capacité de surface irriguée de 25.000 ha/an en moyenne (Mozas & Ghosen, 2013). En parallèle à l'augmentation des superficies équipées pour l'irrigation, le Fonds national de développement de l'investissement agricole (FNDIA) promeut l'économie de l'eau en agriculture avec la généralisation des systèmes d'irrigation à économie d'eau.

Cependant, l'objectif de 977.000 ha équipés en 2014 avec des systèmes d'économie d'eau semblait difficile à atteindre en 2012 où seuls 478.000 ha étaient équipés pour l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée. La superficie irriguée totale devait être en 2014 de l'ordre de 1.120.000 ha dont 810.000 ha équipée de systèmes d'irrigation économiseurs d'eau. (La part d'irrigation « économe » passerait de 37,3% en 2009 à 72% en 2014).

La décision n°522 du 12 juillet 2011 concerne les actions relatives à l'irrigation (programme de l'économie de l'eau) pour lesquelles les taux de soutien sont passés de 30 à 50% selon le mode de gestion (collectif ou individuel) avec l'intégration des subventions aux pivots dans ce programme). Pour permettre une plus large prise en charge du programme, il est décidé l'intégration des opérateurs économiques locaux en plus des bureaux d'études et de suivi spécialisés en hydraulique qui sont conventionnés avec la DSA. Le programme a pour objectifs de :

- Développer les systèmes économiseurs d'eau, par l'extension et la reconversion des systèmes gravitaires existant en systèmes économiseurs d'eau ;
- Étendre la SAU en irrigué ;
- Affecter au secteur de l'agriculture l'équivalent du volume d'eau mobilisé par le biais des eaux non conventionnelles ;

Les Indicateurs d'évolution retenus sont :

- Accroissement de la surface irriguée de 280.000 ha à l'horizon 2014, dont 183.000 ha en systèmes économiseurs d'eau

- Reconversion à hauteur de 50% de la sole irriguée actuellement en système gravitaire (557.000 ha) en systèmes économiseurs d'eau, ce qui porterait la superficie irriguée en aspersion et/ou en goutte à goutte à 460.000 ha.

En 2010, un nouveau programme coordonné a été mis au point, avec plusieurs composantes simultanées telles qu'un important programme de sensibilisation des agriculteurs, une formation spécifique pour les techniciens-conseils et les ingénieurs en irrigation, un soutien à la recherche et au développement de nouvelles techniques d'irrigation, la création de nouvelles organisations nationales et régionales, et l'encouragement de la participation du secteur privé, etc. Dans le cadre de la concertation entre les Ministères des Ressources en Eau et celui de l'Agriculture et du Développement Rural, un des axes retenus est celui de la modernisation de l'irrigation. Ainsi, en faisant des économies sur les volumes consommés par les agriculteurs, on augmentera la sole irriguée à travers la généralisation et le soutien des techniques modernes d'irrigation (systèmes économiseurs d'eau).

Tableau 16. Les subventions du matériel d'irrigation dans le plan quinquennal 2010-2014

Nature de la subvention	La période 2009-2014	
	Subventions en DA	Taux (en %)
L'irrigation localisée : station de tête + réseau d'irrigation < de 10 ha	145.000	40 %
L'irrigation par aspersion : un Kit de 24 asperseurs pour 1- 10 ha	150.000	40 %
2 kits pour plus de 10 ha, (DA/Kit)	150.000	40 %
Bassin d'accumulation en béton $\leq 100 \text{ m}^3$ (1500 DA/m ³)	150.000	30 %
Bassin d'accumulation en géo-membrane de 1500 m ³	400.000	30 %
Enrouleur pour > 5 ha (max: 1)	150.000	40 %
Groupe de pompage et accessoires.	100.000	40 %
Pompe immergée avec accessoires.	300.000	40 %
La réalisation de forage par battage < 200 ml (2.000 DA/ml)	240.000	30 %
La réalisation de forage par rotary (8.000 DA/ml)	960.000	30 %
Le fonçage de puits < 50 ml (5.000 DA/ml)	100.000	30 %

Source : MADR (2010)

En partenariat avec les fournisseurs et distributeurs de ces équipements et en coordination avec les DSA concernées, l'ONID s'est doté d'une structure de distribution et de réalisation de ces systèmes aux profits des agriculteurs. Cette structure est composée de 05 dépôts régionaux et de 24 points d'accueil (un au niveau de chaque unité d'exploitation). Pour faire réussir ce programme, les espaces de concertation entre le MRE et le MADR ont été renforcés à travers l'organisation de 3 regroupements régionaux co-présidés par les Secrétaires Généraux des deux Ministères (MRE et MADR).

3) Dans le nouveau programme quinquennal 2015-2019, l'État a pour objectif d'augmenter les superficies irriguées du pays pour atteindre un total supérieur à 2 millions d'ha, soit environ un million d'ha additionnels aux 2/3 en PMH, le 1/3 restant en GPI. Pour ce faire, l'État prévoit à la fois de mieux valoriser les superficies équipées existantes et de créer de nouveaux périmètres (FAO, 2015a). Afin d'alimenter ces nouvelles superficies irriguées, il est programmé non seulement d'augmenter les stockages d'eau superficielles, mais d'accroître les ressources en eaux non conventionnelles.

Tableau 17. Les subventions dans le nouveau programme quinquennal 2015-2019

<i>Nature de la subvention</i>	<i>Subvention (DA)</i>	<i>Taux (%)</i>
Réseau pour 1 hectare de micro-irrigation sur maraichage plein champs	540.405	50
Réseau pour 1 hectare de micro-irrigation sur maraichage sous serre	522.250	50
Réseau pour 1 hectare de micro-irrigation sur arboriculture	233.989	50
Station de tête	142.800	50
Bassin de stockage d'eau en béton de 100m ³ de capacité.	500.000	30
Bassin de stockage d'eau en géo membrane de capacité 1500 m ³	1.000.000	40
Couverture intégrale par aspersion pour 1 ha	261.537	50
Couverture partielle par aspersion pour 1 ha	174.250	50
Réalisation d'un forage par battage	5.000 DA/ml	40
Réalisation de forage par Rotary	20.000 DA/ml	40
Accessoire forage : Pompe immergée avec accessoires, Groupe de pompage et accessoires	300.000	40

Source : MADR (2014)

Malgré l'accroissement très important des superficies équipées pour l'irrigation ces dernières années, il faut noter que les superficies réellement irriguées sont encore bien inférieures, notamment dans les GPI, en particulier du fait du manque d'eau disponible (Annexe 6). L'irrigation en PMH ne semble pas connaître ce problème, mais ses meilleurs résultats sont au détriment de la surexploitation des nappes souterraines (Annexe 7). L'augmentation de l'irrigation et les objectifs cités ci-dessus semblent ainsi difficilement conciliables avec un développement durable des ressources en eaux. À noter que ces systèmes sont soutenus par le FNDIA, à concurrence de 50 à 60% selon le mode de gestion (collectif ou individuel). À la lumière de ce qui a été développé précédemment, il apparaît que le système de subventions mis en œuvre a connu de nombreuses évolutions après la période de subventions allouées de façon peu étudiée et généralisée au début du PNDA.

4) *Le programme 2020-2024* : L'extension des superficies irriguées et la promotion des systèmes économiseurs d'eau

L'objectif de ce programme est l'extension des superficies irriguées et la promotion des systèmes économiseurs d'eau, indispensables à l'accroissement de la production et de la productivité, notamment celles des céréales ainsi qu'en matière de gestion rationnelle de la ressource hydrique et d'utilisation de l'irrigation d'appoint, notamment dans les wilayas de l'Est avec les préalables suivants :

- 1) Renforcer les capacités de mobilisation en eaux superficielles (petits barrages, retenues collinaires, ceds, ...)
- 2) Renforcer les capacités de mobilisation des eaux souterraines
- 3) Allégement des procédures administratives pour l'octroi des autorisations de fonçage (forages et puits)
- 3) Facilitation des procédures pour l'accès aux crédits bancaires, notamment le crédit de campagne Rfig
- 4) Renforcement des capacités de production nationale en matière d'équipements d'irrigation (Kits d'aspersion, Enrouleurs, pivots par la promotion de microentreprises,

a) Programme de reconversion du gravitaire 2020-2024 : Généralisation de l'utilisation des équipements économiseurs d'eau

Sur une superficie irriguée de 1 430 000 hectares, les surfaces équipées en systèmes d'irrigation économiseurs d'eau sont de 890 000 hectares (MADR,2020). Le reste (1/3), soit 540 000 hectares est conduit en gravitaire, dont 150 000 ha, constituent l'objectif de reconversion à moyen terme avec une moyenne de l'ordre de 30.000 hectares par an.

b) L'extension des superficies irriguées 2020-2024

L'extension des superficies irriguées dans la PMH et GPI de 200.000 hectares avec une moyenne de l'ordre de 40.000 hectares par an. L'extension de la superficie en irrigation d'appoint de la région de l'Est et l'extension des superficies en irrigation intégrale dans les wilayas du sud et sud des Hauts plateaux pour atteindre une superficie de l'ordre de 207000 hectares et 293000 hectares respectivement en 2024 avec une moyenne de 20000 hectares par an. Ce programme est majoritairement orienté vers les régions du sud et des hauts plateaux dans l'objectif est d'atteindre une superficie de 500.000 hectares en 2024 avec une moyenne de l'ordre de 40.000 hectares par an (Annexes 2 et 3).

3. La plaine de la Mitidja : Une exploration d'un périmètre irrigué

Cette section a pour objet de présenter premièrement le périmètre de la Mitidja d'un point de vue géographique, hydrologique et institutionnel mais aussi une analyse des caractéristiques naturelles et des ressources en eau pour les exploitations agricoles du périmètre. Enfin, ces différents aspects seront intégrés pour faire le point sur la politique en termes d'eau d'irrigation dans ce périmètre.

3.1. Situation géographique et délimitation

Pour délimiter le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tranche 1 , il est important de le situer dans son contexte régional qui est constitué par la vaste plaine de la Mitidja dans la partie centrale du Nord de l'Algérie. La plaine de la Mitidja est une longue dépression avec une superficie d'environ 1.450 km² qui s'étire sur environ 100 km de longueur et de 5 à 20 km de largeur. Elle est limitée par deux Oueds : Boudouaou à l'Est et Nador à l'Ouest, et bordée par deux zones élevées : le Sahel au Nord et les piémonts de l'Atlas Blidéen au Sud.

Par ailleurs, et eu égard au potentiel que recèle cette plaine en tant que bassin alluvial côtier important et pour une exploitation économique de ses terres fertiles, un système d'irrigation a été prévu et qui a abouti à subdiviser la plaine de la Mitidja, du point de vue de l'aménagement hydro-agricole, en trois parties (Figure 4) : a) La Mitidja Ouest, à l'Ouest de Oued Chiffa ; b) La Mitidja Centre : entre les oueds de Chiffa et El Harrach ; et La Mitidja Est : entre les oueds d'El Harrach et Boudouaou.

La Mitidja Centre et Est couvrent une superficie d'environ 100.000 ha, soit les deux tiers de la plaine. La Mitidja Ouest, ne couvre qu'une superficie de plus de 24.000 ha. S'étalant sur plusieurs communes des trois Wilayas de Boumerdès, Blida et Alger, le périmètre irrigué de la Mitidja Est, appelé également le périmètre du Hamiz, a été construit durant la période coloniale et mis en service en 1937 pour une superficie équipée de l'ordre de 17.500 ha irrigables à partir du barrage du Hamiz et du Marais de Réghaia.

Le périmètre souffre notamment du vieillissement de ses infrastructures, réduisant ainsi considérablement les superficies irriguées, rajouté aux effets d'une urbanisation importante. Par ailleurs, le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest s'étend sur plusieurs communes des deux wilayas de Blida et de Tipaza avec une superficie équipée de l'ordre de 24.200 ha. Il est alimenté en eau à partir des deux barrages de Bouroumi (El Moustakbel) et de Boukerdane.

En raison de son étendue et de l'échelonnement de la mobilisation des ressources en eau, la réalisation de l'équipement du périmètre a été prévue en deux tranches : (I et II). La tranche II,

qui a été mise en service en 2004, est une extension vers l’Ouest de la tranche I qui s’étale, en grande partie sur les communes de la Wilaya de Tipaza (14.400 ha) et touche une petite partie de la wilaya de Blida (1.200 ha) avec une superficie équipée de 15.600 ha dont 13.400 ha sont irrigables. La tranche I, qui constitue notre terrain d’étude, est présentée dans ce qui suit.



Figure 4. Localisation de la plaine de la Mitidja

Le périmètre d’étude

Le périmètre de la Mitidja Ouest (Tranche 1) s’étend sur une superficie de l’ordre de 9.200 ha et couvre une superficie équipée de 8.600 ha dont 7.927 ha sont considérés comme irrigables à partir du système El Moustakbel (le barrage de Bouroumi et les trois transferts) avec système d’irrigation par aspersion prévu initialement, s’étalant sur les deux communes de Chiffa et de Mouzaia dans la wilaya de Blida, et sur une petite partie de la commune d’Attatba de la Wilaya de Tipaza (ONID ; Imache, 2004 ;Chetibi, 2007 , Messahel & Benhafid, 2007 , Imache,2009)

La tranche I du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest a été mise en service en 1988. Elle est située à 55 km au Sud-ouest d’Alger et délimitée géographiquement par : a) Oued Chiffa à l’Est ; b) Oued Bouroumi à l’Ouest ; c) Le piémont de l’Atlas Blidéen au Sud ; d) Oued Bouroumi et oued Djer au Nord (Figure 5).

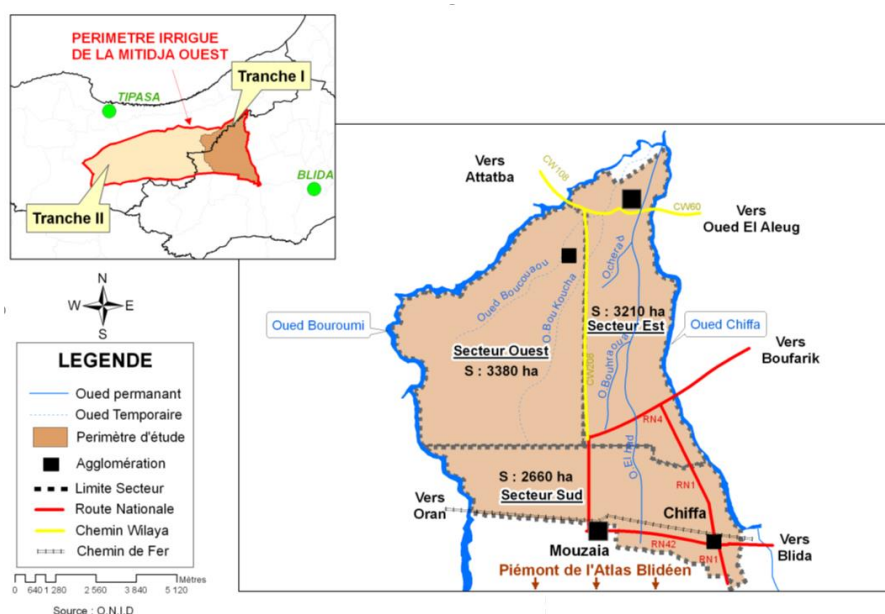


Figure 5. La présentation de la Mitidja Ouest Tranche 1

Elle est divisée en trois (03) secteurs : a) Secteur Sud : 2.297 ha d'irrigables, en exploitation depuis 1988 ; b) Secteur Est : 2.741 ha d'irrigables, en exploitation depuis 1992 ; c) Secteur Ouest : 2.889 ha, en exploitation depuis 1992 (Messahel & Benhafid, 2007). La gestion, l'exploitation et la maintenance de ce périmètre étaient à la charge de l'Office des Périmètres d'Irrigation de la Mitidja (O.P.I.M.) créé par décret n°85-262 du 29.10.1985 jusqu'à 2005 avec la dissolution des Offices des Périmètres Irrigués régionaux suite à la réorganisation de l'A.G.I.D. en O.N.I.D., où ils sont confiés à l'unité exploitation de la direction régionale sous la tutelle de l'O.N.I.D.

Pour traiter notre problématique et avoir des résultats homogènes et représentatifs, nous avons décidé de réaliser la partie pratique de ce travail dans un contexte homogène (climat, données socio-économiques, culturelles, structurelles et agronomiques) qui permettra d'étudier les agriculteurs d'un même périmètre et qui partagent tous la même réalité et impératifs. Ainsi, on se limite à un seul périmètre où la pénurie d'eau exige l'adoption des nouvelles technologies d'irrigation ce qui répond largement aux exigences méthodologiques de notre recherche.

Le choix de la région de la Mitidja comme zone d'étude du présent travail se justifie par son haut potentiel agricole, la nature de son climat, l'existence d'une nappe souterraine (nappe de la Mitidja) et l'importance du phénomène de creusement des forages pour utiliser les eaux souterraines à des fins agricoles. En outre, la présence de plusieurs structures administratives chargées de l'encadrement des agriculteurs et de la gestion du secteur de l'eau notamment, la

direction de l'hydraulique, la direction des services agricoles, la chambre d'agriculture, l'office national de l'irrigation et de drainage nous ont facilité l'accès et le recueil des données nécessaires à cette recherche.

Par ailleurs, ce travail tente de s'inscrire dans le cadre de la politique de développement rural affichée par les pouvoirs publics pour que ses recommandations aient des implications pratiques en matière de développement de l'irrigation économe en eau d'où la nécessité d'études sur les déterminants de l'adoption des technologies d'irrigation qui représente un intérêt majeur afin de concevoir des politiques publiques pertinentes, développer des programmes de soutien adaptés ou encore mettre en place des démarches de conseil ciblées pour accompagner les agriculteurs dans le changement. Le point que nous avons également jugé essentiel dans ce choix est que toutes les familles qui y vivent ont une relation directe ou indirecte avec l'agriculture, ce qui fait que cette activité est un élément essentiel de survie et de durabilité des ressources hydriques, qui est un élément primordial pour maintenir une activité vitale à un seuil de rentabilité appréciable. Si notre choix s'est porté sur ce périmètre, c'est aussi parce qu'il s'agit d'un périmètre relativement récent est très peu étudié en matière d'adoption de technologies d'irrigation.

3.2. Les caractéristiques naturelles du périmètre d'étude

3.2.1. Le climat

La tranche I du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest est caractérisée par un climat chaud et sec l'été et froid et humide l'hiver avec une saison pluvieuse de Novembre à Février et une saison sèche de Juin à septembre, la pluviométrie interannuelle moyenne est de 667mm (Mes-sahel et Benhafid, 2007).

La Mitidja est relativement bien alimentée en eau mais connaît des problèmes fondamentaux d'approvisionnement en eau, dus d'une part à un climat changeant, où de nombreuses périodes de sécheresse sont alternées avec des périodes plus ou moins pluvieuses et, d'autre part, à une démographie galopante et un urbanisme en développement.

La carte pluviométrique de l'Algérie du Nord qui comprend, entre autres, la zone d'étude élaborée par l'agence nationale des ressources hydriques (A.N.R.H., 1993) (Figure 6), montre la répartition des valeurs des précipitations qui caractérisent le climat méditerranéen. Cette répartition obéit aux trois constats suivants : *a*) La hauteur des pluies augmente avec l'altitude et l'exposition des versants aux vents humides, *b*) Les précipitations augmentent d'Ouest à l'Est, *c*) Les précipitations diminuent à mesure que l'on s'éloigne du littoral, du Nord au sud.

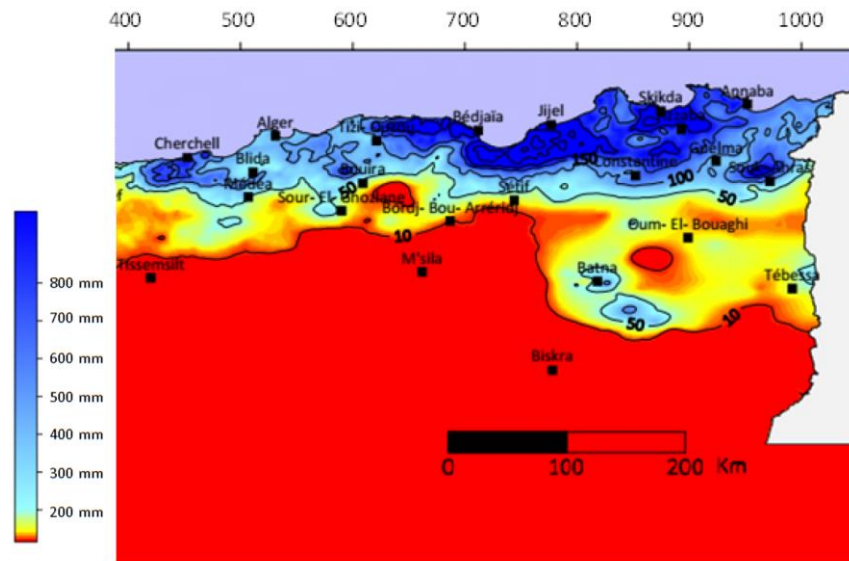


Figure 6. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord (A.N.R.H., 1993)

Les précipitations moyennes mensuelles sont considérées, au même titre que la température, comme l'une des plus importantes variables pour décrire le climat d'une région et qui influe considérablement sur l'agriculture puisque la répartition des précipitations dans l'espace et dans le temps n'est très souvent guère avantageuse surtout dans les régions qui ont des régimes de pluie très contrastés, d'où le recours à l'irrigation en se libérant des variations climatiques. Cependant, les quantités d'apports des eaux pluviales concernant notre zone d'étude peuvent être appréciées à travers les moyennes mensuelles des précipitations de la station de Blida dans le tableau 18 qui suit.

Tableau 18. Précipitations moyennes mensuelles en mm (1971-2008)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aou.	Annuel
Pluie (mm)	30.70	57.90	86.20	86.60	83.50	72.80	79.80	61.40	49.60	10.20	3.00	3.70	625

Source : Station de Blida

En examinant le Tableau 18, nous remarquons que généralement les premières pluies interviennent le mois de septembre (début de l'année hydrologique), avec un accroissement de novembre à mars, puis une diminution progressive jusqu'au mois de Juillet et Août qui présentent des pluies insignifiantes à nulles. Le mois le plus arrosé est le mois de décembre avec 86.60 mm, ensuite vient un pic secondaire de 79.80 mm pour le mois de mars et enfin un minimum de 3 mm en juillet. Nous remarquons aussi une modulation mensuelle irrégulière, caractérisée par un grand écart entre le maximum et le minimum. Sur un total annuel moyen de 37 ans estimé à 625 mm, il en ressort que les mois durant lesquels l'apport des eaux pluviales est important (Novembre, Décembre et Janvier) avec un maximum de précipitation au mois de décembre, soit 86.60 mm, et un minimum enregistré durant le mois de juillet avec 3 mm.

Une étude effectuée sur l'évolution pluviométrique⁷ par Bouderbala (2019) où l'analyse des données de précipitations annuelles dans quatre stations pluviométriques entre autres Boufarik (Figure 7), dans la plaine de la Mitidja, montre une réduction des précipitations annuelles en général. La même tendance évolutive est observée dans les trois autres séries pluviométriques de Chiffa, Ameer El-Ain et Boufarik, dont la période d'observation va de 1951 à 2011. L'analyse de toutes les séries pluviométriques montre des diminutions des précipitations annuelles pour les dernières décennies de près de 20%. La réduction moyenne des précipitations tous les 10 ans est estimée à près de 13 mm de 1905 à 2011 (Bouderbala, 2019).

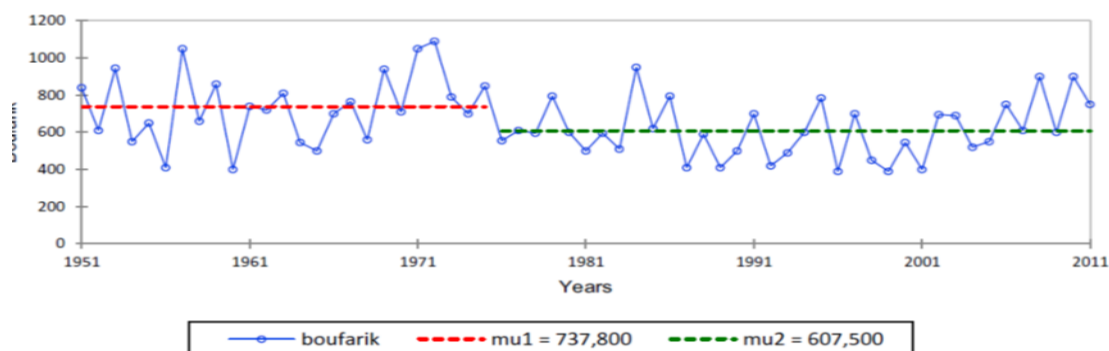


Figure 7. Variabilité annuelle des précipitations dans la station pluviométrique de Boufarik (1951-2011) (Bouderbala, 2019)

La Température : Facteur et indicateur déterminant du caractère climatique d'une région donnée, la température influe considérablement sur l'évapotranspiration qui est capitale dans l'estimation des besoins en eau des cultures. La température est une donnée importante ; elle rentre aussi dans le calcul de nombreux paramètres, tel que l'ETR et l'ETP. Les températures moyennes observées à Blida sur 37 ans (1971-2008) recueillies au niveau de la station météorologique de Blida sont représentées dans le tableau 19. L'interprétation des données de la Station illustre une baisse des températures entre septembre et février : de 24,6 à 11,8°C respectivement ; une augmentation régulière de mars à août atteignant des pics en Août de 27,5°C.

Tableau 19. Températures mensuelles moyennes (1971-2008)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Août	Annuel
Temp (°C)	24.60	19.30	15.00	12.20	10.90	11.80	13.90	16.20	19.20	22.50	26.80	27.50	18.32

Source : Station de Blida

⁷ L'étude de la tendance des séries de précipitations dans une région donnée consiste à étudier l'évolution globale des séries pluviométriques. Cette évolution tendancielle positive signifie que le régime pluviométrique est en augmentation, ou une évolution tendancielle négative signifie que le régime pluviométrique est en baisse (sécheresse).

Il en ressort une température moyenne annuelle de 18,30°C, une moyenne minimale de 10,90°C pour le mois le plus froid de janvier, et une moyenne maximale de 27,50°C pour le mois le plus chaud d’Août. Par ailleurs, la combinaison de ces deux composantes climatiques de la pluviométrie et de la température donne les périodes humide et sèche à travers le diagramme Ombrothermique qui suit :

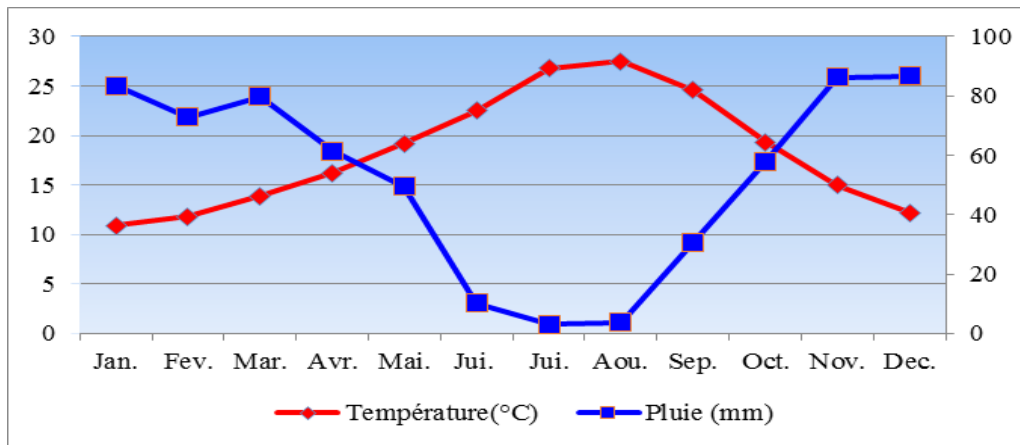


Figure 8. Diagramme Ombrothermique de Gaussen, Station de Blida 1971-2008

La période humide, favorable à l’activité agricole, se situe entre le mois d’octobre et le mois de mai avec un pic de précipitation de l’ordre de 86,60 mm au mois de décembre. La période sèche, qui nécessite une irrigation pour compenser le déficit hydrique, débute à partir de la fin du mois d’avril et s’étale jusqu’au mois de septembre avec un maximum de température moyenne durant le mois le plus chaud d’Août soit 27,50°C. En conclusion, l’analyse des facteurs climatiques du périmètre d’étude dégage des conditions favorables à l’activité agricole.

3.2.2. Les caractéristiques hydrologiques

Les eaux superficielles :

Le périmètre est caractérisé par un réseau hydrographique dense constitué essentiellement, d’Ouest en Est, par oued Djer, dérivé vers oued Bouroumi ainsi que par oued Chiffa, principal affluent de oued Mazafran qui s’étire jusqu’à la mer Méditerranée.

1. Oued Chiffa : de 16 km de long, l’Oued traverse la plaine du Sud au Nord, ses caractéristiques hydrauliques permettent de le diviser en deux tronçons différents : un tronçon aval sur 7 km, et un tronçon amont d’une pente moyenne de l’ordre de 5 m par km.
2. Oued Bouroumi : il est d’une longueur moyenne de 36 km et se décompose également en deux tronçons : un tronçon aval de 21 km pour une pente de 1,8 m par km, et un tronçon amont avec une pente plus importante d’une moyenne de 6 m par km et avec des valeurs plus fortes dans les zones les plus en amont.

3. Oued Djer : le périmètre d'étude est concerné par le seul tronçon de l'oued qui est situé en amont de la dérivation vers oued Bouroumi avec une pente moyenne de 4 m par km.

4. Barrage de Bouroumi (El Moustakbal) : sa mise en eau s'est effectuée en 1986. Destiné à l'irrigation, il se trouve dans la wilaya de Blida, situé à 8 km à l'Est du village Bou-medfaa. Bâti sur l'Oued Bouroumi, il reçoit également les eaux des Oueds Chiffa, Harbil et Oued Djer. Il dispose d'une capacité de 188 millions de m³, avec un volume régularisé de 107 hm³ (Messahel et Benhafid, 2007). Dans la wilaya de Tipaza, le barrage alimente 5 secteurs du périmètre de la Mitidja Ouest (tranche II) et la commune d'Attatba incluse dans le périmètre de la Mitidja (Ouest tranche I). Par ailleurs, l'alimentation en eau du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest (Tranche 1) était prévue à partir des eaux superficielles du barrage de Bouroumi (El Moustakbel) avec des dérivations sur Oued Chiffa, Oued Djer et oued Harbil afin d'assurer un remplissage optimum de la retenue.

Les eaux souterraines :

Le périmètre se situe au-dessus de la nappe phréatique de la Mitidja qui offre un volume disponible de 500 millions de m³ (Chetibi, 2007). Ces eaux sont globalement exploitées à travers des forages et des puits situés principalement dans la plaine de la Mitidja (Figure 9). Cette nappe est composée de deux grands ensembles réservoirs aquifères (la nappe captive de l'astien gréseux et la nappe alluviale des alluvions du quaternaire) alimentée par infiltration à partir des oueds de Chiffa et de Bouroumi.

Les puits et forages agricoles sont les infrastructures de prélèvement d'eau souterraine les plus difficiles à connaître : ils peuvent être anciens ou non, en fonctionnement ou non, ayant ou non fait l'objet d'un inventaire quelconque, ayant été réalisés avec ou sans autorisation administrative. Rares sont les zones où ces ouvrages agricoles sont parfaitement maîtrisés, surtout dans le périmètre de la Mitidja Ouest (Tranche 1) où, par exemple, de nombreux puits se sont asséchés avec la baisse des niveaux statiques et ont été remplacés par des forages qui ont également pu s'assécher.

Ces ouvrages agricoles sont le plus souvent appréhendés par une bonne connaissance des surfaces irriguées à partir des eaux souterraines. L'augmentation de la demande de l'eau pour l'irrigation, et la rareté de cette dernière dans la région d'étude, fait que le recours aux eaux souterraines devient une alternative importante.

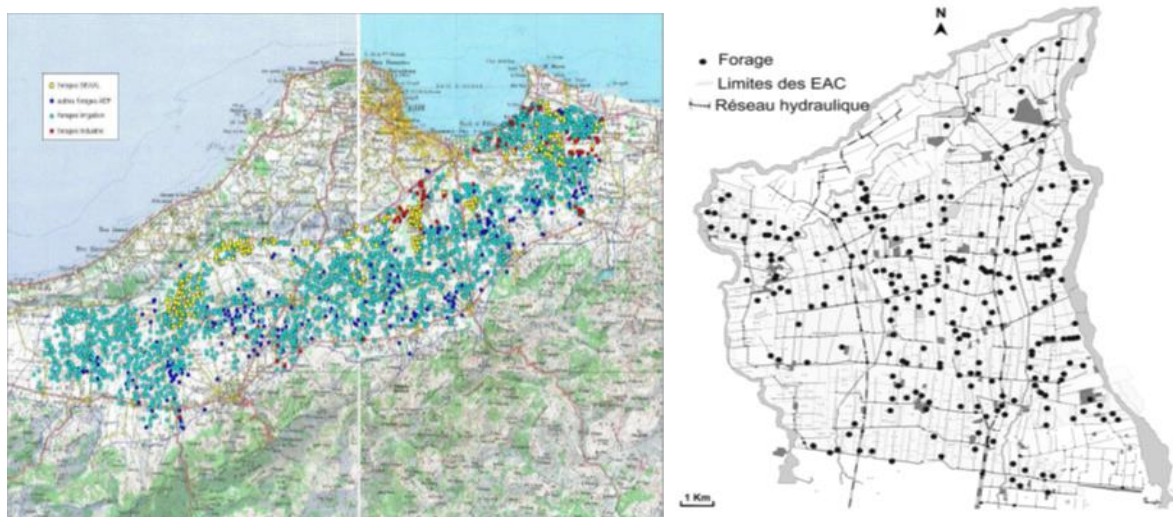


Figure 9. Puits et forages en exploitation au niveau de la Mitidja (A.N.R.H ; Imache, 2009)

Même si le réseau public reste peu cher par rapport à l'eau de la nappe, il demeure incertain au vu du manque de la ressource et de sa distribution aléatoire. Le manque de la ressource en eau à travers le réseau public pousse les agriculteurs à investir dans la réalisation de forages, très souvent illicitement, afin de compenser le déficit en eau et sauver leurs cultures tout en mettant en péril la nappe souterraine de la Mitidja. La période pendant laquelle le plus grand nombre de forages nouveaux a été réalisé remonte à 1994-1998 où l'O.P.I.M. n'a pas pu distribuer le moindre m³ d'eau aux agriculteurs à cause de l'attentat terroriste qui a visé la station de distribution du barrage en 1994 (Imache, 2004). La situation s'est aggravée depuis les années 2002, par les subventions de l'État aux forages dans le cadre du P.N.D.A. Cette situation demeure inquiétante au vu du nombre croissant de forages qui ne cesse d'augmenter et qui échappe au contrôle de l'institution chargée de sa gestion, à savoir la Direction des ressources en eau de la Wilaya (ex-D.H.W.). Depuis les années 1980, les données de l'A.N.R.H, montrent que la piézométrie de la Mitidja a beaucoup diminué. Un rabattement très important et remarquable dans la nappe variant de 10 à 25 mètres est constaté sur une période de 30 ans (Meddi et al., 2014).

3.2.3. Les caractéristiques du sol

Les sols du périmètre sont constitués essentiellement d'alluvions fines épandues par les cours d'eau venant de l'Atlas et qui se répartissent selon quatre principaux types de zone couvrant la majeure partie du périmètre. Le reste est occupé par une zone très différente des autres, constitué de cônes de déjection d'alluvions caillouteuses.

1. Les zones des bourrelets alluviaux, étendues essentiellement en bordure des oueds de Chiffa et de Bouroumi. Ce sont des sols limono - argilo - sableux, profonds et poreux dont le taux de calcaire total est de 20% avec des salinités très peu élevées, ponctuelles et non dangereuses dans un sol si perméable.
2. Les zones des plaines alluviales identiques aux précédentes mais avec des sols plus limoneux, plus structuré et de porosité moyenne ; leurs pentes vers le Nord est généralement de l'ordre de 1% avec un taux de calcaire identique ou légèrement inférieur au précédent.
3. Les zones des vertisols, généralement hydromorphes, sont les sols des zones planes dont les pentes sont de l'ordre de 0.5%, constituées de terres fines, avec peu ou sans calcaire, argileuses gonflantes avec une très faible porosité. Elles sont majoritairement couvertes de vertisols à drainage externe imparfait, généralement hydromorphes. Elles sont étendues essentiellement sur plusieurs milliers d'hectares au Sud-ouest du Lac de Halloula. Ces sols se ressuyant très mal, portent une nappe perchée en hiver et au printemps et représentent des degrés de salinité relativement élevée. Ce sont des zones à assainir en priorité (nécessité de drainage).
4. Les zones dépressionnaires hydromorphes où s'accumule l'eau des écoulements avec des sols de texture ultra fine à taux d'argile gonflante supérieur à ceux de limons fins et qui présentent une nappe perchée quasi permanente, proche de la surface du sol pendant toute l'année. Il s'agit de la zone du Lac de Halloula qui est une dépression fermée et une cuvette de décantation d'eaux de crues. Cette dépression est actuellement assainie par un tunnel de près de 3m de diamètre qui perce le SAHEL et vers lequel convergent les principaux canaux d'assainissement. Ces canaux comme l'ensemble du réseau de fossés existant sur le périmètre ne sont pas entretenus.
5. Les zones de cônes avec des sols caillouteux en surface, non calcaire et de texture moyenne, caractérisés par un encroûtement très caillouteux observable à partir de 40 - 80 cm de profondeur et qui limite sa profondeur utile. Il s'agit principalement des cônes de Mouzaïa avec des pentes régulières de 2 à 3%. L'amont de ces cônes est très disséqué par le réseau hydrographique actuel. (Figure 10)

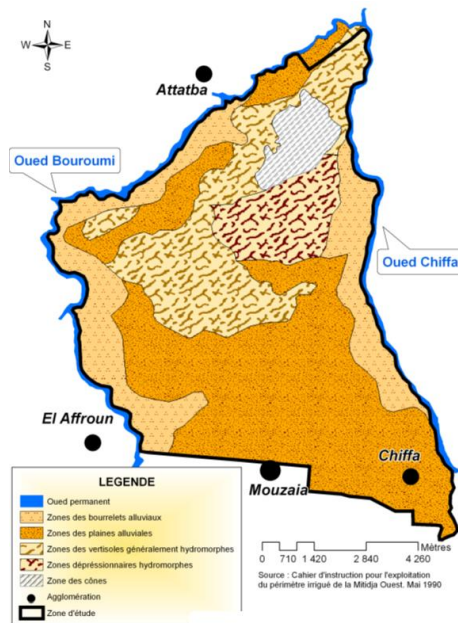


Figure 10. La carte des types de sols du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tranche I (AGID 1990; Chetibi, 2007)

Les caractéristiques des sols les plus importantes permettent de dégager que les zones 1 et 2 sont de bonne qualité et que les autres zones présentent des sols fertiles mais limités par leur texture ultra fine et par leur caractère hydromorphe. Néanmoins, l'assainissement et la culture de plantes adéquates adaptées à leur structure peuvent assurer une bonne productivité.

3.2.4. Les aptitudes culturales

En effet, le développement et l'intensification de la production agricole exigent une définition des aptitudes culturales et un suivi de leur fertilité. Cependant, les études préliminaires ont fait ressortir le plan cultural suivant (Figure 11) :

La zone 1 : Agrumiculture sur les bourrelets alluviaux présentant les caractéristiques demandées pour une bonne réussite de cette culture.

La zone 2 : Les cultures maraîchères et industrielles sur la zone couverte de bons sols alluviaux.

La zone 3 : Les cultures maraîchères sur les sols lourds, et les cultures fourragères dans les vertisols hydromorphes avec une rotation des cultures industrielles.

La zone 4 : culture estivale au vu des problèmes d'assainissement et de drainage de cette zone ainsi que la culture irriguée de maïs grain.

La zone 5 : la viticulture en sec sur des sols assez minces et sur lesquels d'autres cultures auraient des difficultés à prospérer de façon satisfaisante.

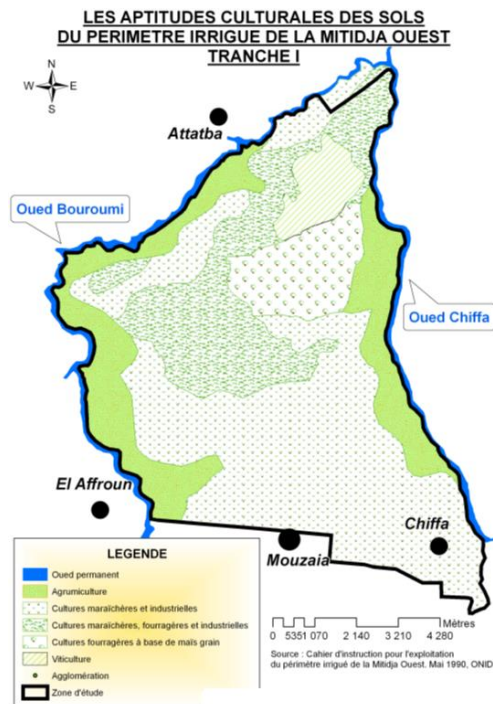


Figure 11. La carte des aptitudes culturales du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1

La répartition de ces zones à travers les trois secteurs du périmètre permet de distinguer : le secteur Sud qui regroupe les zones 1 et 2, le secteur Est qui rassemble toutes les zones. Le secteur Ouest qui regroupe les zone 1,2 ,3 et 4.

Réseau d'irrigation et de drainage du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest

La tranche I du périmètre irrigué de la Mitidja ouest est dotée d'une série d'infrastructures hydrauliques de l'irrigation qu'on peut classer en trois (03) catégories (O.N.I.D ; Chetibi, 2007):

1. Le système de transfert amont (les ouvrages de dérivation) ;
2. Le réseau d'adduction et de distribution ;
3. Le réseau d'assainissement et de pistes.

La première catégorie concerne le système de transfert amont qui désigne le barrage de Bouroumi ainsi que les ouvrages de tête qui désignent : la station de pompage de Mouzaïa, le barrage de prise sur l'oued, le transfert en Dalot et le CRD qui dessert le périmètre d'étude.

La deuxième catégorie concerne le réseau de conduites d'adduction et de distribution qui regroupe la série des conduites ainsi que les ouvrages et les équipements hydromécaniques. La dernière catégorie concerne un aspect important de l'aménagement à savoir les équipements d'assainissement et de drainage et les pistes, réalisés dans un souci d'assurer une évacuation rapide des eaux de pluie et des apports venant de bassins versants extérieurs au périmètre,

d'où la délimitation, en fonction de la pente où l'eau stagne et de la nature du sol où la perméabilité est faible, d'une zone drainée au milieu de la tranche d'une superficie de 600 ha dont 450 ha sont réalisés. Ces drains sont constitués de tubes perforés à 1 – 1.5 m de profondeur qui s'acheminent vers les fossés secondaires puis le fossé principal pour déboucher dans l'oued. Cette catégorie regroupe les oueds, les fossés ainsi que les pistes (Figure 12)

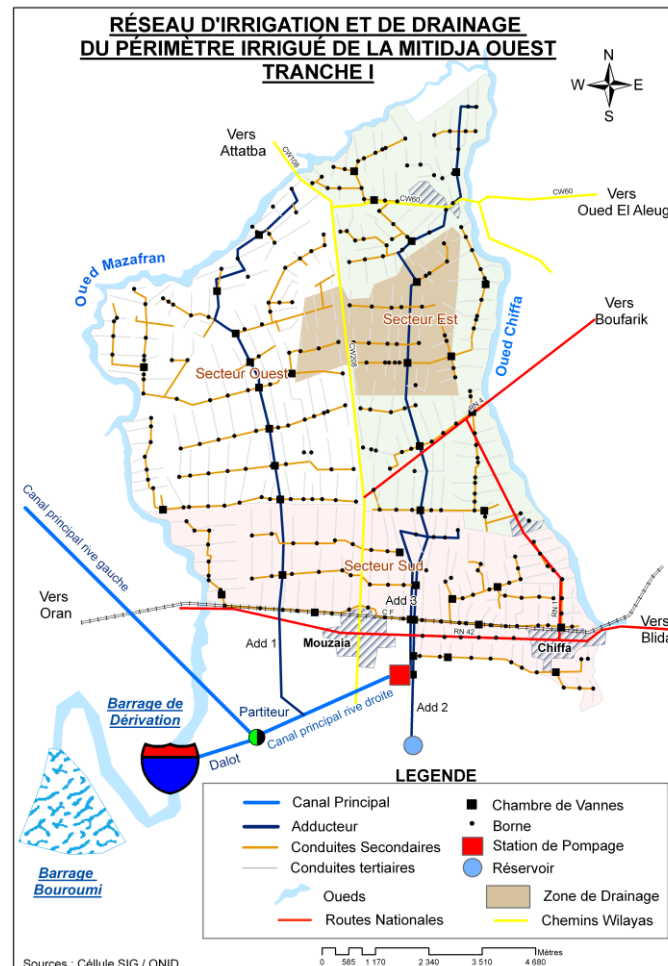


Figure 12. La carte du réseau d'irrigation et de drainage du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest, Tranche I

Le réseau d'irrigation du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest tranche I n'a pas encore subi significativement la vétusté des ouvrages hydrauliques que rencontrent les autres périmètres. Il s'agit d'un périmètre relativement récent, mais qui n'a pas su tirer pleinement parti de ses nouveaux équipements implantés lors de sa création en 1988, quelques années plus tard, il a subi différents actes terroristes ayant visé la station de distribution du barrage El Moustakbe qui ont conduit à l'arrêt des lâchés d'eau durant la période allant de 1994 à 1998 (Imache 2004 ; Chetibi,2007). Les services en charge de la réfection des dégâts n'ont pas pu approcher

le site avant 1999. Cependant, en dépit de ces conditions défavorables qui ont conduit à la dégradation des ouvrages et de leurs conditions d'exploitation, le réseau d'irrigation reste opérationnel mais connaît des défaillances à plusieurs niveaux. Les principaux dysfonctionnements sont : il existe des fermes avec plusieurs bornes d'irrigation, tandis que d'autres n'en ont pas. La répartition géographique inégale des bornes entre les fermes sans prise hydrant et avec plusieurs prises a causé des problèmes entre les gestionnaires de l'ONID et les agriculteurs, la dégradation de la majorité des prises hydrants qui servent à brancher le système d'irrigation en les rendant inutiles puisque la plupart des agriculteurs irriguent par le gravitaire .

L'approvisionnement en eau d'irrigation se fait à partir de l'accumulation d'eau du barrage El Moustakbel (Bouroumi) sur l'oued Bouroumi situé à 20 Km en amont du périmètre dont la capacité de retenue est de 188 millions de m³ et un volume régularisé de 98 millions de m³ obtenu par les apports de oued Bouroumi, la dérivation de oued Chiffa et la dérivation de oued Harbil (Messahel & Benhafid, 2007) sans oublier le projet en cours concernant la dérivation sur oued Djer sur une longueur de 3 Km qui va permettre le transfert de 21 Hm³/an d'eau vers le barrage El Moustakbel pour l'irrigation de 24.000 ha de la plaine de la Mitidja Ouest(ONID ; Chetibi,2007). À 15 km en aval du barrage, se situe un barrage de prise sur l'oued Bouroumi avec une accumulation d'eau d'environ 60.000 m³ qui dérive les eaux dirigées vers le périmètre dans un canal appelé le dalot en charge qui éclate en deux branches à partir du partiteur : le canal rive gauche (CRG) d'un débit de 8,28 m³/s qui alimente la tranche II, et le canal rive droite (CRD) d'un débit de 5,57 m³/s qui dessert notre terrain d'étude, la tranche I(ONID ; Messahel & Benhafid, 2007 ; Chetibi,2007).

En dérivation du canal principal rive droite, deux prises gravitaires (PG n°1 et PG n°2) ont été créées pour alimenter les deux secteurs Est et Ouest. La PG n°2 est située sur le tracé du canal et la PG n°1 est située à l'extrémité du même canal dans l'emprise de la station de pompage de Mouzaïa (ONID ; Messahel & Benhafid, 2007 ; Chetibi,2007). Quant au secteur Sud du périmètre, il est alimenté par pompe par la mise en fonctionnement des 04 pompes en même temps au lieu de 03 pompes et une de secours pour répondre aux besoins de tout le périmètre parce que les assolements ne sont pas respectés et l'équipement en matière d'aspersion n'a pas été concrétisé sur le terrain pour l'ensemble du périmètre(ONID ; Chetibi,2007). En conclusion, le canal rive droite qui alimente la tranche I, dessert ses trois secteurs Sud, Est et Ouest. Un secteur sous pression et deux secteurs desservis en gravitaire via un canal de 7 km de long à ciel ouvert d'une capacité de 120.000 m³ (Tableau 20).

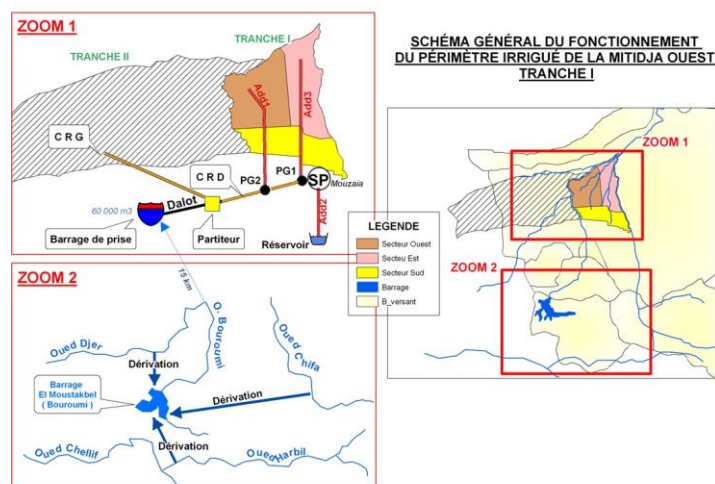


Figure 13. Schéma général du fonctionnement du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1 (Chetibi, 2007)

Tableau 20. Les surfaces, le débit et l'alimentation du périmètre par secteur

Secteurs	Superficie (ha)			Alimentation	Débit (m ³ /s)
	Géographique	Equipée	Irrigable		
Sud	2.660	2.490	2.297	St. pomp. add. 2	1,600
Ouest	3.380	3.410	2.889	PG 2. add.1	1,529
Est	3.210	2.970	2.741	PG 1. add.3	2,445
Tot tranche I	9.250	8.600	7.927		5,570

Source : (A.G.I.D., 1990; Messahel et Benhafid, 2007)

Le secteur Sud est alimenté par la station de pompage de Mouzaia par le biais de l'adducteur n°2 ; le secteur Ouest est alimenté gravitairement par la prise gravitaire n°2 (PG 2) par le biais de l'adducteur n°1 ; le secteur Est est alimenté gravitairement par la prise gravitaire n°1 (PG 1) du canal rive droite par le biais de l'adducteur n°3 (Messahel et Benhafid, 2007 ; Chetibi, 2007). La distribution de l'eau pour l'irrigation du périmètre, détaillée dans ce qui suit, se fait par le biais de trois adducteurs de diamètre de 1100 mm à 1500 mm, qui alimentent chacun un secteur. Chaque adducteur alimente plusieurs branches de diamètre de 200 mm à 700 mm à partir desquelles se font les départs des antennes, avec un équipement de bornes (des prises hydrants pour l'irrigation d'un îlot type d'une surface moyenne de 18 hectares (Chetibi, 2007).

La structure foncière des exploitations agricoles dans le périmètre irrigué

A partir de 1987, la réorganisation des terres du domaine public avec la loi 87-19 donnant naissance à trois types de statuts juridiques des exploitations agricoles : Les exploitations collectives (EAC), les exploitations individuelles (EAI) dont les terres sont la propriété de l'État, et les attributaires bénéficient d'un droit de jouissance perpétuelle sur l'ensemble des terres de l'exploitation (art. 06), et les exploitations privées qui sont la propriété des agriculteurs. Ce-

pendant, à partir de 2010 ces terres du domaine public ont été réorganisées en matière du droit d'usage, en passant du droit d'usage perpétuel des membres des EACs et l'EAI à un droit de concession de 40 ans (loi 10-03 de 2010). Le foncier doit son importance à l'ampleur des investissements en équipements d'irrigation. En effet un exploitant n'ayant pas un titre de propriété ou avec un statut précaire comme le cas des locataires sera un individu averse au risque vis-à-vis de l'investissement à long terme. Deux raisons font l'importance du risque, la première raison émane de la technologie elle-même ; une infrastructure à mettre en place et une deuxième raison qui découle de la nature de la quasi-totalité des exploitations. Il s'agit notamment des EAC dans le périmètre qui demeurent complexe en matière de pratiques d'irrigation et les modes d'accès et de partage des ressources en eau et du foncier ainsi que les exploitations privées où le problème d'héritage se pose souvent. En général, les agriculteurs non propriétaires seront moins enclins à investir dans des terres qui ne leurs appartiennent pas. Actuellement, le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1 compte environ 473 exploitations agricoles réparties par nature juridique selon le tableau 21 :

Tableau 21. Répartition des exploitations agricoles par nature juridique en 2020

Statut juridique	Nombre d'exploitations	Pourcentage (%)
EAC	376	79,49
EAI	26	5,50
E. Privée	70	14,80
Ferme Pilote	1	0,21
Total	473	100.00

Source : Réalisé par l'auteur à partir des données de l'O.N.I. D (2020)

Les EAC et EAI représentent près de 85% du total des exploitations agricoles du périmètre avec une large majorité d'EAC (79,50%). Les exploitations privées au niveau du périmètre d'étude représentent 14.80% des exploitations du périmètre. Les exploitations sont réparties inégalement dans les trois secteurs que constitue le périmètre avec leur dominance dans le secteur Sud (tableau 22).

Tableau 22. Répartition des exploitations agricoles par nature juridique et par secteur

Statut juridique	Sud	(%)	Est	(%)	Ouest	(%)
EAC	146	30.87	107	22.62	123	26.00
EAI	13	2.75	8	1.69	5	1.06
E. Privée	29	6.13	7	1.48	34	7.19
Ferme Pilote	0	0.00	0	0.00	1	0.21
Total	188	39.75	122	25.79	163	34.46

Source : Réalisé par l'auteur à partir des données de l'O.N.I.D (2020)

3.3. La politique de la gestion de l'eau dans le périmètre

La gestion des périmètres publics d'irrigation relevait des offices des périmètres irrigués (OPI) entre 1987 et 2005 qui avaient pour mission de redynamiser les activités de gestion, d'exploitation et de maintenance des réseaux avec l'AGID qui assurait la maîtrise d'ouvrage des projets d'irrigation. La gestion du périmètre d'étude était assurée par l'Office de gestion et d'exploitation des Périmètres d'Irrigation de la Mitidja (OPIM). Depuis 2005, et suite à la réorganisation du statut de l'AGID en ONID, la responsabilité de l'OPIM a été transférée à l'Office National de l'Irrigation et de Drainage (ONID). Ce dernier est organisé en unités d'exploitation, chargées de la gestion et de l'exploitation des périmètres de la Mitidja rattachées à la direction Régionale de l'Algérois.

La contrainte principale liée à la gestion de l'eau dans la zone d'étude est le manque de la ressource en eau. Les volumes d'eau alloués à l'irrigation ne permettent de satisfaire que deux tiers en moyenne des besoins théoriques fixés à 5.000 m³/ha dans le périmètre (Annexe 23). Cette situation met le gestionnaire en position de faiblesse par rapport aux irrigants, puisqu'il ne peut pas assurer la disponibilité de la ressource d'où l'obligation du rationnement de l'eau pour les cultures en obligeant l'agriculteur à ne donner que des doses de survie pour les cultures pérennes, ce qui a engendré un problème de crédibilité de la structure de gestion vis à vis des agriculteurs. De plus, la limitation institutionnelle de l'offre (quota) contraint les irrigants à recourir à l'exploitation des eaux souterraines souvent de manière illicite à travers plusieurs forages d'où un développement de la PMH à l'intérieur du périmètre étatique mettant en danger la nappe de la Mitidja.

La prés-souscription et la distribution de l'eau d'irrigation dans le périmètre

Chaque année, avant le début de chaque campagne d'irrigation, les services d'exploitation du périmètre avisent les agriculteurs de l'ouverture de la campagne d'irrigation, qui court sur la période allant du 1^{er} avril au 31 décembre, afin qu'ils puissent exprimer leurs besoins en eau. Cette étape, dénommée pré-souscription, permet de déterminer les besoins en eau en se basant sur la surface et les assolements soumis par chaque agriculteur qui effectue sa souscription pour obtenir sa part d'eau d'irrigation. Par ailleurs, en additionnant ces assolements, les services d'exploitation parviennent théoriquement sur la base d'une dose théorique de 5.000 m³/ha à évaluer les besoins en eau du périmètre. Donc sur la base de tous ces éléments, les services en question élaborent un planning d'irrigation. Les demandes formulées en matière de quantité d'eau sont consolidées par les responsables de l'ONID avant que le Comité d'Évaluation et d'Affectation des Ressources en Eau se réunisse pour faire les arbitrages né-

cessaires en fonction des disponibilités de la ressources au niveau des barrages et les besoins en eau potable et industrielle.

Les quantités d'eau sont déclarées au Ministère des Ressources en Eau qui, en tenant compte de la disponibilité de la ressource, le comité attribue ainsi des quotas initiaux et avec le déroulement de la campagne d'exploitation, il peut compléter dans le cas de l'amélioration des niveaux des ressources disponibles, ces quantités par des quotas supplémentaires. La somme de ces deux derniers constitue ce qui est dénommé les quotas alloués au service d'exploitation du périmètre qui arrête les souscriptions, et qui, en concertation avec l'association des irrigants et autres représentants, effectue la distribution de l'eau d'irrigation par une hiérarchie en favorisant d'abord l'arboriculture et ensuite les cultures maraîchères . En conclusion, la gestion d'eau d'irrigation est assurée à deux niveaux :

Au niveau central : Le plan annuel de répartition et d'utilisation des ressources en eau, au détriment des demandes exprimées par les agriculteurs au niveau des responsables des périmètres irrigués, et au profit de la demande en eau potable et industrielle font l'objet d'une circulaire interministérielle. Cette répartition est en fonction des bilans d'exploitation, des disponibilités d'eau dans le barrage et en tenant compte des caractéristiques hydro - pluviométriques de la période précédente. L'allocation des quotas initiaux à partir des barrages en exploitation est arrêtée par décision du CEARE portant sur la campagne d'irrigation puis sera transmise à l'ONID. En effet, tant que les besoins en eau potable ne sont pas satisfaits, il ne faut point espérer une affectation de l'eau pour le périmètre irrigué.

Au niveau de l'office : les besoins exprimés en termes de volumes par les agriculteurs sont définis sur la base des plans de culture arrêtés en début de campagne d'irrigation. Par le biais d'une concertation entre les responsables de l'agriculture (DSA) et les autres services notamment les subdivisions agricoles, chambre d'agriculture, association d'irrigants et en tenant à la fois compte des volumes d'eau attribués au périmètre objet d'une décision du CEARE transmise à l'ONID, des besoins des exploitations, de l'efficacité des réseaux, les volumes seront distribués à l'intérieur du périmètre. La distribution de l'eau d'irrigation dans le périmètre d'étude était prévu à la demande, toutefois, le déficit de ressource oblige les responsables en charge de l'ONID à effectuer la distribution de l'eau d'irrigation sous forme de tours d'eau , réalisée par les aiguadiers des secteurs.

En termes d'organisation sociale des agriculteurs au sein du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest tranche I autour de cette ressource, une association des irrigants a été créée en 1994 dans le but de les représenter au niveau des administrations compétentes telles que la direction

des services agricoles, l'ONID, la direction de l'hydraulique et la chambre d'agriculture et de défendre leurs intérêts et leurs droits. Elle prend part, en début de campagne, dans l'allocation des ressources en eau, notamment en cas de manque d'eau, pour le choix des moments et des cultures à irriguer en premier lieu. Elle intervient aussi durant la période d'irrigation en cas de problèmes tels que la maintenance du réseau et de sa réparation à travers des réunions avec la DREW (ex-DHW) et la DSA avec les services de l'ONID.

Le coût du m³ d'eau et le recouvrement des coûts dans le périmètre

Selon les données de l'O.N.I. D, le coût de revient du m³ d'eau distribuée dans le périmètre de la Mitidja Ouest est estimé à 13,13 puis 10,25 et 21,57 DA /m³ pour les campagnes d'irrigation 2014, 2015 et 2016 respectivement soit 17,67 DA/m³ en moyenne (Annexe 22). Les variations du coût de revient d'une campagne d'irrigation à une autre peuvent être expliquées essentiellement par les quantités d'eau distribuées.

Le coût de revient du m³ d'eau distribué est presque six fois plus élevé en moyenne pour les trois campagnes d'irrigation par rapport au prix payé par les agriculteurs. Pour la campagne d'irrigation 2016, la différence est plus criante : le coût de revient représente presque neuf fois la tarification volumétrique appliquée de 2,5 DA/m³. Nous observons que le coût de revient a subi une augmentation de presque 50% par rapport aux campagnes d'irrigation 2014 et 2015 ; cette hausse du coût de revient du m³ distribuée s'explique par la hausse des charges totales et la diminution des quantités d'eau distribuées.

Nous constatons que les recettes collectées par la vente de l'eau sont faibles et loin de couvrir les charges : 19,65 puis 24,96 et 12,75% pour les campagnes d'irrigation 2014, 2015 et 2016 respectivement (Tableau 23). Cette situation s'explique, d'une part, par les volumes faibles alloués à l'irrigation et d'autre part par les faibles tarifs de l'eau à usage agricole appliqués dans ces périmètres irrigués. Les infrastructures de distribution de l'eau présentent un risque important de dégradation à long terme, étant donné que le prix du m³ d'eau payé par les exploitants ne permet pas de couvrir les coûts d'exploitation et d'entretien.

Tableau 23. Taux de recouvrement des coûts dans la région de Mitidja

Campagne	Périmètre	Charges ⁸ (DA)	Ventes en eau (DA)	Ecart (DA)	Taux de recouvrement (%)
2014	Hamiz	132.090.000	22.650.000	-109.440.000	17,15
	Mitidja Ouest	214.340.000	39.380.000	-172.230.000	19,65
	Sahel Algérois		2.730.000		
	Total	346.430.000	64.760.000	-281.670.000	18,69
2015	Hamiz	138.580.000	20.150.000	-118.430.000	14,54
	Mitidja Ouest	246.920.000	58.400.000	-185.290.000	24,96
	Sahal Algérois		3.230.000		
	Total	385.500.000	81.780.000	-303.720.000	21,21
2016	Hamiz	154.930.000	20.740.000	-134.190.000	13,39
	Mitidja Ouest	251.910.000	23.520.000	-219.790.000	12,75
	Mitidja Centre		1.750.000		
	Sahal Algérois		4160000		
	Total	406.840.000	57.020.000	-349.820.000	14,02

Source : Réalisé par l'auteur à partir des données (ONID,2017a,2017b)

L'évaluation prévisionnelle des redevances est effectuée lors de la souscription annuelle des volumes nécessaires à l'irrigation sur la base d'un prix décrété. Le décret exécutif n°05-14 du 09 Janvier 2005 définit les modalités de tarification de l'eau à usage agricole ainsi que les tarifs y afférents indique, dans son article 06, les tarifs applicables pour la fourniture de l'eau à usage agricole dans les périmètres irrigués en fixant le tarif volumétrique pour le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest à 2,50 DA par m³ et le tarif fixe à 400 DA par l/s/ha. Ce tarif est de type binaire dont la première partie est versée lors de la souscription et qui correspond à 50% du prix du volume d'eau souscrit. La deuxième partie est payée en fin de campagne d'irrigation et correspond au solde établi en fonction du volume réellement consommé.

Notant que depuis l'indépendance, les tarifs arrêtés n'ont jamais tenu compte de la spécificité de chaque périmètre, ni des charges d'entretien et d'exploitation, ni des travaux de grosses réparations, ni des investissements réalisés en matière d'infrastructures. Cette tarification était symbolique et subventionnée par l'Etat. Par ailleurs, le tarif de l'eau d'irrigation pratiqué par la structure de gestion est considéré par une bonne partie des usagers de cette ressource, de l'échantillon enquêté comme un tarif abordable et raisonnable et qui demeure moins coûteux que l'exploitation de la ressource souterraine par le biais des forages qui reste onéreuse, mais à condition que la disponibilité de l'eau du barrage soit continue. Toutefois, le manque de confiance des usagers à l'égard de la structure de gestion hydraulique a fait que ces derniers

⁸ Les charges sont la somme des charges d'unité d'exploitation, charges de la direction régionale et les charges de la Direction Générale.

restent réticents quant à investir pour une ressource dont la disponibilité n'est pas assurée au moment du besoin durant la période du déficit hydrique mettant en péril leurs investissements surtout pour l'arboriculture.

En dépit d'une tendance à la hausse au fil du temps, la tarification actuelle reste attractive pour les agriculteurs. Cependant, dans la Mitidja-Ouest, en raison du barème de facturation forfaitaire et de l'incertitude qui affecte les volumes d'eau distribués par l'office d'irrigation, en ce qui concerne les quantités mais aussi le caractère irrégulier des tours d'eau pour une même campagne d'irrigation, les irrigants privilégient les eaux souterraines.

En termes d'analyse économique, trois types d'instruments peuvent être utilisés en gestion de l'eau d'irrigation : la tarification, les quotas et les marchés de l'eau. Selon Montginoul (1997), tous les instruments ne parviennent pas au même objectif. La tarification vise l'efficacité, l'équité ou l'équilibre budgétaire selon les modalités retenues. Il existe deux types de prix dans la tarification selon Montginoul (1997). Une tarification à un prix incitatif, dans ce cas l'objectif est l'incitation des agriculteurs à l'économie de l'eau sans les pénaliser en termes de revenu. Et une tarification à un prix dissuasif, en cas de dépassement d'un certain volume d'eau, ce qui va pénaliser les agriculteurs en termes de revenu. La tarification à prix dissuasifs n'est pas envisageable pour la Mitidja, vu que les volumes distribués ne suffisent pas, à l'heure actuelle, à irriguer la superficie équipée et que les agriculteurs peuvent recourir à l'eau souterraine. Dans le cas de la Mitidja Ouest tranche 1, l'objectif visé par la faible tarification actuelle (2.5 DA/m³) était l'équité et l'augmentation de la production agricole.

Les superficies irriguées et les volumes d'eau distribués

Le périmètre était déjà traditionnellement irrigué en gravitaire à partir de puits et de forages individuels. L'Etat a réalisé un réseau public, desservi à partir de barrages réservoirs et gérés par un office des périmètres irrigués (OPI), dans l'objectif de préserver l'eau de la nappe tout en permettant le développement de l'agriculture irriguée sur la plaine. Cependant, l'eau du réseau public ne représente qu'une faible partie de l'eau utilisée par les irrigants, vu le dysfonctionnement existant sur les 8.600 ha équipés, la superficie effectivement irriguée par le réseau n'a jamais dépassé 2800ha (Messahel & Benhafid, 2007). De ce fait, on assiste à une exploitation croissante et anarchique de l'eau souterraine avec des conséquences à la fois sur l'évolution de cette ressource aussi utilisée pour l'alimentation en eau potable (notamment lors des périodes sèches) et sur les capacités de l'Office qui connaît des problèmes croissants. Dans ce contexte les agriculteurs adoptent des stratégies contrastées qui les conduisent soit à

retenir la seule utilisation de l'eau du réseau public, soit à privilégier les forages individuels ou à utiliser des solutions mixtes (Messahel et Benhafid, 2007).

Sur la totalité de la superficie équipée du périmètre d'étude qui s'étend sur 8.600 ha, la superficie irrigable couvre 7.927⁹ ha et n'a pas évolué ; néanmoins, elle enregistre une insignifiante diminution suite à l'extension de l'urbanisation et de la voirie, où elle se voit réduite à 7.872,43 ha. Toutefois, en 2016, sur les 7.872,43 ha considérés comme irrigable, 532,52 ha seulement sont irrigués par le réseau public, soit près de 6.77% de l'irrigable sont réellement irrigués, avec un volume distribué de l'ordre de 0.809 Hm³.

3.4. Les techniques d'irrigation pratiquées dans la Mitidja

En effet, les techniques d'irrigation doivent leur existence aux problèmes soulevés quant à la répartition de l'eau sur le sol de façon à ce que les cultures tirent le maximum de profit. C'est pourquoi plusieurs modes d'irrigation sont pratiqués dont le choix se fait sur la base d'une bonne analyse de ces différents modes et de leur degré de compatibilité avec les contraintes de la zone considérée. Cependant, il faut rappeler que notre périmètre d'étude est conçu à l'origine pour l'irrigation par aspersion. Néanmoins, trois modes d'irrigation sont pratiqués avec la prédominance du système gravitaire suivi de loin par la technique du goutte à goutte et de l'aspersion comme le montre le tableau 24.

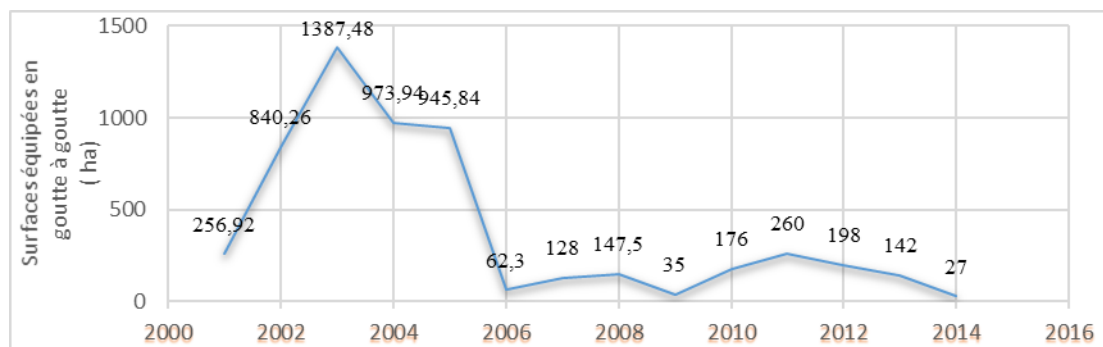


Figure 14. Réalisations de réseaux de micro-irrigation pour la période 2000-2014 (Benaziza et al. 2018)

L'irrigation traditionnelle ou système gravitaire est surtout utilisée pour l'irrigation de l'arboriculture. L'irrigation par aspersion est une technique relativement ancienne qui consiste à reproduire sur le sol le phénomène naturel de la pluie, avec toutefois le contrôle de l'intensité et de la hauteur de l'averse. Cependant, la deuxième place qu'occupe la pratique de

⁹ La surface des superficies bâties ainsi que celle occupée par le passage de l'autoroute Alger –Oran est estimée à 54,57 ha, soit près de 0,70% de la superficie irrigable de toute la tranche I du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest en la réduisant à 7872,43 ha.

l'aspersion dans le périmètre d'étude revient à un grand travail de vulgarisation assuré par les services de l'office et qui a fait que l'aspersion est devenue une technique bien maîtrisée. Ce mode est financé par le FNRDA et demeure le plus utilisé pour l'irrigation des cultures maraîchères, en particulier la pomme de terre.

Avec le goutte à goutte ou l'irrigation localisée, l'eau est transportée le long des rangs de cultures et distribuée au voisinage des plantes, est une technique certes économique mais qui n'est pas très développée, car elle demande beaucoup de technicité ce qui la rend peu maîtrisable. Elle demande également une importante vulgarisation, elle est particulièrement utilisée pour les cultures sous serre et l'arboriculture notamment après son financement par le FNRDA.

L'État ayant investi des sommes colossales dans la réalisation, l'entretien et la maintenance du périmètre, se trouve également contraint de subventionner, en plus, le matériel d'irrigation moderne afin de limiter les « gaspillages » d'eau et paradoxalement la subvention de la réalisation des forages. Cependant, la faible tarification mise en place dans un but d'équité entre les exploitants, n'incite pas les agriculteurs à changer leur pratique (irrigation gravitaire pour la plupart) et probablement le coût lié à l'irrigation avec l'eau de la nappe n'est pas pesant pour tous les agriculteurs.

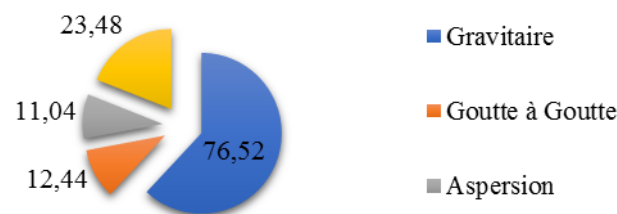


Figure 15. Répartition des superficies irriguées par techniques d'irrigation dans la wilaya de Blida (Réalisé par l'auteur à partir des données de DSA, 2020)

La figure 14 et 15 présentent le pourcentage des surfaces irriguées par les différentes techniques d'irrigation et les réalisations de réseaux de micro-irrigation pour la période 2000-2014 au niveau de la wilaya de Blida. Ce dernier montre un taux faible d'équipement total en matériel d'économie d'eau de 23.50% ; soit 12.44% pour le goutte à goutte et 11.04% pour l'aspersion. Ces superficies équipées pour l'économie d'eau dans le périmètre irrigué de la Mitidja ouest Tr1 ne dépassent pas 1.000 ha pour la technologie au goutte à goutte et 500 ha pour l'aspersion , ce qui prouve que le périmètre d'étude est sous équipé et ne répond pas ainsi à la stratégie nationale d'économie d'eau d'irrigation.

Tableau 24. La répartition des superficies irriguées par les techniques d'irrigation dans le périmètre

Cultures	Goutte à Goutte	Gravitaire	Aspersion	Total
Agrumes	656,58	2642,42	0.00	3299
Arboriculture fruitière(Vergers)	205,50	1049,50	0.00	1255
Cultures sous serres	44,32	2.00	0.00	46,32
Maraîchères plein champs	76,10	32,20	359,70	468
Viticulture	10,50	115,50	0.00	126
Céréales	----	-----	----	2230
Jachère	----	----	----	425
Total	993	3841,62	359,70	7849,32

Source : Réalisé par l'auteur à partir des données de DSA (2020)

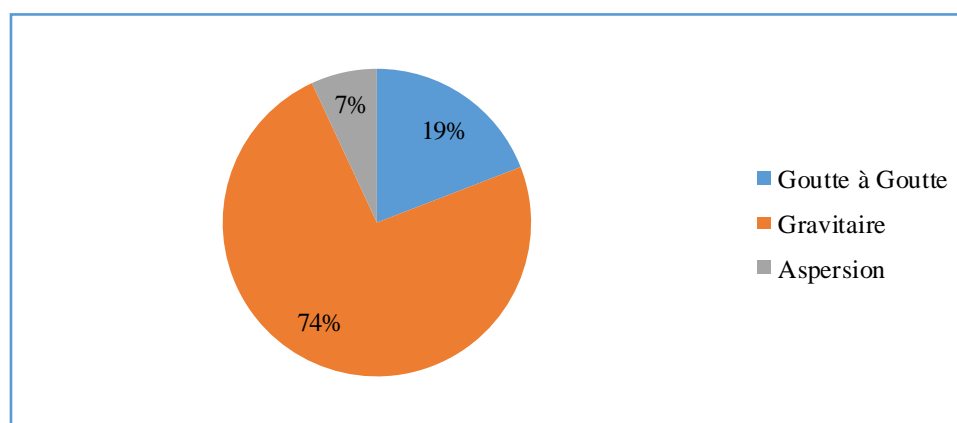


Figure 16. Technique d'irrigation dans le périmètre de la Mitidja Ouest Tr1 (Réalisé par l'auteur à partir des données de DSA, 2020)

Le mode d'irrigation le plus répandu dans le périmètre est le système gravitaire. En effet, 3.841,62 ha sont irrigués par le gravitaire, 993 ha par goutte à goutte, alors que 359,70 ha seulement sont destinés à l'irrigation par le système par aspersion.

La figure 16 présente les surfaces et le pourcentage des surfaces irriguées par les différentes techniques adoptées au niveau du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr I. Ce dernier montre un taux faible d'équipement total en matériel d'économie d'eau de 26% ; soit 19% pour le goutte à goutte et 7% pour l'aspersion. Ce taux d'équipement n'atteint pas l'objectif fixé (75%) c'est-à-dire atteindre une superficie d'ordre 5500 ha, ce qui prouve que le périmètre d'étude est mal équipé, ne répondant pas ainsi à la stratégie nationale d'économie d'eau d'irrigation.

Tableau 25. Systèmes d'irrigation disponibles au niveau du périmètre

Techniques d'irrigation		
Goutte à goutte	Aspersion	Gravitaire
12.65 %	4.59%	49 %

Le tableau 25 décrit les différents systèmes d'irrigation disponibles au niveau du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr 1, en fonction de la superficie cultivée totale de ce périmètre. La technique d'irrigation par goutte à goutte représente 12,65% de la surface cultivée totale du périmètre, ce qui suggère qu'elle est relativement peu utilisée par rapport aux autres techniques.

La technique d'irrigation par aspersion représente 4,59% de la surface totale, ce qui la place également en bas de la liste des techniques les plus utilisées. La technique d'irrigation gravitaire, en revanche, représente une part importante de la surface totale irriguée, soit 49% de la surface cultivée totale périmètre.

Pour ce qui est de l'irrigation, il faut noter que le système d'irrigation dominant dans le périmètre est la *segua* (l'irrigation gravitaire). En dépit de sa forte subvention durant la période du PNDA, le système goutte à goutte a été peu adopté, et puis abandonné par la majorité des agriculteurs, car il nécessite une utilisation fréquente et une disponibilité en eau quasi permanente, hors le tour d'eau pratiqué par l'office de l'irrigation est de 30 à 45 jours au minimum, mais aussi le problème de l'irrégularité des tours d'eau pour une même campagne d'irrigation, ce qui ne permet pas d'envisager des systèmes tel que le système goutte à goutte qui nécessite des tours d'eau plus fréquents. Le système goutte à goutte nécessite souvent des équipements et une technicité tribulaire de formation.

Avec un système d'irrigation sur réseau collectif qui permet juste la survie de certains vergers, l'eau du barrage reste la seule ressource de subsistance du périmètre. Avec une qualité très appréciée par les agriculteurs mais très variable en termes de quantité, ce qui empêche les agriculteurs de se projeter et d'envisager un développement agricole durable à long terme ; cette incertitude et irrégularité de la disponibilité en eau est à l'origine du dysfonctionnement de la gestion participative entre l'office de l'irrigation et les irrigants.

4. Conclusion

En Algérie pour répondre à la croissance de la demande en eau, des politiques de développement de l'offre y sont poursuivies. En effet, l'économie d'eau dans tous les usages n'intervient cependant qu'après les axes prioritaires que sont la réalisation de nouveaux barrages et de grands transferts, la réalisation d'unités de dessalement et la réutilisation d'eaux usées. Le passage d'une politique de mobilisation à une politique d'exploitation des ressources est une transition fortement justifiée aussi bien par la rareté de l'eau que par les marges de rationalisation de l'usage des ressources existantes. La politique de rationalisation

de la demande agricole en eau a suscité plusieurs interventions de la part des pouvoirs publics et a pu prendre une bonne envergure, avec le lancement du PNDA en 2000 qui visait à accroître l'efficacité de l'irrigation par l'incitation à l'adoption de l'économie d'eau. La réforme du cadre institutionnel et législatif de l'usage de l'eau agricole, a visé l'instauration d'une nouvelle tarification de l'eau en 2005 (augmentation du tarif fixe de 100 % en terme réel) qui est sensé induire une efficacité dans l'utilisation de la ressource, mais les résultats de toutes ces interventions sont à discuter, puisque la superficie irriguée totale, au dernier bilan du Ministère de l'agriculture (2018) est de 1330670 hectares, soit 15.65 % de la SAU totale, avec une répartition des surfaces par technique d'irrigation suivante : le gravitaire (43.07 %), l'aspersion (33.42%) et le goutte à goutte (23.51%). Ainsi les capacités réelles d'utilisation des technologies d'irrigation demeurent en deçà du potentiel que recèle l'Algérie. À l'intérieur même de ces taux, il existe une forte disparité et un effet de compensation entre les wilayas. Par exemple, la wilaya de Blida dont toute la superficie se trouve dans la célèbre plaine de la Mitidja est l'une des principales régions agricoles de l'Algérie, elle comptait que 4017 hectares en goutte à goutte et 3563 hectares en aspersion soit 12 % et 11 % respectivement de la superficie irriguée totale (MADR ,2019). Ajoutant à cela, les consommations globales en eau par les superficies irriguées toutes techniques d'irrigation confondues sont passées de 2.10 milliards m³ en 2000 à plus de 7.98 milliards de m³ en 2018 (MADR,2019). Le résultat de la valorisation de la ressource, via l'augmentation du prix du mètre cube d'eau en 2005, est resté en deçà des attentes, ainsi la tarification appliquée n'a pas pu couvrir le coût d'exploitation et d'entretiens. Par ailleurs, elle a occasionné d'une part un gaspillage de l'utilisation de la ressource, et d'autre part l'endettement de l'ONID. Au terme de ce chapitre, nous pouvons conclure que la modernisation des systèmes d'irrigation est un aspect important à prendre en compte pour responsabiliser les usagers pour une utilisation rationnelle de l'eau vu les investissements importants qu'exige la mobilisation de l'eau. En effet, elle permet non seulement une utilisation rationnelle de l'eau en termes d'efficacité et d'efficacité, mais elle assure aussi la viabilité et la durabilité des organismes gestionnaires pour le bien de la collectivité.

CHAPITRE 2 : LE CHANGEMENT DE TECHNOLOGIES D'IRRIGATION : ENJEUX ET RÉALITÉS

L'eau est l'une des ressources naturelles les plus essentielles, mais c'est aussi une ressource qui devient de plus en plus rare. L'utilisation agricole des eaux souterraines et de surface est particulièrement importante à gérer durablement. Les politiques qui encouragent l'utilisation d'une technologie d'irrigation plus efficace sont souvent considérées comme des méthodes efficaces et politiquement réalisables pour réduire la consommation d'eau pour la production agricole (Pfeiffer & Lin, 2013).

Cependant, les politiques publiques bien intentionnées de conservation et de gestion de l'eau, notamment celles qui encouragent l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces, peuvent avoir des effets inattendus et néfastes sur l'environnement, voire perverses, si les décideurs politiques ne tiennent pas compte des réactions comportementales des agriculteurs à leurs politiques.

En Tunisie, le Programme national pour les économies d'eau, établi en 1995, offre des subventions aux agriculteurs de 40 à 60% des coûts d'investissement totaux pour les technologies d'irrigation économes en eau (Frija *et al.*, 2014). À partir de 1995, l'État tunisien a lancé un programme d'incitation à l'économie d'eau à travers des subventions attribuées à des taux de 30 à 60% selon les catégories d'agriculteurs, pour l'équipement en matériel d'irrigation localisée (Ferchichi *et al.*, 2018). En Algérie, un programme adopté en 2000 (PNDA) prévoit des subventions pour la micro-irrigation (entre autres) pouvant atteindre 100% (Amichi *et al.*, 2015). Au Maroc depuis le début des années 80, les pouvoirs publics ont accordé un intérêt particulier à l'encouragement de l'adoption des techniques d'irrigation modernes et économes en eau, et depuis 2007, dans le cadre d'un programme national d'économie d'eau d'irrigation, l'État marocain s'est fixé comme objectif la substitution du mode d'irrigation gravitaire par le goutte-à-goutte sur 550.000 ha à l'horizon de l'année 2025. Les taux de subvention des aménagements sont fixés à 60% par rapport au coût total du projet (Bekkari *et al.*, 2011).

En Algérie, comme partout ailleurs dans le monde, la rhétorique des économies d'eau associées à la micro-irrigation a été remise en question par un nombre croissant de preuves sur le terrain. Les observations et les analyses effectuées au niveau de la parcelle, de l'exploitation et du système ont mis à mal la sagesse commune. Dans ce chapitre, nous exposons la littérature

sur l'expérience internationale en termes de changement technologique en agriculture, en particulier les technologies d'irrigation.

Pour des raisons analytiques, nous distinguons successivement plusieurs types de changements dans les pratiques agricoles associés à l'adoption du goutte-à-goutte. Nous analysons les preuves théoriques et empiriques selon lesquelles les investissements en matière d'économie d'eau peuvent entraîner une augmentation de l'utilisation et/ou de la consommation d'eau. La politique publique visant à généraliser la technique de la micro-irrigation en Algérie pour économiser l'eau est-elle un bon choix à la lumière de l'expérience internationale ? Les programmes de subvention pour économiser l'eau d'irrigation sont-ils une solution ? Que pouvons-nous apprendre des pays présentant des conditions climatiques similaires ?

1. Technologie d'irrigation économe en eau : Du traditionnel au plus efficient !

Les systèmes d'irrigation agricole sont des méthodes d'application de l'eau aux cultures et sont classifiés en irrigation de surface, irrigation par aspersion et micro-irrigation (Barta *et al.*, 2004). La décision de sélectionner un système d'irrigation ou de passer à un système d'irrigation plus efficient est complexe. Du point de vue de la préservation de l'eau, le choix est simple, les économies en eaux augmentent lorsque l'on passe de l'irrigation de surface à l'aspersion et de l'aspersion à la micro irrigation.

Cependant, le succès d'un système d'irrigation dépendra fortement de facteurs liés au site et à la situation ainsi que du niveau de gestion utilisé. Les systèmes d'irrigation existants doivent être évalués très précisément avant de passer aux systèmes d'irrigation alternatifs (Barta *et al.*, 2004).

1.1 Les technologies d'irrigation agricole de surface

Les systèmes d'irrigation de surface sont classés dans l'ordre croissant de leur efficacité en irrigation par ruissellement (*Flood irrigation*), irrigation par planches (*Border irrigation*), irrigation à la raie (*Furrow irrigation*), et irrigation par bassins (*Basin irrigation*)¹⁰

Les deux caractéristiques qui distinguent l'irrigation de surface des autres techniques d'irrigation sont que l'eau s'écoule librement sous l'action de la gravité et que les moyens sur le terrain de transport et de distribution sont la surface du champ (Walker, 1989).

¹⁰ Section sur les définitions des techniques d'irrigation est tirée pour l'essentiel de Barta *et al.* (2004)

Irrigation par ruissellement

L'eau d'irrigation est apportée par ruissellement à partir des fossés du champ où peu d'efforts sont faits pour contrôler l'écoulement par de digues ou par d'autres méthodes qui limitent le mouvement de l'eau (Schwab *et al.*, 1993). Cette méthode est fréquemment appelée " *wild flooding* ". Bien que ces méthodes soient intéressantes pour leur faible coût initial et pour le travail demandé, elles ne le sont pas pour leur faible efficacité et leur faible uniformité. Cette méthode est généralement utilisée sur les terrains vallonnés lorsqu'il n'est pas possible d'implanter des planches, des bassins ou des raies et où l'eau à apporter est suffisante (Barta *et al.*, 2004).

Irrigation par planches

L'irrigation par planches est l'apport d'eau sur des longues parcelles en pente et rectangulaires avec des conditions de drainage à l'extrémité basse du champ. Les planches sont disposées dans le sens de la plus grande pente, avec de petites levées de terre entre les bandes pour canaliser l'eau durant l'irrigation (Schwab *et al.*, 1993). Le terrain entre les planches doit être nivelé perpendiculairement à la direction de l'eau (Barta *et al.*, 2004). L'irrigation par planche convient très bien pour la plupart des types de cultures et de sol mais elle est favorisée par les sols ayant une vitesse d'infiltration lente et les cultures qui tolèrent un flaquage prolongé (Barta *et al.*, 2004).

Irrigation à la raie

Bien que l'eau couvre toute la surface d'une parcelle dans les autres méthodes d'irrigation de surface, l'irrigation à la raie ne couvre qu'un cinquième ou la moitié de la surface. Les raies dont la taille varie, peuvent être placées dans le sens de la pente ou selon les courbes de niveau. De petits sillons peu profonds, appelés corrugations, sont typiquement utilisés pour les cultures denses (Barta *et al.*, 2004). L'irrigation à la raie permet, sur l'exploitation, de gérer l'eau avec plus de flexibilité. Le débit unitaire est considérablement réduit et cette technique peut être pratiquée avec des pentes allant jusqu'à 12% si les raies sont placées selon les courbes de niveau avec un débit dimensionné pour être non érosif (Barta *et al.*, 2004). Avec cette technique d'irrigation, la surface mouillée plus petite diminue les pertes par évaporation. Les raies offrent plus de possibilités à l'irrigant de gérer de façon plus efficace les irrigations lorsque, en cours de saison, les conditions sur la parcelle varient. Cependant, l'irrigation à la raie n'est pas toujours efficace et un ruissellement important peut se produire si un débit d'entrée constant est maintenu pendant l'arrosage (Barta *et al.*, 2004)..

Irrigation par bassins

Les bassins sont généralement de forme rectangulaire, nivelés et entourés par une digue pour éviter le ruissellement. La mise en eau des bassins n'est généralement ni dirigée, ni contrôlée et elle peut être efficace si un débit important est disponible pour recouvrir rapidement la parcelle (Schwab *et al.*, 1993). Certaines cultures et types de sol ne se prêtent pas à l'irrigation par bassins et elle convient mieux aux sols peu filtrants et aux cultures denses à enracinement profond (Walker, 1989). Le nivellement du terrain est très important pour obtenir une uniformité et une efficacité élevées pour toutes les techniques d'irrigation de surface (Barta *et al.*, 2004).

1.2 Les technologies d'irrigation agricole économes en eau

Les systèmes d'irrigation économes en eau sont classés en systèmes d'irrigation par aspersion et systèmes d'irrigation de goutte à goutte (Barta *et al.*, 2004).

Les technologies d'irrigation agricole par aspersion

L'irrigation par aspersion nécessite une pression importante pour distribuer l'eau dans les parcelles. L'irrigation par aspersion est un moyen versatile pour irriguer n'importe quel type de culture, de sols et de conditions topographiques (Schwab *et al.*, 1993). Les systèmes d'aspersion peuvent être efficaces sur des sols et une topographie qui ne sont pas adaptés ou efficaces pour les méthodes d'irrigation de surface (Barta *et al.*, 2004)

Les systèmes d'aspersion sont définis selon la méthode de déplacement des rampes latérales sur lesquelles sont fixés les asperseurs. Les rampes latérales peuvent être fixes ou rotatives, ces dernières peuvent être déplacées manuellement ou mécaniquement. Les systèmes d'aspersion sont très efficaces, mais posent des problèmes dus aux exigences en main-d'œuvre et aux coûts d'investissement (Barta *et al.*, 2004). Les rampes latérales déplacées manuellement nécessitent les investissements les plus faibles mais un besoin en main-d'œuvre très élevé (Barta *et al.*, 2004). Les systèmes de type SIDE Rolls utilisent la canalisation d'irrigation comme axe pour roues de grand diamètre, espacées les unes des autres d'environ 40 pieds (Barta *et al.*, 2004). Ces rampes latérales sont déplacées par un moteur et nécessitent donc moins de travail que les systèmes à déplacement manuel. Ce système doit être utilisé sur des cultures qui n'interfèrent pas avec le déplacement de la rampe ou avec le fonctionnement des asperseurs (Barta *et al.*, 2004). Les pivots sont constitués de canalisations radiales qui tournent autour d'un point pivot central par la pression de l'eau, de moteurs électriques ou hydrauliques à huile (Schwab *et al.*, 1993).

Les technologies de micro-irrigation (Goutte à Goutte)

La micro-irrigation est une méthode qui consiste à appliquer lentement et fréquemment de l'eau sur le sol en utilisant un système de distribution à basse pression et à faible volume et des orifices spéciaux de contrôle du débit (Schwab *et al.*, 1993).

Les systèmes de micro-irrigation appliquent l'eau à haute fréquence créant ainsi des conditions d'humidité du sol quasi optimales pour la culture (Barta *et al.*, 2004).

Avec un management approprié, la micro-irrigation permet d'économiser de l'eau car seule la zone racinaire de la plante est alimentée en eau et en faible quantité ce qui évite les pertes par percolation profonde, l'utilisation de l'eau par des adventices ou l'évaporation à partir de la surface du sol (Barta *et al.*, 2004).

En outre, tout en étant très efficace une installation d'irrigation goutte à goutte requière relativement peu de travail si elle est bien conçue. Il a été démontré que les rendements de certaines cultures augmentent dans ces systèmes, car le niveau élevé, temporaire, de l'humidité du sol, nécessaire pour répondre aux besoins de transpiration, est maintenu (Colaizzi *et al.*, 2003 ; Barta *et al.*, 2004). Les principaux inconvénients des systèmes de micro-irrigation sont le coût initial élevé et le risque de colmatage du système, tout particulièrement les émetteurs (Barta *et al.*, 2004). Dans certains cas, la main d'œuvre peut être assez importante si les rongeurs détériorent certains composants du système. Une bonne conception, un fonctionnement et un entretien adéquats permettent de surmonter bon nombre de ces problèmes.

1.3. Jauger l'efficacité de l'irrigation et de l'utilisation de l'eau

Nous distinguons la définition de l'efficacité d'irrigation conventionnelle ou classiques et effectives ou néoclassiques (Lankford, 2006). La définition classique de l'efficacité (EI) se rapporte au ratio entre la quantité d'eau qui bénéficie réellement à la culture et la quantité d'eau appliquée (Wittling & Molle 2017). Plus la valeur de EI est faible, plus il y aura des pertes. Une valeur de 80%, par exemple, indique une sur-irrigation de 20% ; à l'inverse une valeur de 120% indique une sous-irrigation de 20% (Benouniche *et al.*, 2014a). L'efficacité au champ ou lors des apports est définie par (Barta *et al.*, 2004):

$$E_f = 100 W_s / W_d$$

Où W_s = eau stockée dans le sol au niveau de la zone racinaire lors de l'irrigation, et W_d = eau apportée sur le champ lors de l'irrigation. La différence entre l'eau stockée dans la zone racinaire W_s et la quantité d'eau apportée sur la parcelle est l'eau perdue par percolation profonde, ruissellement ou évaporation. L'efficacité au champ prend en compte toutes les pertes par

évaporation ou ruissellement à partir de la surface des canaux ou des raies, toutes les fuites des asperseurs ou des canalisations goutte à goutte, la percolation au-delà de la zone racinaire, l'eau des asperseurs entraînée par le vent, l'évaporation des fines gouttes dans l'air et le ruissellement hors du champ (Howell, 2002). L'approche néoclassique prend en compte l'évaluation de l'eau qui est potentiellement disponible pour une réutilisation en aval, elle soutient que dans les bassins versants où les eaux de drainage sont réutilisées, un effet multiplicateur de l'eau se traduit par une efficacité élevée de l'irrigation lorsqu'elle est évaluée au niveau du bassin (Lankford, 2006). L'approche conventionnelle considère l'eau qui quitte la parcelle comme une perte, alors que l'approche néoclassique peut l'intégrer dans l'eau réutilisable à l'échelle du bassin versant. Le Tableau 26 montre les efficacités potentielles au champ pour les différents systèmes de distribution et l'économie d'eau potentielle. Les différences entre les efficacités des différents systèmes d'irrigation résultent de variations dans le ruissellement, les percolations profondes et l'évaporation (Barta *et al.*, 2004). Mais la différence ne résulte pas de modifications dans la quantité d'eau consommée par la transpiration.

Tableau 26. Valeur en pourcentage de l'efficacité au champ des systèmes d'irrigation

Systèmes d'irrigation	Efficacité au champ en %
<i>Systèmes d'irrigation de surface</i>	
Irrigation à la raie (inclinaison)	50-80
Avec réutilisation des eaux en aval	60-90
Irrigation à la raie (horizontale)	65-95
Irrigation par planche	50-80
Bassins plats	80-95
<i>Aspersion (sauf pivots)</i>	
Aspersion avec déplacement	60-85
Side Roll	60-85
Canon déplaçable	55-75
Rampes Frontales	
Sprays (alimentation par tuyau)	75-95
Sprays (alimentation par canal)	75-95
<i>Pivots</i>	
Asperseurs à batteur avec canon d'extrémité	75-90
Spray sans canon d'extrémité	75-95
Système LEPA sans canon d'extrémité	80-95
<i>Systèmes de micro irrigation</i>	
Goutte à goutte de surface	70-95
Goutte à goutte enterré (SDI)	75-95
Micro asperseurs	70-95
<i>Modernisation du système</i>	
Gravitaire vers aspersion	60 %
Aspersion vers irrigation localisée	20 – 30 %
Enrouleur vers pivot	25 %

Source: (Howell, 2002; Barta *et al.*, 2004; Wittling & Molle 2017)

1.4. La comparaison des méthodes d'irrigation

Le passage de l'irrigation de surface à l'aspersion est l'une des conversions les plus répandues pour économiser l'eau (Yonts, 2002). Les raisons de cette conversion résident dans le fait que les techniques d'irrigation de surface sont intrinsèquement moins efficaces et demandent plus de travail que l'irrigation par aspersion¹¹. Cependant avant de faire cette conversion, différents facteurs doivent être pris en compte : les effets sur les rendements, les économies d'eau, de main d'œuvre, d'énergie, l'aspect économique, les conditions climatiques et les caractéristiques du champ¹².

Pour choisir une méthode d'irrigation, l'agriculteur doit connaître les avantages et les inconvénients des différentes méthodes (Barta *et al.*, 2004). Malheureusement dans bien des cas, il n'existe pas une unique bonne solution, car toutes les méthodes ont leurs avantages et leurs inconvénients (Brouwner *et al.* 1988). Le Tableau 26 présente une comparaison des différentes méthodes d'irrigation en fonction de l'efficacité d'irrigation et des économies d'eau potentielles. Tous ces éléments doivent être pris en compte avant d'effectuer la conversion vers une technique plus efficace (Barta *et al.*, 2004). Si un système d'irrigation n'est pas particulièrement bien adapté à une situation donnée, il peut ne pas être plus efficace ou ne pas économiser plus d'eau que la méthode d'irrigation initiale (Barta *et al.*, 2004). Les économies d'eau que l'on peut espérer en passant d'une méthode d'irrigation à une autre sont égales à la différence entre les valeurs des efficacités au champ pour ces deux méthodes (Barta *et al.*, 2004).

2. Technologie modernes d'irrigation : Enjeux et bénéfices

2.1. Impact des technologies d'irrigation

La croyance dans le potentiel d'économiser l'eau d'irrigation par le goutte à goutte est souvent soutenue par des statistiques et des mesures élaborées. Postel (2000) affirme par exemple que l'irrigation au goutte-à-goutte a le potentiel d'au moins doubler le rendement des cultures par unité d'eau dans de nombreuses applications, notamment l'irrigation de la plupart des légumes, du coton, de la canne à sucre, des vergers et des vignobles.

¹¹ Pour plus d'information concernant le passage de l'irrigation de surface à l'aspersion, voir les références suivantes : Yonts (2002), O'Brien & Lamm (1999, 2000).

¹² Pour plus d'information concernant le passage de l'irrigation par aspersion au goutte à goutte enterré, voir les références suivantes : Lamm *et al.* (2003) et O'Brien *et al.* (1998).

Un rapport de la Banque mondiale indique par exemple que l'irrigation au goutte-à-goutte utilise 30 à 50% d'eau en moins que l'irrigation de surface, réduit la salinisation et le colmatage, et atteint une efficacité d'irrigation de 95% (Banque mondiale, 2006).

Une compilation de résultats de recherche de différents instituts de recherche indiens indique des réductions typiques de l'utilisation de l'eau avec l'irrigation au goutte-à-goutte de 30-60% et des augmentations typiques de rendement de 20-50% pour une variété de cultures, dont le coton, la canne à sucre, la vigne, les tomates et les bananes (Sivanappan, 1994). Des chiffres tels que ceux avancés par Postel circulent largement dans les rapports sur l'irrigation et la politique de l'eau, ainsi que dans les rapports de la Commission Européenne, soulignant que l'irrigation au goutte-à-goutte est une technologie prometteuse pour aider à résoudre le problème de l'eau. Les rapports opposent aussi souvent l'irrigation au goutte à goutte aux méthodes d'irrigation de surface, qui sont présentées comme inefficaces et utilisant des quantités d'eau excessives.

Les systèmes d'irrigation goutte à goutte peuvent être utilisés pour distribuer des engrais (la fertigation) et des pesticides (la chimigation) aux plantes, ce qui augmente l'efficacité de l'utilisation de ces intrants, avec des effets supplémentaires d'augmentation du rendement et d'économie d'intrants (Schoengold & Zilberman, 2007). Ainsi, l'adoption de l'irrigation au goutte-à-goutte aurait un effet positif sur le rendement, mais pas nécessairement sur l'économie d'eau (Taylor & Zilberman, 2017).

Un autre avantage de l'irrigation au goutte-à-goutte est qu'elle améliore le contrôle du timing de l'irrigation par rapport à l'irrigation par raie ou par aspersion (Taylor & Zilberman, 2017). En outre, l'adoption de l'irrigation goutte à goutte peut aller au-delà de la marge intensive (c'est-à-dire la transition d'une technologie d'irrigation traditionnelle à l'irrigation goutte à goutte) à la marge extensive où de nouvelles terres entrent en production en utilisant l'irrigation goutte à goutte (Taylor & Zilberman, 2017). Avec d'importants effets de marge extensive, l'adoption de l'irrigation au goutte-à-goutte peut augmenter la demande globale en eau (Pfeiffer & Lin, 2014a ; Ward & Pulido-Velazquez 2008).

En outre, Caswell & Zilberman (1986) montrent également qu'en augmentant l'efficacité d'utilisation des intrants, l'irrigation goutte à goutte augmente le rendement en maximisant le profit. Shani *et al.* (2009) montrent que la fréquence plus élevée de l'irrigation stabilise l'humidité du sol, ce qui permet d'augmenter le rendement avec moins d'eau. De plus, Darouich *et al.* (2014) montrent que les systèmes d'irrigation goutte à goutte peuvent conduire à 28-35% d'économie d'eau par rapport aux techniques d'irrigation de surface.

Une revue de la littérature sur les impacts des technologies de micro-irrigation indique qu'elles sont généralement promues principalement pour un ou plusieurs des objectifs suivants: (1) comme moyen d'économiser l'eau dans l'agriculture irriguée et d'éviter les crises de pénurie d'eau, (2) comme stratégie pour augmenter les revenus et réduire la pauvreté parmi les pauvres en milieu rural, et (3) pour améliorer la sécurité alimentaire et nutritionnelle des ménages ruraux (Narayanamoorthy, 2003 ; Polak *et al.* 1997 ; Shah & Keller 2002 ; Bilgi, 1999 ; Upadhyay, 2003, 2004).

Les effets des technologies de micro-irrigation sur la réduction de la pauvreté sont obtenus grâce à une réduction substantielle des coûts des cultures particulièrement pour les opérations comme l'irrigation et le désherbage et une augmentation substantielle des revenus agricoles due à des rendements plus élevés, meilleure qualité de la production, maturité précoce des cultures.

Les technologies d'économie d'eau garantissent des hausses substantielles du revenu agricole dû à un plus grand domaine cultivable, de meilleurs rendements des cultures, une qualité supérieure de la production, la maturité des récoltes et par conséquent un prix de vente plus important et des coûts réduits de culture, en particulier pour des opérations comme l'irrigation et le sarclage.

Les arguments avancés par la littérature scientifique pour expliquer la réussite de la technologie au goutte à goutte sont un potentiel énorme en matière d'efficacité d'utilisation de l'eau (Sivanappan, 1994 ; Foltz, 2003 ; Banque mondiale, 2006 ; Bisconer, 2010 ; Darouich *et al.* 2012, 2014 ; Wanvoeke *et al.*, 2016), de l'accroissement des rendements des cultures (Shani *et al.*, 2009 ; Schoengold & Zilberman, 2007 ; Friedlander *et al.* 2013 ; Garb & Friedlander, 2014 ; Chandran & Surendran, 2015 ; Taylor & Zilberman, 2015, 2017) et de rentabilité économique (Sivanappan *et al.* 1987 ; Darouich *et al.* 2012, 2014 ; Rodrigues *et al.*, 2013). Le recours à l'irrigation au goutte-à-goutte est renforcé par les gains potentiels de rendement et de productivité, car ils permettraient une intensification de l'agriculture et une utilisation plus efficace de ressources limitées comme la terre, l'eau et l'énergie (Sivanappan, 1994 ; Narayanamoorthy, 2004).

Ces arguments expliquent l'attention portée à cette technologie par la plupart des acteurs de l'irrigation. Bien qu'il y ait une rareté de résultats publiés d'essais sur le terrain en Algérie sur l'irrigation goutte à goutte, un certain nombre d'études faites ailleurs portant sur des zones climatiques similaires et des cultures similaires peuvent donner une idée de son potentiel.

Des études récentes montrent que l'utilisation de systèmes d'irrigation au goutte-à-goutte pourrait permettre d'obtenir de meilleurs rendements, par rapport aux systèmes d'irrigation à la raie et à l'aspersion, lorsque la même quantité d'eau est appliquée sur les cultures (Rashidi & Keshavarzpour, 2011 ; Tsakmakis *et al.*, 2017).

L'étude de Bogle *et al.* (1989) sur la production de tomates dans des régions du Texas a montré une augmentation de 22% de la production de tomates. Plusieurs études ont montré un retour considérable de l'investissement des exploitants dans les technologies d'irrigation localisée (Dhawan, 2000 ; Narayanamoorthy, 1997, 2003). Narayanamoorthy (2003) montre que l'économie d'eau due à la méthode d'irrigation au goutte-à-goutte par rapport à la méthode d'irrigation par gravitaire est d'environ 47% dans la canne à sucre et 29% dans la banane. L'eau nécessaire pour produire un quintal de canne à sucre sous goutte à goutte est seulement de 1,33 cheval-vapeur (HP) d'eau contre 3,17 cheval-vapeur (HP) d'eau pour le gravitaire, la même tendance est observée dans la culture de la banane.

L'étude de Narayanamoorthy (2004) sur l'évaluation de l'impact du goutte à goutte sur la canne à sucre a montré que la productivité était de 23% supérieure à celle de la méthode d'irrigation par gravitaire, avec une économie d'eau d'environ 44% par hectare et une économie d'électricité d'environ 1.059 kwh/ha. En outre, Zayani *et al.* (2000) ont mené des essais expérimentaux réalisés sur les parcelles expérimentales (irriguées au goutte à goutte) et témoin (irriguée à la raie) pour l'évaluation de l'irrigation localisée de la vigne de table dans la région de Mornag en Tunisie. Ils ont pu montrer que la bonne conduite des arrosages en irrigation localisée a permis non seulement d'économiser de l'eau mais d'améliorer la production en termes quantitatif et qualitatif. Ainsi, l'irrigation au goutte à goutte a permis d'obtenir une production 2,8 fois plus importante que celle réalisée sur la parcelle témoin irriguée à la raie.

Dans un autre contexte, Jackson *et al.* (2010) ont analysé deux zones d'irrigation différentes en Australie après la conversion de systèmes d'irrigation par inondation en systèmes pressurisés. Les résultats ont montré une réduction de 10 à 66% de la consommation d'eau, mais une augmentation de 163% de la consommation d'énergie dans la zone irriguée par des systèmes d'irrigation de surface. En revanche, la consommation d'énergie dans la zone dépendant des eaux souterraines a été réduite de 12 à 44% en raison des plus petits volumes d'eau pompés grâce à l'efficacité accrue de l'application. Cependant, les auteurs n'ont pas indiqué l'évolution de l'évapotranspiration. Les expérimentations de la FAO (2012) dans les Doukkala (Maroc) ont, par exemple, montré que les agriculteurs adoptant le goutte-à-goutte diminuaient les apports à la parcelle de 14% à 50% selon les cultures pratiquées.

Tableau 27. Études comparant le rendement au goutte à goutte à d'autres méthodes

<i>Cultures</i>	<i>Etudes</i>	<i>Région</i>	<i>Rendement</i>	<i>Comparaison</i>
Luzerne	Hutmacher <i>et al.</i> (1992)	Californie	19-35 %	Gravitaire
Choux	Rubeiz <i>et al.</i> (1989)	Arizona	29 %	Gravitaire
Choux	Tiwari & Dinar (2002)	Inde	62 %	Gravitaire
Cotton	Phene <i>et al.</i> (1992)	Californie	13 %	Gravitaire
Cotton	Henggeler (1995)	Texas	20 %	Gravitaire
Cotton	Muhammad <i>et al.</i> (2011)	Inde	20 %	Gravitaire
Oignon	Halvorson <i>et al.</i> (2008)	Colorado	15 %	Gravitaire
Poivron/piment	Xie <i>et al.</i> (1999)	New Mexico	43-66 %	Gravitaire
Poivron/piment	Paul <i>et al.</i> (2013)	Inde	28 %	Gravitaire
Pomme de terre	DeTar <i>et al.</i> (1996)	Californie	27 %	Aspersion
Courgettes	Rubeiz <i>et al.</i> (1989)	Arizona	13 %	Gravitaire
Tomates	Shweers & Grimes (1976)	Californie	14 %	Gravitaire
Tomates	Rose <i>et al.</i> (1982)	Californie	20 %	Gravitaire
Tomates	Pruitt <i>et al.</i> (1984)	Californie	13-19%	Gravitaire
Tomates	Bogle <i>et al.</i> (1989)	Texas	22 %	Gravitaire
Tomates	Yohans & Tadesse (1998)	Ethiopia	39-54 %	Gravitaire
Tomates	Hanson & May (2003)	Californie	15-35 %	Aspersion
Tomates	Semiz & Yurtsven (2010)	Turkie	14-27 %	Gravitaire

Source : Taylor & Zilberman (2015)

2.2. L'effet rebond et le paradoxe de Jevons

William Stanley Jevons (1865), l'un des auteurs fondateurs de l'économie écologique, a identifié ce qui est peut-être le paradoxe le plus connu de l'économie écologique, un paradoxe qui est connu par la suite sous le nom de paradoxe de Jevons (Clark & Foster, 2001). Jevons a observé qu'à mesure que l'efficacité de l'utilisation du charbon par l'industrie s'améliorait, permettant ainsi de produire davantage de biens par unité de charbon, la consommation totale de charbon augmentait. Ce paradoxe est le suivant : « À mesure que les améliorations technologiques augmentent l'efficacité avec laquelle une ressource est employée, on observe que la consommation globale de cette ressource augmente ». Il a donc démontré que l'introduction de technologies plus efficaces, permettant théoriquement de faire des économies d'énergie, augmentait paradoxalement la consommation totale d'énergie consommée.

Au moins deux explications potentiellement complémentaires de ce paradoxe se dégagent. Premièrement, selon le raisonnement de l'économie-classique, lorsque l'efficacité de l'utilisation du charbon augmente, le coût du charbon par unité de biens produits diminue. Cette réduction du coût rend le charbon plus désirable pour les producteurs en tant que source d'énergie, ce qui les incite à investir dans des technologies qui utilisent le charbon (York, 2006). Deuxièmement, selon le raisonnement de l'économie politique, la volonté d'augmenter les profits inhérents aux modes de production capitalistes conduit les producteurs à essayer à la

fois de réduire les coûts en diminuant les ressources utilisées par unité de production (c'est-à-dire en améliorant l'efficacité) et à augmenter les revenus en augmentant la quantité de biens et de services produits et vendus ce qui nécessite l'augmentation de la consommation de ressources (Foster, 2002 ; Schnaiberg & Gould, 1994).

L'explication de l'économie politique du paradoxe de Jevons suggère que l'association entre efficacité et consommation totale est principalement due à la recherche de profits qui animent les capitalistes dans la mesure où les profits découlant des améliorations de l'efficacité peuvent être investis dans l'expansion de la production. L'explication de l'économie classique considère que l'efficacité et la consommation totale sont liées de manière causale par le coût du charbon par unité de production. Déterminer la mesure dans laquelle le paradoxe de Jevons existe effectivement, dans quelle mesure il est généralement applicable et dans quelle mesure l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation d'une ressource est associée à une augmentation de la consommation de cette ressource, est une tâche importante pour les spécialistes en sciences de l'environnement car les arguments selon lesquels des technologies de production plus efficaces aideront à résoudre les crises environnementales sont un élément essentiel des discussions de politique publique dans la plupart des pays développés et sont au moins implicites, et souvent explicites, dans divers programmes de recherche,

Les techniques d'irrigation localisées, dont l'application la plus répandue est la technique du goutte-à-goutte, permettent en théorie d'atteindre des efficacités d'application de l'ordre de 90%, contre 70% pour les systèmes traditionnels les mieux gérés (Tiercelin, 2006). Le développement, à grande échelle, de cette technologie permettrait donc en théorie de réduire de plus de 20% la demande en eau d'irrigation (Feltz, 2016). Ce point de vue est par ailleurs purement technique et est contesté sur le plan économique, les améliorations de l'efficacité pourraient augmenter, plutôt que de diminuer la consommation.

2.3. Efficacité et économies réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation

Il est possible d'améliorer l'efficacité de l'irrigation de plusieurs façons en réduisant les pertes à différents stades du cheminement de l'eau. Dans le domaine de l'irrigation, deux mécanismes peuvent être actionnés : la technologie et la conduite de l'irrigation. Selon Wittling & Molle (2017), l'amélioration des performances technologiques des matériels d'irrigation passe par : 1) la réduction des fuites dans les canalisations et les équipements à la parcelle, et donc l'augmentation de l'efficacité de distribution à la parcelle ; 2) la limitation de l'évaporation et de la draine afin d'accroître l'efficacité d'application ; 3) la diminution du ruissellement et du

drainage pour améliorer l'efficacité de stockage ; 4) la réduction, voire la suppression, de l'évaporation du sol afin d'augmenter l'efficacité de transpiration.

Nous focalisons ici sur l'accroissement de l'efficacité grâce à des améliorations technologiques en matière d'irrigation, tout en gardant à l'esprit l'importance des pratiques et les moyens de les améliorer.

La question de la capacité de la technologie goutte-à-goutte à réduire les pressions sur les ressources en eau est donc plus que jamais d'actualité. Cependant, l'attribut d'économie d'eau tant vanté des technologies de micro-irrigation est controversé. L'utilisation et la gestion de l'eau en agriculture impliquent de nombreuses échelles différentes : cultures, parcelles, exploitation agricole, systèmes de distribution, bassins, nations et continents.

Les effets au niveau de la parcelle et de l'exploitation

L'eau est appliquée à la parcelle pour être consommée par la transpiration de la plante afin de compenser le déficit de pluie (Bouarfa *et al.*, 2020). La consommation en eau au niveau de la parcelle est décrite par le terme d'évapotranspiration qui indique que l'eau est consommée par l'évaporation du sol et la transpiration des plantes (principalement des plantes cultivées mais aussi des adventices) (Molle & Tanouti, 2017). Au niveau de la parcelle, la transpiration de la plante est considérée comme une consommation productive (le rendement est lié à cette transpiration), tandis que l'évaporation de l'eau, par exemple lorsqu'elle est pulvérisée en fines gouttelettes par aspersion ou stagne à la surface du sol, est considérée comme une perte improductive : l'eau retourne vers l'atmosphère sans avoir bénéficié aux cultures, ni aux autres usages ou aux écosystèmes localement (Bouarfa *et al.*, 2020).

Augmenter l'efficacité de l'irrigation peut permettre de réaliser des économies d'eau à l'échelle de la consommation en eau de la parcelle. C'est ce qu'illustre l'exemple du passage de l'irrigation gravitaire conventionnelle au goutte-à-goutte en Inde (Tableau 28).

Tableau 28. Réduction des apports d'eau pour différentes cultures en Inde

Culture	Augmentation du rendement (%)	Économie d'eau (%)	Gains de productivité de l'eau ¹³ (%)
Bananes	52	45	173
Chou	2	60	150
Chou (évapotranspiration)	54	40	157
Coton	25	60	212
Coton (évapotranspiration)	35	15	55
Raisin	23	48	134
Okra (évapotranspiration)	72	40	142
Pommes de terre	46	~0	46
Canne à sucre	23	44	121
Patates douces	39	60	243
Tomates	50	39	145

Source : Molden *et al.* (2007)

Premièrement, la micro-irrigation ne réduit pas nécessairement de manière significative l'évaporation (non-bénéfique) du sol. Cela dépend de plusieurs facteurs tels que la densité des goutteurs, la couverture du sol par les cultures, la texture du sol, etc.). Thorenson *et al.* (2013) ont étudié l'ET dans les vignes et les cultures arboricoles en Californie par télédétection. Ce sont les cultures pour lesquelles la réduction de l'évaporation du sol non/peu bénéfique est plus probable, par opposition aux grandes cultures qui couvrent le sol. Ils ont trouvé une réduction de l'ET de moins de 6% en moyenne. D'autre part, la transpiration des cultures augmente en raison d'une irrigation plus fréquente et plus ponctuelle (Burt *et al.*, 2008 ; Ward & Pulido-Velazquez, 2008 ; Perry *et al.*, 2009).

C'est encore plus vrai dans les systèmes qui manquent d'eau et où les agriculteurs pratiquent une irrigation déficitaire, ou lorsque l'irrigation gravitaire était inefficace, par exemple en raison d'un mauvais nivellement du terrain ou de mauvaises pratiques. L'étude de Riverside (2010) dans le périmètre de Tadla utilisant l'imagerie satellitaire et les bilans énergétiques a comparé 12 parcelles plantées d'agrumes, cinq parcelles irriguées par le gravitaire et sept par goutte à goutte, et a trouvé seulement 1% de différence dans la consommation (ET). Au New Mexique, l'imagerie satellitaire a permis de comparer l'ET dans des parcelles cultivées de la même façon mais irriguées par gravité ou par goutte à goutte, indiquant une consommation d'eau de 8 à 16% plus élevée dans la dernière que dans la première, selon le type de culture (Intera, 2013).

¹³La productivité de l'eau est mesurée en tant que rendement des cultures par unité d'eau d'irrigation apportée ou en tant que rapport entre le rendement et l'évapotranspiration lorsque l'évapotranspiration est indiquée entre parenthèses.

Travaillant en Californie, qui a longtemps été comparée au Maroc en termes d'agriculture irriguée, Burt *et al.* (2001) ont montré qu'il était extrêmement difficile d'établir des comparaisons de l'évaporation du sol et de la transpiration des cultures pour différents types de cultures, de couverture/densité des cultures, de sols et de technologies, avec des écarts importants entre les situations.

Dans certains cas, par exemple le goutte-à-goutte pour les amandes dans le Westlands Water District, l'ET a été estimée de 10% à 15% plus élevée que pour les autres méthodes d'irrigation. Dans les situations où les sols ont une bonne capacité de rétention et/ou sont fréquemment mouillés, l'ET et le T sont probablement plus élevés : Lorsque l'on combine une évaporation plus élevée possible avec une transpiration plus élevée presque certaine, on peut s'attendre à ce que l'ET globale soit plus élevée sous le goutte-à-goutte que pour les méthodes de surface et d'aspersion dans de nombreux cas. L'ET est souvent fondamentalement inchangée, mais la distribution de E et T varie. Il est important de noter que Burt *et al.* (2001) ont constaté qu'en Californie, E ne représentait que 11% de l'ET annuel. Par conséquent, il est peu probable que les changements de E soient supérieurs aux augmentations de T, et la conclusion selon laquelle la modernisation est neutre sur le plan de l'ET est prudente.

La récente analyse documentaire de Perry *et al.* (2017) n'a trouvé aucun exemple documenté d'économies d'eau pour les grandes cultures en termes de consommation et a confirmé l'hypothèse nulle. On peut conclure sans risque que, globalement, ce n'est pas au niveau de l'ET totale que des économies potentielles peuvent être identifiées.

L'étude de Zhou *et al.* (2021) montre qu'à l'échelle de la parcelle, la consommation d'eau non bénéfique (évaporation du sol) est effectivement réduite par les technologies d'économie d'eau, mais le flux de retour a augmenté en même temps, les technologies d'économie d'eau ne parviennent pas à économiser l'eau, car l'augmentation cumulée du flux de retour est supérieure à la diminution cumulée de la consommation d'eau non bénéfique.

L'étude de la FAO (2012) à Doukkala, qui a identifié une réduction des apports à la parcelle, a également constaté que les consommations par hectare au niveau de l'exploitation peuvent augmenter de 20% à cause d'un changement d'assolement. Une étude menée dans le Tadla, par exemple, a comparé 12 parcelles d'agrumes (cinq irriguées par gravité et sept en goutte-à-goutte) et n'a trouvé des différences d'évapotranspiration (c'est-à-dire de consommation en eau) que de 1% (Riverside, 2010). Une étude similaire menée dans l'État du New Mexico, aux Etats-Unis, a trouvé des consommations en eau (ET) dans les champs irrigués en goutte-à-goutte supérieures de 8% à 16% à celles trouvées pour des champs irrigués en gravitaire, se-

lon le type de culture (INTERA, 2013). En Californie, on a également trouvé que des champs d'amandiers irrigués en goutte-à-goutte présentaient des consommations en eau supérieures de 10 à 15% par rapport aux champs irrigués par d'autres méthodes (Burt *et al.*, 2001). D'autres ont trouvé que pour la viticulture et l'arboriculture, cultures assez espacées pour lesquelles on pourrait s'attendre à une réduction significative du terme (E), la réduction de l'évapotranspiration n'était que de 6% en moyenne (Thorenson *et al.*, 2013), une économie non négligeable.

Benouniche *et al.* (2014b) montrent des sur-irrigations pour la plupart des systèmes avec une efficacité d'irrigation parfois inférieure à celles obtenues en irrigation gravitaire. Ces sur-irrigations sont liées aux objectifs d'augmentation de production agricole des agriculteurs et à la mauvaise distribution de l'eau à la parcelle, due à la conception du réseau et des problèmes d'entretien. En plus, Wolf *et al.* (1995) ont démontré en Jordanie que l'efficacité de l'irrigation goutte à goutte était même plus faible que l'efficacité de l'irrigation de surface en raison d'un mauvais entretien, d'une utilisation inadéquate des équipements et de mauvaises pratiques d'irrigation. Slatni *et al.* (2005) ont rapporté des résultats similaires dans le cas de la Tunisie, dans la basse vallée de la Medjerda, au nord de la Tunisie, où les agriculteurs suivent des itinéraires techniques très similaires à ceux qu'ils pratiquaient en gravitaire. Les mesures effectuées au sein des exploitations ont révélé des coefficients d'uniformité¹⁴ et moyens à faibles pour la majorité des exploitations, pour plusieurs raisons : les filtres ne sont pas nettoyés fréquemment, ce qui entraîne une pression faible à la station de tête et par suite aux rampes, l'agriculteur ouvre plus de postes qu'il est conseillé. Cela signifie que l'encouragement des agriculteurs à adopter le système d'irrigation localisée doit être suivi de méthodes d'accompagnement visant à favoriser l'acquisition d'une bonne maîtrise de ce système.

Changements de culture induits

Namara *et al.* (2005) ont constaté un effet remarquable dans les régions étudiées (Gujarat Maharashtra) qui est le changement significatif dans l'assolement qui s'est produit après l'adoption des technologies de micro-irrigation. Les agriculteurs qui ont adopté des technologies alternatives dans les lieux de l'étude ont modifié leurs cultures ainsi que l'étendue de leur cul-

¹⁴ Le coefficient d'uniformité (CU) représente la capacité de l'installation à fournir la même dose d'irrigation à l'ensemble d'une parcelle. A plus de 90%, l'uniformité est considérée excellente ; plus elle est basse, plus il y a des problèmes de distribution (bouchage des goutteurs, par exemple). Bien que EI relève des pratiques d'irrigation et le CU de l'état du matériel et parfois de la conception ainsi que de l'entretien du réseau, les deux paramètres sont souvent en interaction. Un agriculteur disposant d'un système ayant de problèmes de distribution (et donc un CU faible) pourra être tenté de compenser cela en donnant plus d'eau à l'ensemble de la parcelle, ce qui entraîne une sur-irrigation sur une partie de la parcelle, et donc une diminution de la valeur d'EI. (Benouniche *et al.*, 2014a)

ture. Plus précisément, l'adoption de la micro-irrigation s'est avérée encourager les agriculteurs à augmenter leur intensité de culture globale ou à modifier leurs modes de culture vers des cultures à forte valeur ajoutée et à forte intensité d'eau (Namara *et al.*, 2005).

Les changements de densité culturale et d'assolement induits par le goutte-à-goutte ont également été observés dans de nombreux systèmes irrigués espagnols (González-Cebollada, 2015 ; Sese-Minguez *et al.*, 2017 ; Berbel *et al.*, 2014).

Expansion des superficies irriguées

En effet, un passage au goutte-à-goutte peut entraîner une demande en eau globale supérieure à la demande initiale, comme le cas de la plaine de Kairouan en Tunisie, où l'on assiste à une augmentation des superficies irriguées des cultures les plus rentables (Feuillette, 2001). Dans le périmètre irrigué de Zaouiet Jedidi (Tunisie), les agriculteurs ont généralement adopté le goutte à goutte pour d'autres raisons que l'économie d'eau telles que l'intensification agricole et l'économie de main d'œuvre (Ferchichi *et al.*, 2018).

Dans ce sens, Molle & Tanouti (2017) ont considéré qu'un développement d'une agriculture irriguée associé à une préservation de la ressource en eau n'est qu'une illusion. Le développement de la micro-irrigation ne représente pas une garantie de préservation des ressources en eau sans mécanisme additionnel de régulation. Ses résultats dépendent également des pratiques de l'agriculteur, des politiques qui peuvent faciliter ou restreindre certains impacts et du contexte local de l'irrigation (Sese-Minguez *et al.*, 2017).

Effets au niveau des périmètres irrigués, bassins versants et des aquifères

L'amélioration de l'efficacité d'irrigation peut s'accompagner d'une diminution des prélèvements à l'échelle d'un territoire, comme l'ont décrit plusieurs auteurs chinois (Zou *et al.*, 2012 ; Huang *et al.*, 2017). Il faut cependant souligner que, selon le contexte, l'amélioration de l'efficacité n'implique pas nécessairement une économie d'eau. D'une part, le matériel plus performant peut nécessiter une technicité plus grande de la part de l'utilisateur qui, si elle n'est pas mise en œuvre, ne permettra pas l'économie d'eau escomptée (Wittling & Molle, 2017).

Le goutte-à-goutte est un système très efficace mais si les vannes restent intempestivement ouvertes, la consommation d'eau à la parcelle ne sera pas forcément réduite (Wittling & Molle, 2017). D'autre part, à l'échelle d'un bassin versant, la modernisation des systèmes peut accroître l'efficacité, mais ne pas entraîner d'économies d'eau (Wittling & Molle, 2017).

Perry (1999) illustre ce phénomène paradoxal avec la modernisation des systèmes d'irrigation dans le Moyen-Orient destinée à améliorer l'efficacité de 40-50% à 60-70% dans le but d'économiser l'eau et d'étendre la surface de cultures irriguées. La modernisation a entraîné une diminution des pertes et donc une augmentation de l'efficacité, plus particulièrement de la part évapotranspirée de l'eau d'irrigation. S'en est suivie une hausse des rendements, mais pas de disponibilité d'eau supplémentaire pour d'autres cultures.

De même, Ward & Pulido-Velazquez (2008) ont montré que, dans le bassin du Rio Grande, les subventions pour les technologies d'irrigation économes en eau n'ont pas réduit la consommation en eau, mais au contraire ont réduit les flux qui rechargent les aquifères et ont finalement accru l'épuisement de la ressource.

Cet « effet rebond » a également été observé en Espagne, suite au passage de l'irrigation gravitaire à l'aspersion et au goutte-à-goutte (Playan & Mateos, 2006 ; Lecina *et al.*, 2010a ; 2010b ; Berbel & Mateos, 2014) ainsi qu'au Kansas suite à la conversion des pivots traditionnels en pivots plus efficaces (Pfeiffer & Lin, 2014a).

Ferchichi *et al.* (2017) montrent que l'introduction de l'irrigation localisée dans le périmètre irrigué de Zaouiet Jdidi (Tunisie) n'a pas conduit à des économies d'eau, la sécurité des grandes exploitations (riches agriculteurs) a été renforcée à la fois par le pompage illicite des eaux souterraines profondes, et par la conversion à l'irrigation au goutte-à-goutte qui leur permet d'irriguer à la demande. Dans ces circonstances, le développement de l'irrigation au goutte-à-goutte combiné à un accès plus facile aux ressources en eau a entraîné une augmentation de la demande en eau.

Fernandez Diaz *et al.* (2014) ont montré que les besoins en eau dans cinq périmètres du bassin du Guadalquivir avaient augmenté ou diminué, en fonction du mix de cultures, mais qu'en raison de l'augmentation des plantations d'agrumes, il y aura une augmentation de 9% de l'ET d'ici 2020, lorsque les arbres auront grandi et atteint leur maturité (Berbel *et al.*, 2014). Sanchis-Ibor *et al.* (2015) ont montré que dans la rivière Mijares, en Espagne, les assolements (agrumes) n'avaient pas été affectés par la reconversion au goutte-à-goutte (l'application d'eau a été considérablement réduite, mais l'ET réelle au niveau de la parcelle n'a pas été mesurée). González-Cebollada (2015) a toutefois montré que dans sept périmètres en Espagne, la consommation d'eau par hectare avait augmenté de 4 à 45% en raison de l'intensification et du basculement vers des cultures ayant des besoins en eau plus élevés, notamment les arbres. Le périmètre de Bembézar étudié par Rodríguez-Díaz *et al.* (2012), qui ont montré une augmentation de l'ET de 20%.

Dans le cas des eaux souterraines agricoles, Pfeiffer & Lin. (2014a) montrent, tant sur le plan théorique qu'empirique, que la technologie qui augmente l'efficacité de l'irrigation ne conduit pas nécessairement à une moindre consommation d'eau souterraine. Dans cette étude, Pfeiffer & Lin (2014a), sur les politiques de conservation des eaux par l'incitation à la conservation des eaux souterraines au Kansas, montrent que la subvention à l'adoption de systèmes d'irrigation plus efficaces n'a pas été efficace pour réduire la quantité d'eau souterraine utilisée.

Pfeiffer & Lin (2014a) montrent ainsi qu'une politique visant à encourager la conversion vers la technologie d'irrigation plus efficace n'a pas eu l'effet escompté sur la conservation des eaux souterraines. Cette étude analyse un programme de subvention de la conversion technologique dans l'Ouest du Kansas. Les auteurs montrent que les augmentations de l'efficacité de l'irrigation étaient corrélées avec des augmentations de l'extraction des eaux souterraines, plutôt que des diminutions comme prévu. Si une technologie d'irrigation plus efficace accroît généralement l'efficacité d'une unité d'eau, elle modifie également les paramètres de la décision de maximisation des profits d'un agriculteur et peut entraîner des changements dans les rendements, les choix de cultures, les schémas de rotation des cultures ou l'extension de la superficie irriguée. Il a été constaté qu'au Kansas, les parcelles étaient moins souvent laissées en jachère (ou non irriguées), et lorsqu'elles étaient irriguées, un plus grand pourcentage de parcelles était irrigué et que la dose d'eau appliquée par acre était augmentée d'environ 2,5%.

Un exemple similaire a été identifié avec les programmes de retrait de terres. Un exemple de programme de retrait des terres est le Conservation Reserve Program créé par le gouvernement américain en 1985 pour fournir une assistance technique et financière aux agriculteurs et aux éleveurs éligibles afin de répondre aux préoccupations concernant le sol, l'eau et les ressources naturelles connexes sur leurs terres d'une manière écologiquement bénéfique et rentable. Ces programmes consistent notamment à verser des paiements aux propriétaires fonciers pour qu'ils abandonnent, laissent en jachère ou plantent des cultures non irriguées sur leurs terres. Ces programmes fonctionnent sur la base d'un contrat basé sur l'offre entre le propriétaire foncier et l'agence gouvernementale de coordination.

Des résultats similaires dans l'analyse des effets des programmes de conservation des terres et des eaux et des programmes de retraits sur l'extraction des eaux souterraines au Kansas, le passage par le biais de subventions vers des systèmes d'irrigation plus efficaces a en fait augmenté l'extraction par le biais d'un changement des assolements, les meilleurs systèmes d'irrigation permettent de produire des cultures plus consommatrices d'eau avec un profit marginal plus élevé (Sears *et al.*, 2017). L'agriculteur est incité à la fois à augmenter la super-

ficie irriguée et à produire des cultures plus consommatrices d'eau (Pfeiffer & Lin, 2014 ; Lin, 2016). Similairement, Li & Zhao. (2018) montrent que les prélèvements d'eau, dans la région aquifère des Hautes Plaines du Kansas, augmentent modérément après l'adoption de la technologie d'irrigation *LEPA (Low Energy Precise Application)* et que cet *effet rebond* est en général plus important pour les agriculteurs disposant de droits d'eau plus importants.

Dans une recherche sur la Chine, Song *et al.* (2018) montrent que, bien que la productivité de l'eau du secteur agricole chinois ait augmenté au cours des 20 dernières années grâce à des améliorations de la technologie d'irrigation, l'utilisation totale de l'eau agricole n'a pas diminué comme prévu, principalement en raison de l'augmentation continue de la production agricole découlant en partie du progrès technologique. Les auteurs montrent qu'une grande partie des économies d'eau attendues d'une technologie d'irrigation est compensée par une utilisation accrue de l'eau pour l'augmentation de la production rendue possible par cette technologie.

Selon Molle & Tanouti (2017), les grandes plaines irriguées au Maroc montrent actuellement toutes des bilans déficitaires (à part le Gharb) : il s'agit en particulier de la plaine du Saïss, du Tadla, du Haouz, du Souss-Massa et du Draa, sans compter les petites nappes côtières. Le niveau d'eau dans ces nappes est un excellent indicateur de la surexploitation des ressources en eau. Cette baisse des nappes est antérieure au développement du goutte-à-goutte mais devrait être aggravée par celui-ci.

Dans le périmètre irrigué de Zaouiet Jedidi (Tunisie), les agriculteurs ont généralement adopté le goutte à goutte pour d'autres raisons que l'économie d'eau telles que l'intensification agricole et l'économie de main d'œuvre. Cette reconversion a aussi été conditionnée à un accès sécurisé aux eaux souterraines (Ferchichi *et al.*, 2018). L'intensification de l'agriculture irriguée encouragée par des politiques agricoles ambitieuses est souvent basée sur l'utilisation accrue des eaux souterraines, ce qui a contribué à la surexploitation de 50% des nappes au Maroc (Kuper *et al.*, 2016). Les trois pays (Algérie, Tunisie, Maroc) dépendent dans une large mesure des ressources en eau souterraine, en particulier l'Algérie (88% de la superficie totale irriguée, et la Tunisie (64%), les données officielles montrent que l'état actuel des aquifères n'est pas bon. Plus de la moitié des aquifères en Algérie et au Maroc, et environ un quart des aquifères en Tunisie sont surexploités (Kuper *et al.*, 2016).

Elmadahi *et al.* (2014) ont analysé les données sur les niveaux piézométriques pour le bassin du moyen Cheliff. Les principaux réservoirs d'eau souterraine exploités dans le bassin du moyen Cheliff appartiennent à l'aquifère alluvial. De longues séries temporelles de données ont été collectées entre 1972 et 2003 qui montrent des baisses significatives des niveaux pié-

zométriques suite aux effets combinés de la sécheresse et de l'exploitation excessive des eaux souterraines, à partir de 1994. À titre d'exemple, on peut citer des baisses de 6,3 m dans le puits n°82-13 en période de hautes eaux et de 14,6 m en période de basses eaux entre 1988 et 2003. En 2009, le puits était sec. Le puits n°105/91 montre également un appauvrissement mais dans une moindre mesure ; il y a eu une légère augmentation du niveau des eaux souterraines d'environ 0,5-0,6m malgré de faibles précipitations. Cela aurait été le résultat des lâchers de barrage et de la ré-infiltration de l'eau d'irrigation. La Figure 18 montre d'autres exemples d'épuisement et de surexploitation du niveau des eaux souterraines.

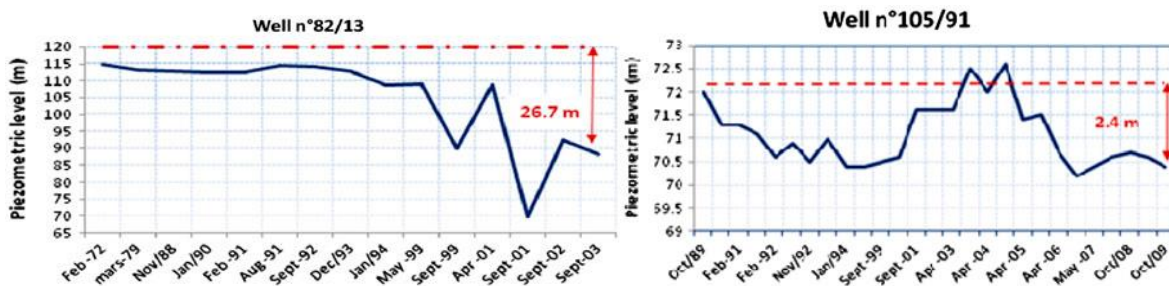


Figure 17. Variation et progression des niveaux piézométriques pour le puits 82-13 et 105-91

Source : Elmadahi *et al.* (2014)

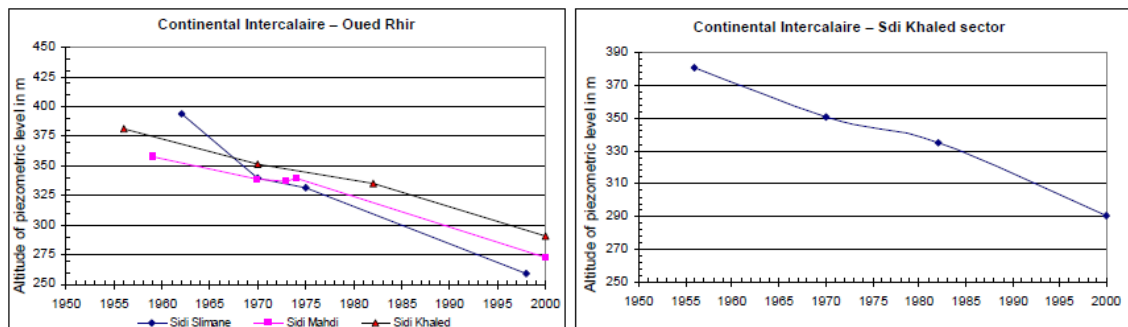


Figure 18. Exemples de rabattements en Algérie du Continental Intercalaire du système NWSAS.

Source : OSS (2004)

Il y avait une tendance à la baisse du débit prévu pour 2050 allant de 20 à 25% pour les scénarios bas et haut, confirmant les études précédentes du bassin méditerranéen. En outre, le potentiel des eaux souterraines du Moyen et Haut Cheliff a été prédit à 73,9Hm³, ce qui représente une réduction de 9,2% d'ici 2050 (scénario haut), par rapport à la période de référence (1961-1990). Pour le scénario bas, le potentiel a été réduit d'environ 4,3% (Elmadahi *et al.*, 2014)

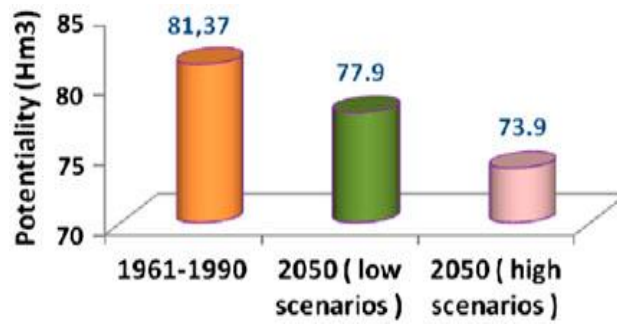


Figure 19. Diminution attendue des ressources en eau souterraine dans le bassin de High et Middle Cheliff (Elmeddahi *et al.*, 2014)

Ainsi, bien qu'elle soit encore peu abondante, la littérature sur les effets des politiques de conservation des eaux souterraines basées sur l'incitation à la conservation des eaux souterraines soutient la possibilité d'un paradoxe de Jevons et la conséquence involontaire, ou même perverse, d'une possible augmentation plutôt que d'une diminution de l'extraction des eaux souterraines.

Tableau 29. Preuve empirique du paradoxe de Jevons dans les politiques de conservation des eaux souterraines

Région	Politique	Source
Kansas	Subventions pour des technologies d'irrigation	Pfeiffer & Lin (2014)
Kansas	Programmes de conservation des terres	Pfeiffer & Lin (2010, 2014a, 2014b)
Kansas	Les droits d'eau et une technologie d'irrigation plus efficiente.	Li & Zhao (2018)
Kansas	Les programmes de conservation des terres et des eaux et des programmes de retraits sur l'extraction des eaux souterraines Subventions pour des technologies d'irrigation plus efficaces	Sears <i>et al.</i> (2017).
Colorado	Conservation Reserve Enhancement Program	Monger <i>et al.</i> (2018)
Chine	Une technologie d'irrigation plus efficiente	Song <i>et al.</i> (2018)

Dans l'étude de Masih & Giordano (2014), une analyse multidisciplinaire est appliquée pour déterminer le processus d'adoption et les impacts des technologies d'économie d'eau d'irrigation à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation agricole et à des échelles spatiales plus élevées sur la production alimentaire et les économies d'eau réelles. Cette étude démontre que les économies d'eau réalisées sur la parcelle ne peuvent pas être extrapolées linéairement à l'échelle de l'exploitation agricole, du système de culture et du bassin versant. Le message primordial de cette recherche est que, dans un environnement d'utilisation conjointe des eaux de surface et des eaux souterraines, les économies d'eau sur la ferme qui mènent à des entreprises plus productives auront tendance à être réutilisées d'une manière ou d'une autre, et peu-

vent même stimuler une plus grande utilisation totale de l'eau. Cette étude a démontré que même lorsque les technologies réduisent les applications d'eau par unité de production végétale, elles peuvent ne pas réduire l'utilisation réelle de l'eau à moins que des dispositions institutionnelles soient mises en place pour limiter la demande. Le principal facteur déterminant la réponse aux économies d'eau au Pakistan semble être la taille de l'exploitation : dans les situations où les petits agriculteurs sont majoritaires, les petites économies d'eau nettes peuvent ne pas pouvoir être réutilisées sur l'exploitation, et les économies cumulées peuvent entraîner des économies d'eau au niveau du système. En résumé, les processus d'intensification au niveau de la parcelle, les changements d'assolement induits, et les phénomènes d'expansion des superficies irriguées associés à la reconversion de l'irrigation traditionnelle en goutte-à-goutte vont tous dans le sens d'une augmentation des quantités d'eau consommées par l'irrigation.

Zhou *et al.* (2021) montrent qu'à l'échelle régionale, cependant, l'eau est économisée parce que le flux de retour percolé vers des aquifères est considéré comme bénéfique plutôt que comme une perte. Dans le même temps, l'augmentation cumulée de la consommation d'eau bénéfique (transpiration des cultures) dépasse les économies d'eau régionales, ce qui explique le paradoxe entre une large application des technologies d'économie d'eau et une pénurie d'eau régionale plus grave. L'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces telles que l'irrigation au goutte-à-goutte peut réduire les flux de retour précieux et peut limiter la recharge des aquifères (Johnson *et al.*, 1999). Ceci est particulièrement problématique dans les zones où les flux de retour sont une source importante d'approvisionnement en eau en aval (Taylor & Zilberman, 2017).

L'impact avéré du recours au goutte-à-goutte sur la consommation d'eau a même conduit l'État américain du Montana à poursuivre le Wyoming, affirmant que les agriculteurs qui avaient installé des systèmes d'irrigation à haute efficacité réduisaient la quantité d'eau de la rivière Yellowstone qui aurait dû s'écouler vers le Montana, en violation du pacte inter-États (Anderson, 2013 ; MacDonnell, 2012). De même, Sese-Minguez *et al.* (2017) ont montré que dans le bassin versant de Cànyoles, l'irrigation au goutte-à-goutte était associée à une intensification, à un basculement aux arbres et à une expansion dans les anciennes régions pluviales.

3. Débat sur les économies d'eau par les technologies d'irrigation

Les impacts systémiques d'un passage à la micro-irrigation ont fait l'objet de nombreux débats depuis les années 2000, notamment en Californie, en Chine, en Espagne, au Maroc ou en Australie. Premièrement, il a été remarqué que les agriculteurs (relevant de l'agriculture familiale comme de l'agro-industrie) ne réduisaient pas toujours les quantités d'eau appliquées à la

parcelle, en particulier lorsqu'une irrigation plus fréquente et mieux contrôlée accroît la transpiration des cultures (Perry *et al.*, 2017). Le passage à la micro-irrigation est également souvent accompagné d'une orientation vers des cultures plus consommatrices en eau, d'une densification des plantations d'arbres et d'une extension des superficies cultivées rendue possible par les économies réalisées à la parcelle, ce qui est qualifié d'effet rebond (Ward & Pulido-Velazquez, 2008 ; Playán & Mateos, 2006 ; Willardson *et al.*, 1994 ; Bouarfa *et al.*, 2020).

Il y a deux lignes de pensée concernant le potentiel de l'irrigation localisée quant à l'économie des ressources en eau. La première argumentation est que l'adoption des technologies d'économie d'eau a comme conséquence la conservation nette de l'eau, allégeant de ce fait les problèmes concernant la pénurie de la ressource. L'économie de l'eau est atteinte par la réduction substantielle des pertes dues à l'évaporation et aux systèmes inefficients de transport et de distribution de l'eau sur le champ. Par exemple, selon plusieurs travaux de terrain, les pertes en eau peuvent être réduites de 50% à 100% par la technique d'irrigation localisée. En effet, il s'agit de l'un des arguments avancés par le cadre technique pour s'engager dans un processus de vulgarisation massive de ces technologies. Cependant, le raisonnement des exploitants pour adopter ces technologies peut être différent des objectifs de politique de l'État. Les agriculteurs peuvent donner plus de poids à d'autres attributs des technologies d'irrigation localisée telles que des améliorations de rendement, la réduction des besoins en main d'œuvre, l'amélioration de la qualité des produits, etc. dans leurs décisions d'adoption.

La deuxième ligne de pensée est que, quoique les technologies d'économie d'eau (irrigation localisée) puissent avoir comme conséquence la conservation de l'eau au niveau de parcelle, cela peut ne pas se traduire en une conservation nette de l'eau à une agrégation de niveau plus élevé telle que la ligne de partage des eaux ou la nappe (Molden *et al.*, 2003). Selon cette pensée, l'économie nette de l'eau pourrait être seulement modeste si le phénomène d'infiltration, qui va recharger la nappe d'eau souterraine, est considéré comme utile. Ainsi l'adoption des technologies d'irrigation localisée peut automatiquement ne pas permettre une conservation, du volume épargné, au niveau de la nappe à moins que la mise en place d'un cadre institutionnel et des instruments de politique qui permettent la distribution ou l'attribution équitable de l'eau conservée. Certains chercheurs arguent que les technologies d'irrigation plus efficaces ne permettent pas toujours d'économiser l'eau (Peterson & Ding, 2005 ; Caswell & Zilberman, 1986).

La question de savoir si l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau entraîne une augmentation ou une diminution de l'utilisation globale de l'eau dépend en partie de la taille des

terres irriguées étendues, toutes choses étant égales par ailleurs (Peterson & Ding, 2005). Si l'irrigation efficiente pour l'eau encourage une augmentation significative de la superficie d'irrigation en raison du moindre coût de l'utilisation efficace de l'eau, l'utilisation totale de l'eau pourrait en fait augmenter.

Il y a beaucoup de travaux montrant que même quand on économise de l'eau à la parcelle, on augmente généralement la demande en eau à d'autres échelles, par exemple à l'échelle de l'exploitation agricole ou de la région. Tout simplement, l'irrigation localisée incite souvent l'agriculteur à étendre la superficie irriguée ou à mettre en place des cultures plus exigeantes en eau. C'est un débat à l'échelle internationale sur les *rebound effects* (faisant référence au paradoxe de Jevons), ce qui veut dire qu'en mettant en place une technique plus efficiente, on augmente involontairement, et contre les attentes, la consommation de la matière première (dans notre cas l'eau). Ceci est lié au fait qu'il n'y a aucun contrat entre l'État et les agriculteurs sur la mise en place de l'irrigation localisée. On subventionne le matériel comme si le fait de l'installer suffit – comme une baguette magique – de régler le problème. Aucun contrat ou accompagnement par la suite, par exemple sur l'extension de la superficie irriguée. Au contraire l'État est souvent plus intéressé par l'augmentation de la production agricole que par l'économie d'eau, aux dépens des nappes souterraines en général, surtout en Algérie où près de 90% des superficies irriguées dépendent des eaux souterraines¹⁵.

Même en maintenant les superficies irriguées constantes, Caswell & Zilberman (1986) montrent qu'en passant de l'irrigation traditionnelle à l'irrigation par aspersion ou à l'irrigation goutte à goutte, l'utilisation d'eau au niveau du champ et le rendement des cultures augmentent si l'élasticité du produit marginal de l'eau (PEM) est inférieure à 1 et que le puits est très profond. Cependant, si le rendement de la culture est maintenu constant, quelle que soit la valeur de l'EMP ou la profondeur du puits, l'économie d'eau se produit lorsque l'on passe de l'irrigation traditionnelle à l'irrigation par aspersion ou à l'irrigation goutte à goutte, tous les autres facteurs étant identiques.

D'autres chercheurs pensent que l'eau perdue par les technologies à faible efficacité s'écoulera de nouveau dans les aquifères peu profonds et suggèrent que les véritables économies d'eau découlant de la mise en œuvre de technologies plus efficaces proviennent uniquement de la réduction des pertes par évapotranspiration, qui n'est peut-être pas grand-chose (Kendy *et al.*, 2003).

¹⁵ Voir deux articles intéressants sur la question en Inde (Batchelor *et al.*, 2014) et aux États Unis (Ward & Pulido, 2008).

Toutefois, il y a des régions dans le monde où les nappes phréatiques sont profondes, par exemple les deux provinces en Chine, la Mongolie intérieure et le Henan, le reflux est presque impossible parce que la plupart des terres irriguées sont bien au-dessus de la nappe phréatique (Wang *et al.*, 2005). De plus, si l'eau est pompée d'un aquifère profond, le taux de recharge de l'eau est très lent. Comme il faut beaucoup de temps pour que l'eau s'écoule dans l'aquifère profond, la réduction de la perte d'évapotranspiration est plus importante dans les régions sèches, chaudes et venteuses du bassin du fleuve jaune en Chine (Wang *et al.*, 2005).

En Chine, les études quantitatives des économies d'eau d'irrigation sur l'ensemble d'un bassin hydrographique sont limitées (Yang *et al.*, 2003). En utilisant des données provenant de plusieurs sites expérimentaux dans le nord de la Chine, Pereira *et al.* (2000) ont montré que l'utilisation de technologies d'irrigation plus efficaces sur le plan technique permettra d'économiser jusqu'à 30% de l'utilisation actuelle de l'eau par bassin hydrographique, si les hectares irrigués et le rendement restent constants.

Le gestionnaire doit tenir compte du fait qu'une économie d'eau effective à une échelle peut avoir un effet nul à une autre échelle. Par exemple, la micro-irrigation permettant d'utiliser moins d'eau à l'hectare irrigué peut entraîner une extension de la surface irriguée, pour le goutte-à-goutte. Cette économie d'eau peut être compensée par une augmentation de la surface irriguée. Les technologies efficaces peuvent ne pas garantir la protection de la ressource s'il n'y a pas de régulation quantitative, car les agriculteurs continuent à étendre l'irrigation tant qu'elle est rentable (Nagaraj *et al.*, 2000).

Les processus d'intensification au niveau de la parcelle, les changements d'assolement induits, et les phénomènes d'expansion des superficies irriguées associés à la reconversion de l'irrigation traditionnelle en goutte-à-goutte vont tous dans le sens d'une augmentation des quantités d'eau consommée par l'irrigation (Molle & Tanouti, 2017).

Les résultats de la revue de la littérature empirique et théorique suggèrent que lorsque les systèmes traditionnels de surface (gravitaire) sont remplacés par l'irrigation par aspersion et le goutte-à-goutte, l'utilisation de l'eau est réduite dans un nombre significatif d'études, entre autres dans : Jackson *et al.*, 2010 ; López-Gunn *et al.*, 2012 ; García-Mollá *et al.*, 2013 ; Soto-García *et al.*, 2013 ; Graveline *et al.*, 2013 ; Heumesser *et al.*, 2012 ; Törnqvist & Jarsjö, 2012 ; Peterson & Ding 2005).

4. Conclusion

Les technologies d'irrigation plus efficaces ont été longtemps considérées comme une solution efficace pour réduire l'utilisation de l'eau d'irrigation et atténuer les pénuries d'eau. Toutefois, les constats de plus en plus nombreux d'une pénurie d'eau plus grave et l'application accrue de technologies permettant d'économiser l'eau dans le monde ont rendu indispensable une réévaluation de l'économie de l'eau en agriculture. Récemment, plusieurs études ont souligné que le passage à une technologie d'irrigation plus efficace ne réduit pas nécessairement l'utilisation globale de l'eau et que le fait de subventionner ce changement peut accroître l'utilisation de l'eau. Bien qu'il s'agisse de politiques publiques bien intentionnées pour la gestion de l'eau, les politiques qui encouragent l'adoption d'une technologie d'irrigation plus efficace peuvent ne pas avoir l'effet escompté. Ainsi, les agriculteurs peuvent ajuster leur comportement en réponse à une augmentation de l'efficacité de l'irrigation, par exemple en passant à des cultures plus rentables et plus consommatrices d'eau, ou en irriguant des terres auparavant non irriguées, ce qui entraîne une augmentation plutôt qu'une diminution de la consommation d'eau. Cette revue fournit des preuves essentielles du paradoxe de l'efficacité de l'irrigation et aide à reconsidérer les technologies économes en eau et leurs impacts sur les ressources en eau. Par conséquent, lors de la conception de politiques de gestion durable de l'utilisation des eaux agricoles, les décideurs politiques doivent tenir compte de toutes les réponses comportementales possibles à leur politique, y compris les conséquences perverses involontaires qui peuvent survenir.

CHAPITRE 3 : THÉORIE DE LA DIFFUSION ET DE L'ADOPTION DES TECHNOLOGIES DANS L'AGRICULTURE

La problématique de l'adoption de la technologie a fait l'objet d'un nombre très important de recherches. Dans la littérature, plusieurs théories et modèles ont tenté d'expliquer, de prédire ce phénomène. Ce chapitre présente une revue de littérature sur la théorie de l'adoption et la diffusion.

On observe un intérêt croissant des pouvoirs publics pour la promotion des innovations technologiques qui accroissent la productivité agricole. Cependant, beaucoup d'avancées technologiques diffusées dans le secteur agricole n'ont pas toujours connu le succès escompté auprès des agriculteurs, certaines n'étant adoptées que par une partie des agriculteurs, d'autres faisant l'objet de rejet après adoption. Dans un tel contexte, il importe de revisiter les processus théoriques qui conduisent à la diffusion et à l'adoption de l'innovation technologique dans le secteur agricole.

Depuis le début des recherches sur l'adoption des innovations, les différents chercheurs se sont fondés sur des approches qui ont la même ambition : expliquer l'adoption des innovations. La théorie de diffusion des innovations s'intéresse à l'étude de la diffusion des innovations dans les différents types d'organisations. Elle vise à comprendre le processus de diffusion des innovations afin d'identifier un certain nombre de facteurs qui influencent leur adoption et diffusion. Cette théorie a fourni les premiers développements sur les concepts de base et a construit un corpus empirique riche sur les déterminants de l'adoption, elle a ainsi constitué une référence pour le développement du courant de recherche sur la diffusion des innovations. Ce dernier vise de même à étudier le taux de diffusion des innovations agricoles et à identifier les facteurs qui influencent l'adoption et l'implantation des innovations dans ce domaine.

La première section s'intéresse à la théorie de l'adoption et la diffusion des innovations en général, tandis que la deuxième s'intéresse plutôt aux théories émises pour l'adoption et la diffusion des technologies dans l'agriculture. La dernière section est consacrée à la présentation de ces théories mais pour les technologies d'irrigation en particulier.

1. Théorie de l'adoption et la diffusion des innovations

La compréhension du processus d'adoption des technologies et la vitesse de leur diffusion influencent l'efficacité de la conception des programmes de recherche et de vulgarisation. Les

objectifs de cette section sont de définir les concepts de base utilisés dans l'analyse de l'adoption et de la diffusion, de passer en revue les études théoriques et de fournir un cadre conceptuel et théorique pour les aspects méthodologiques et empiriques ultérieurs.

1.1 Concepts et fondements théoriques des analyses d'adoption et de diffusion

Une première tâche consiste à définir les principaux concepts économiques. Il est utile de distinguer le concept de technologie de celui de technique, le changement de technologie de celui de changement technique, la substitution de facteurs de celle de changement technique, le changement technique incorporé de celui désincarné.

Technologie, technique, et changement technologique

Pour commencer, différents auteurs définissent le terme « technologie » de diverses manières. Rogers (2003) utilise les mots « technologie » et « innovation » comme synonymes et définit la technologie comme la conception d'une action instrumentale qui réduit l'incertitude dans la relation de cause à effet impliquée dans la réalisation d'un résultat souhaité.

Les économistes définissent généralement la technologie comme un stock de techniques disponibles ou état des connaissances concernant la relation entre les inputs et outputs physiques donnés ; alors que le changement technologique est une amélioration de l'état des connaissances telle que les possibilités de production sont améliorées (Colman & Young, 1989). En d'autres termes, par le biais du changement technologique, la fonction de production se déplacera sur une certaine plage, de sorte que *i*) une plus grande quantité de production peut être réalisée avec la même quantité d'intrants, ou *ii*) la même production peut être réalisée avec une plus petite quantité d'intrants.

Ellis (1993) donne un contenu encore plus explicite aux différents concepts liés aux changements techniques (en agriculture) et appréhende la technologie comme l'ensemble des méthodes de production qui ont été développées ou qui pourraient être développées dans l'état actuel des connaissances scientifiques existantes. Le changement technologique selon lui se réfère aux avancées des connaissances scientifiques à partir desquelles de nouvelles méthodes de production peuvent être développées. Une technique est une méthode de production unique, c'est-à-dire une combinaison précise des facteurs de production pour produire un niveau bien établi de produit donné. Une technique peut être représentée par un point unique sur une courbe isoquant ou iso-produit (Ellis, 1993).

La théorie des innovations induites

La théorie de l'innovation induite a été pratiquement fondée sur l'expérience du développement agricole des États-Unis et du Japon par Hayami & Ruttan (1971). Cette théorie stipule que le processus d'innovation peut être guidé par la rareté relative des ressources (Hayami & Ruttan, 1971 ; Ruttan, 1997 ; Acemoglu, 2002). Cependant, l'innovation induite fait référence au processus par lequel les sociétés développent des technologies qui facilitent la substitution de facteurs de production relativement abondants (donc, bon marché) à des facteurs relativement rares (et donc coûteux).

Le processus de diffusion-adoption

Selon Rogers (2003), les attributs de l'innovation font référence aux perceptions individuelles, à savoir l'avantage relatif (la perception des avantages liés à l'adoption), la compatibilité (faire preuve de compatibilité par rapport aux valeurs existantes), la complexité (être simple d'utilisation et facile à expérimenter), la possibilité d'essai, et enfin l'observabilité (la visibilité rapide des résultats).

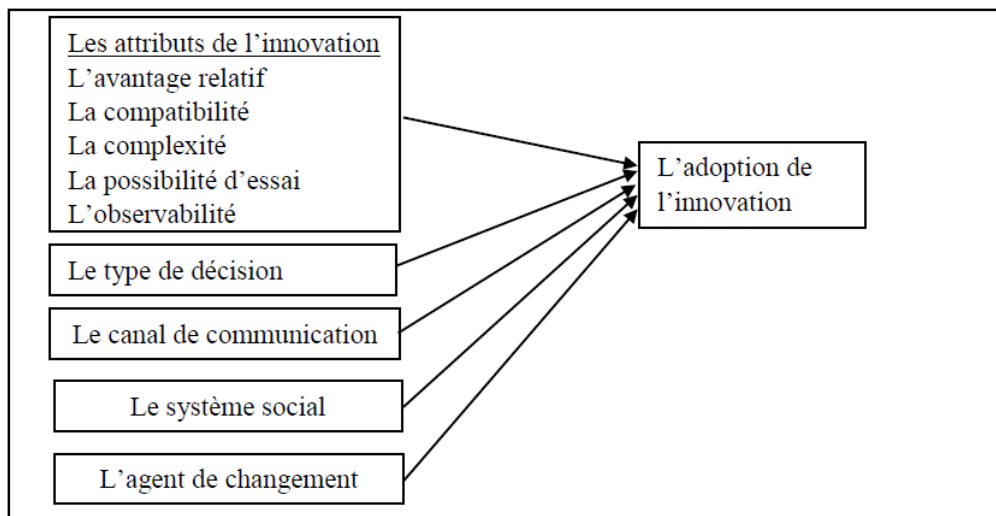


Figure 20. Théorie d'adoption et de diffusion d'Innovation (Rogers 2003)

Rogers procède aussi à l'analyse des comportements de ces différents types d'adoptants. Il développa un modèle théorique de diffusion des innovations au sein des organisations. Il importe à ce moment de préciser que Rogers ne fait pas la distinction entre les notions de technologie et d'innovation. Il semble les utiliser de manière interchangeable.

Ce modèle définit la diffusion comme un processus par lequel l'innovation est communiquée à travers certains canaux, au fil du temps, aux membres du système social (Rogers, 2003). Selon cette conception, l'innovation, les canaux de communication, le temps et enfin le sys-

tème social représentent les quatre éléments clés composant ce processus de diffusion de l'innovation.

L'innovation : c'est une idée, une pratique, ou un projet perçu comme nouveau par l'unité d'adoption (Rogers, 2003). Cette idée, pratique ou projet peut exister ailleurs depuis longtemps, mais demeure une innovation pour l'unité d'adoption si les membres de cette unité la perçoivent comme nouvelle. Le caractère de nouveauté est évalué par les membres de l'unité d'adoption en regard du nouveau savoir encasté (*embedded*) dans cette innovation. L'adoption ou non de cette innovation dépend aussi du degré d'incertitude qui l'accompagne à l'intérieur de l'organisation, tant au niveau individuel qu'au niveau du système social où elle gravite (Rogers, 2003).

Les canaux de communication : la communication désigne un processus avec lequel les participants créent et partagent les informations dans le but d'une compréhension mutuelle (Rogers, 2003). L'utilité principale de ces canaux de communication est d'assurer la transmission du message de la source (individu ou institution) vers le récepteur. Donc, selon Rogers, la diffusion représente une forme de communication bien spécifique reliant, par l'innovation, deux individus ou unités d'adoption.

Le temps : il s'agit d'un facteur généralement ignoré dans les recherches antérieures, et cela malgré le fait qu'il joue un rôle important lors du processus d'adoption.

Le système social : Rogers (2003) le définit comme un ensemble d'unités en interaction, engagées dans un processus de résolution d'un problème et poursuivant un but en commun. Pour bien expliquer le phénomène d'adoption des innovations au sein des différentes organisations, Rogers propose un processus qu'il qualifie de processus décision/innovation.

La diffusion des innovations

L'hypothèse sous-jacente du modèle innovation-diffusion est que la technologie est techniquement et culturellement appropriée mais que le problème de l'adoption est celui de l'information asymétrique et du coût de recherche très élevé (Feder & Slade, 1984 ; Shampine, 1998 ; Smale *et al.*, 1994).

Arvanitis *et al.* (1986) considèrent toutefois que l'adoption est davantage un processus tourbillonnaire que linéaire. En fait, ils considèrent le processus décisionnel comme un processus itératif où les actions et décisions se présentent de façon désordonnée.

Le modèle logistique de base

La fonction logistique a été spécifiée pour modéliser le processus de diffusion comme suit :

$$\frac{\partial N_t}{\partial t} = g_t(N^m - N_t)$$

Où $\frac{\partial N_t}{\partial t}$ est le taux de variation de l'adoption au cours du temps t et g_t est le coefficient de diffusion, qui mesure la rapidité de l'adoption. N_t est la fréquence cumulée des adoptants au temps t et N^m est le nombre maximum d'adoptants dans un système social au cours du temps. Le nombre d'adoptants potentiels qui ne sont pas adhérents au moment t est $N^m - N_t$.

Griliches (1957) a utilisé le modèle ci-dessus pour estimer la diffusion du maïs hybride aux États-Unis. Le pourcentage de la superficie plantée en semences hybrides a été estimé à l'aide du plafond, de la variable temps et des coefficients du taux de croissance. Cette étude a également utilisé la fonction logistique pour estimer la relation entre le taux d'adoption et les variables de la profitabilité. Les différences de profitabilité de la technologie dans différentes régions ou districts ont entraîné des taux d'adoption différents. L'étude a montré que le taux de diffusion des semences hybrides dans différentes zones agricoles était positivement lié à l'augmentation du profit réalisé par les agriculteurs introduisant la nouvelle semence. Cependant, l'étude n'a pas révélé pourquoi les producteurs n'ont pas adopté la nouvelle technologie immédiatement, même si elle était profitable. Les études antérieures sur le sentier d'adoption d'une technologie ont mesuré la diffusion en termes de distribution des adoptants (fréquence) dans le temps (Rundquist, 1984 ; Thirtle & Ruttan, 1987). Lorsque la fréquence cumulative d'adoption est tracée en fonction du temps, le résultat se rapproche d'une courbe de diffusion en forme de S (Sigmoide).

Bien que le sentier de diffusion de la plupart des innovations puisse être dérivé en termes d'une courbe générale en forme de S , la forme exacte de chaque courbe, y compris la pente, peut varier en fonction des modèles analytiques utilisés pour décrire le processus d'adoption-diffusion (Sahal, 1981). Par exemple, la fonction logistique, la fonction de Gompertz, la fonction exponentielle modifiée, la fonction de distribution normale cumulative et la fonction de distribution log-normale cumulative fournissent toutes des courbes en forme de S . La fonction de distribution logistique, qui est la plus simple à estimer et à interpréter, est plus largement utilisée dans la plupart des études d'adoption et de diffusion.

Les études de Gore et Lavaraj (1987), Doessel & Strong (1991) et Knudson (1991) ont remis en question certaines des hypothèses du modèle logistique de base. Ces études ont tenté

d'améliorer la pertinence de la fonction logistique en assouplissant certaines de ses hypothèses contraignantes. Par exemple, Doessel & Strong (1991) ont assoupli l'hypothèse d'une population constante et incorporé la variabilité de la population (population inconnue) pour étudier la diffusion de nouveaux médicaments pharmaceutiques. Ils ont supposé que l'interception et le taux de diffusion ne sont pas affectés par la taille de la population. Le modèle logistique modifié a produit des estimations valides si les membres d'une population, quelle que soit sa taille, ont les mêmes caractéristiques comportementales.

Dans l'étude de Knudson (1991) sur les variétés de blé semi-nain aux États-Unis, l'hypothèse d'un plafond d'adoption fixe du modèle logistique a été assouplie pour tenir compte de la possibilité de non-adoption et de changements dans la technologie complémentaire. L'étude de Knudson (1991) a appliqué le modèle logistique modifié aux variétés de blé semi-nain et a montré que le modèle logistique modifié s'adaptait mieux aux données que le modèle logistique standard qui est généralement basé sur l'hypothèse de plafonds constants. Une autre étude de Gore et Lavaraj (1987) a également assoupli l'hypothèse d'une population homogène et a estimé les modèles logistiques standard et modifiés pour décrire la diffusion de chèvres croisées dans une population spatialement hétérogène (à l'intérieur et à l'extérieur de la ville) dans un village de Pune, dans l'ouest de l'Inde. L'étude a révélé que la diffusion dans un village à l'intérieur de la ville suit le modèle logistique tandis que la diffusion dans un village à l'extérieur de la ville est fonction des informations reçues des adoptants dans le village. Le modèle logistique modifié a donné lieu à une amélioration marginale par rapport au modèle logistique standard.

1.2. Les modèles d'analyse de l'adoption des innovations

En général, on considère que les décisions des agents dans une période de temps et un espace donné découlent de la maximisation de l'utilité ou du profit escompté sous réserve des contraintes de ressources. Par conséquent, l'adoption dépend du choix discret des agriculteurs d'une nouvelle technologie à partir d'un ensemble incluant la technologie traditionnelle et un ensemble de composants de la nouvelle technologie (Feder *et al.*, 1985). Pour répondre à la question de savoir ce qui détermine l'adoption ou non d'une technologie particulière et l'intensité de l'adoption, les études sur l'adoption des innovations ont utilisé des modèles statiques ou dynamiques.

Les modèles statiques d'adoption

Un modèle statique se réfère aux décisions des agents d'adopter une technologie améliorée à un endroit et une période de temps spécifiques. Ce modèle tente de répondre à la question de savoir ce qui détermine l'adoption ou non d'une technologie particulière et le sentier d'adoption à un moment donné.

La majorité des études sur l'adoption continuent de s'inscrire dans le cadre binaire statique des modèles logit ou probit (Jansen, 1992 ; Shields et al., 1993 ; Polsen et Spencer, 1991). Dans ces modèles, la décision d'adoption est dichotomique (adopter ou ne pas adopter) où une relation fonctionnelle entre la probabilité d'adoption et un ensemble de variables explicatives est estimé économétriquement en utilisant la distribution logistique pour les procédures Logit et la distribution normale pour les procédures Probit. Les méthodes Logit/Probit étudient les effets des régresseurs sur le choix d'utiliser ou de ne pas utiliser, mais elles ne mesurent pas le degré ou l'intensité de l'adoption (Feder *et al.*, 1985). Par exemple, si un modèle Probit est utilisé pour analyser les données sur l'adoption des engrais, un agriculteur qui adopte le niveau d'engrais recommandé est traité de la même manière qu'un agriculteur qui applique un dixième de la recommandation (Ghosh, 1991).

Toutefois, les procédures économétriques statiques alternatives telles que le Tobit (Tobin, 1958) sont utilisées pour analyser les décisions d'adoption quantitative lorsque des informations sur l'intensité de l'adoption sont disponibles (par exemple, des données sur le pourcentage de la surface plantée en variétés améliorées ou irriguée sous les technologies d'irrigation efficaces, la quantité d'engrais/herbicide appliquée, etc.).

Cependant, lorsqu'on travaille avec des variables dépendantes mesurées en continu, comme la quantité ou la surface, certains points de données auront une valeur nulle (c'est-à-dire pour les non-utilisateurs). Dans ce cas, la variable dépendante est censurée, c'est-à-dire que l'information manque pour une certaine partie de l'échantillon. Si l'information sur la variable dépendante n'est disponible que si la variable indépendante est observable, la variable dépendante est décrite comme tronquée (Kennedy, 2008). Le modèle Tobit procure des coefficients qui peuvent être désagrégés davantage pour déterminer l'effet d'un changement de la $i^{\text{ème}}$ variable sur les changements dans la probabilité d'adopter la nouvelle technologie et l'intensité prévue de l'utilisation de la technologie. Cependant, une étude de Dong et Saha (1998) a montré qu'un modèle Tobit impose des restrictions selon lesquelles les variables et les coefficients déterminant les décisions d'adopter ou non et le degré d'adoption sont identiques.

Les alternatives pour analyser les décisions d'adoption des agents incluent l'utilisation de modèles à double censure qui prennent en compte les observations nulles (Heckman, 1976). Le choix d'un modèle est important car il influence les résultats empiriques obtenus (Jones & Yen, 2000). Un traitement inapproprié des non-utilisateurs peut également entraîner des estimations biaisées et incohérentes (Amemiya, 1984). Par exemple, le modèle Tobit suppose que les décisions concernant l'adoption et l'intensité d'utilisation sont liées. Cependant, les études de Cragg (1971) sur la demande de biens durables et de Coady (1995) sur l'utilisation des engrais indiquent que ces décisions peuvent ne pas être intimement liées. Le modèle de Heckman (1976) est le plus restrictif des modèles à double censure disponibles, car il suppose qu'aucun des zéro pour les non-adoptants n'est généré par la décision d'adoption (c'est-à-dire la dominance de la première censure) de sorte que la censure Tobit standard n'est pas pertinente (Jones, 1989).

Une autre étude de Saha *et al.* (1994) a également modélisé l'adoption comme un cadre mixte dichotomique et continu avec une sélection d'échantillon non aléatoire, où l'intensité d'adoption des producteurs était conditionnelle à leur connaissance de la nouvelle technologie. Ils ont montré que les choix des producteurs sont significativement affectés par leur exposition aux informations sur la nouvelle technologie. Le modèle est composé de trois équations avec des erreurs corrélées. Les deux premières sont l'équation de sélection de l'échantillon et l'équation d'adoption ou de non-adoption, qui ont toutes deux des variables dépendantes dichotomiques. La troisième équation explique l'intensité d'adoption, une variable continue. Avec ce modèle, leur étude a montré que l'inclusion de la sélection de l'échantillon et de l'intensité d'adoption dans la spécification du modèle donne des résultats et des inférences sensiblement différentes par rapport à la spécification dichotomique traditionnelle.

L'étude de Dong et Saha (1998) propose un cadre plus général d'un modèle à double limite censuré qui incorpore les modèles Tobit et probit comme cas particuliers testables. L'étude s'écarte des études existantes sur l'adoption en ce sens que l'adoption réelle se produit lorsque l'innovation est perçue comme plus rentable, en moyenne, que la technologie traditionnelle (Feder *et al.*, 1985). L'étude de Dong et Saha (1998) soutient que l'adoption peut ne pas avoir lieu même lorsque la nouvelle technologie est censée être plus rentable.

Les résultats de ces études sont souvent contradictoires quant à l'importance et l'influence de certaines variables (Ghadim & Pannell, 1999). Une des limites du modèle statique est qu'il ne tient pas compte du temps dans le processus d'adoption ni de la capacité des agriculteurs à

apprendre pour améliorer leur efficacité technique. Ces faiblesses sont prises en compte dans les modèles d'adoption dynamique.

Modèles dynamiques d'adoption

Les modèles d'adoption dynamique permettent de modifier les décisions d'adoption des agents à mesure que ceux-ci acquièrent des compétences et la maîtrise de la technologie introduite d'une année sur l'autre. Dans un modèle dynamique, au début de chaque période, le type de technologie que l'agent utilise au cours de cette période, son allocation des ressources et l'utilisation d'autres variables sont déterminées. À la fin de chaque période, les rendements réels, les revenus et les profits/pertes réalisés, les informations et les expériences accumulées pendant la période par l'agent, ainsi que les informations provenant d'autres agents sont utilisées pour actualiser la prise de décision dans la période suivante (Ghadim & Pannell, 1999).

Quelques études ont utilisé des modèles dynamiques pour expliquer les décisions d'adoption. O'Mara (1971) a été parmi les premiers à utiliser une approche bayésienne pour expliquer l'évolution de la perception d'une nouvelle technologie par les décideurs. Linder *et al.* (1979), Stoneman (1980), Linder & Fischer (1981) ont suivi les travaux d'O'Mara. Le thème commun de ces études est que le producteur recueille des informations sur les bénéfices réels tirés par d'autres producteurs de l'innovation et met à jour ses perceptions antérieures sur le rendement escompté de la nouvelle technologie.

Les études de Besley & Case (1993, 1994), et de Foster & Rosenzweig (1995) ont établi l'importance de l'apprentissage dans le processus d'adoption dynamique. Par exemple, l'étude de Besley & Case (1993) a modélisé les agriculteurs comme étant incertains de la rentabilité des nouvelles semences par rapport aux anciennes. Ladite étude a simulé le sous-jeu du nombre parfait de parcelles à planter pour la nouvelle semence, étant donné que les agriculteurs apprennent la profitabilité des nouvelles semences par l'expérience, et a comparé cela avec le modèle trouvé dans leurs données. En revanche, Foster & Rosenzweig (1995) ont modélisé l'utilisation optimale des intrants comme étant inconnue et stochastique. Les agriculteurs apprennent la combinaison optimale à travers leur expérience et celle de leurs voisins.

Une étude réalisée par Carletto *et al.* (1996) a modélisé l'adoption et l'abandon comme la combinaison de deux processus qui se déroulent dans le temps, mais dont les origines sont différentes. Le premier est le temps historique où les conditions du marché et institutionnelles étaient très favorables à l'adoption. L'autre est le temps humain qui est composé de deux forces opposées (positive et négative). Une force positive pour l'adoption et la rétention est

l'accumulation de connaissances associée au passage du temps avant l'adoption (apprendre des autres) et aux années de production après l'adoption d'une nouvelle technologie (apprendre par la pratique). Une force négative est associée au passage du temps après l'adoption, causée par la perte de rendement. Cette étude a modélisé l'adoption non pas comme un choix comportemental unique dans des intervalles de temps spécifiés, mais comme des processus de choix du moment de l'adoption et du moment de l'abandon en utilisant le modèle de durée de Weibull basé sur la forme fonctionnelle semi-log. Une autre étude de Cameron (1999) a analysé le processus d'adoption dynamique de l'apprentissage en utilisant des données de panel dans l'adoption d'une nouvelle variété à haut rendement. Cette étude a utilisé le différentiel de profit moyen entre la nouvelle et l'ancienne semence qui a été expérimentée par l'agriculteur comme terme d'apprentissage dynamique.

2. Théorie de l'adoption et la diffusion des technologies en agriculture

Récemment, l'hypothèse de l'innovation induite a été utilisée pour expliquer le processus complexe de changement technologique et institutionnel, qui représente une perspective majeure du développement agricole international (Koppel, 1995). L'idée fondamentale de cette hypothèse est que l'investissement dans l'innovation d'une nouvelle technologie est la fonction de la variation (ou de la différence) de la dotation en ressources et du prix des ressources qui entrent dans la fonction de production agricole. Ceci a donné naissance à un cadre conceptuel qui aborde les questions plus larges du comment les agriculteurs et les institutions qui les soutiennent déterminent les priorités de la production agricole.

La théorie économique de l'innovation induite en agriculture définit un lien entre les choix technologiques des agriculteurs et les contraintes de leur environnement. Elle établit que la dégradation de l'environnement peut se corriger en elle-même, la rareté des ressources ou l'accroissement des coûts privés ou sociaux générés par la dégradation induisant le développement et l'utilisation des nouvelles pratiques agricoles et de gestion durable des ressources (Zeller *et al.*, 1998, *cité in* Namegabe, 2006). Théorie bâtie à partir des constats empiriques de Ruttan et Hayami (1971).

Le concept de l'innovation induite identifie les innovations et progrès techniques comme résultat des inspirations des agents économiques face aux contraintes physiques qui se posent à l'agriculture. L'émergence des innovations est influencée par les conditions économiques et notamment la rareté des ressources ainsi que les opportunités économiques offertes. Ruttan & Hayami (1971) constatent que le mécanisme d'innovation constitue non seulement la réponse des firmes qui maximisent leur profit aux variations des prix du marché mais aussi celle des

institutions publiques et privées de recherche aux évolutions des dotations factorielles et du contexte économique (Mounier, 1992). Pour ces auteurs, la dotation en ressources, et tout particulièrement le rapport terre/homme, est la cause essentielle de la direction du changement technique en agriculture.

Cette théorie suggère que la recherche du profit incite les firmes non seulement à se situer sur la courbe d'efficacité mais aussi à s'impliquer dans l'élévation du plafond technologique à travers la recherche et l'adoption des innovations afin de dépasser les limites imposées par le plein emploi des ressources. Les agriculteurs sont donc caractérisés par une rationalité économique comme tout *homo oeconomicus*.

Plusieurs revues de la littérature confirment la théorie de l'innovation induite ainsi que ses liens avec la dynamique des systèmes agraires. Ruthenberg (1980), à travers son analyse des systèmes agraires tropicaux, dénombre de multiples innovations agricoles associées à la croissance de la population, à sa densité et l'accroissement de l'intégration des marchés dans les différentes zones agroécologiques. Il explique le changement des techniques observées pour les cultures et la gestion des sols par l'augmentation de la rareté des terres et la dégradation de la fertilité de celles-ci.

Sunding & Zilberman (2001) identifient par une approche historique l'évolution des innovations technologiques dans leurs liens avec les systèmes agraires. La pression démographique sur les ressources détermine historiquement l'évolution des systèmes agraires, le processus d'intensification, dont les caractéristiques essentielles sont la rotation des cultures, la pratique de la fertilisation, l'adoption des variétés à haut rendement et des pesticides, entretient des liens étroits avec la densité démographique. Les travaux de Boserup (1965) portant sur les causes de la faible adoption des innovations agricoles dans les pays en développement définissent la densité de la population et l'accès aux marchés, entre autres, comme les facteurs déterminants de l'évolution des systèmes de production et, par conséquent, de l'adoption des innovations agricoles. Tant que certaines conditions relatives à ces facteurs n'ont pas changé le système risque de demeurer statique.

Boserup (1965) passe en revue différents systèmes de production agricole (cueillette, agriculture itinérante, jachère de savane, etc.) à travers les siècles et les continents et montre que l'on peut leur associer des densités de population différentes. Elle soutient l'hypothèse que c'est la croissance démographique qui est le moteur de l'adoption de nouvelles techniques agricoles. Sans cette pression démographique qui pousse à l'innovation pour nourrir davantage de personnes, les paysans se contentent de techniques éprouvées.

Le schéma économique par lequel la dégradation de l'environnement physique conduit à la mise en place d'un développement durable à travers le choix des innovations agricoles est établi par le biais de la quête de la rentabilité des activités des agriculteurs. Avec l'augmentation de la population ou la pression sur le marché pour une ressource naturelle donnée, la dégradation s'accroît et atteint un niveau maximum sur le plan économique après un certain temps. Comme la valeur (ou rareté) des ressources augmente, la rentabilité pour les investissements techniques, institutionnels ou autres investissements de base s'accroît à son tour. Après un certain temps, les bénéfices des investissements des ressources deviennent supérieurs aux coûts générés par ceux-ci et la maintenance ou la réhabilitation des ressources est alors relancée. Des nouvelles améliorations dans la productivité des ressources augmentent encore leur valeur économique (à travers par exemple des variétés à rendement élevé), et rendent les investissements encore plus intéressants. La caractéristique majeure de ce cadre conceptuel est que la dégradation peut être économiquement rationnelle jusqu'à un certain niveau, et dans de nombreux cas, être réversible, grâce à des changements appropriés en termes de technologie, gestion et arrangements institutionnels (Zeller *et al.*, 1998, *cité in* Namegabe, 2006).

La complexité du processus d'adoption des innovations agricoles exige de compléter cette analyse du rôle de l'environnement de l'agriculteur par l'étude d'autres variables pouvant affecter le choix technologique des agriculteurs et de présenter la dynamique agrégée du phénomène dans le temps à travers la théorie de la diffusion. Ce modèle prétend prédire la direction et le taux du changement technique à l'échelle internationale. En effet, Hayami & Ruttan (1971) traitent le changement technique comme étant largement endogène au système économique. Le changement technique est considéré comme étant induit par des changements dans l'offre des facteurs et la demande des produits et par des changements institutionnels. La théorie de l'induction du changement technique insiste ainsi sur le fait que l'adoption technique est une question de continuité dans un sens spécifique qui est celui de l'efficacité économique à travers le biais approprié des facteurs.

Le fondement de base de ces principes de la théorie, c'est que la technologie dont les agriculteurs ont besoin est déterminée par les signaux du marché, reflet de la disponibilité relative des facteurs, ou, pour résumer les prix relatifs des facteurs aux choix auxquels ils font face. Ces signaux du marché déterminent la direction de l'adoption et de l'innovation technologiques par un processus de substitution entre facteurs de production potentiels, en entraînant l'utilisation particulière d'un facteur et l'économie d'un autre.

2.1. L'adoption en agriculture

L'histoire et l'économie de la diffusion et de l'adoption des technologies agricoles ont commencé avec l'étude pionnière de Griliches (1957). Le processus et les modèles d'adoption ont été étudiés par différents chercheurs, le plus populaire et le plus utilisé étant celui d'Everett Rogers (Sherry & Gibson 2002).

Selon Rogers (2003), c'est une décision de tirer pleinement parti d'une innovation considérée comme le meilleur moyen d'action disponible. Quant à Feder *et al.* (1985), ils définissent l'adoption finale à la ferme de façon plus précise, en ajoutant les notions de temps et d'accès à l'information, soit le degré d'utilisation d'une nouvelle technologie dans un équilibre à long terme alors que le paysan possède toutes les informations sur cette technologie et son potentiel. En s'appuyant sur d'autres auteurs, Parent (2013) définit l'adoption, de façon générale, comme un processus non linéaire et ajoute que certains facteurs ont un effet direct ou indirect [...] et tous les facteurs n'ont pas le même poids.

Il faut reconnaître que l'adoption est un processus qui n'a pas toujours une finalité clairement identifiable. Cependant, selon (Johns,217) la définition de critères pour distinguer l'adoption versus la non-adoption est centrale et essentielle dans une étude sur les facteurs d'adoption. Or, dans le cas des systèmes agro-forestiers, il est rare de constater une adoption finale identique d'un paysan à l'autre. D'abord parce que l'innovation est souvent « ré-inventée » d'une ferme à l'autre, puis parce que l'investissement en termes de gestion et d'entretien des systèmes peut varier grandement tout comme le niveau de connaissance face à l'innovation et la capacité d'en tirer profit. Cela dit, les approches concernant ce qui discrimine l'adoption ou non divergent selon les chercheurs.

Selon Rogers (2003), le processus décisionnel relatif à l'adoption d'une innovation est le processus par lequel un individu, ou toute autre unité d'analyse, passe d'une première connaissance de l'innovation, à la formation d'une attitude envers cette innovation, puis de la décision d'adopter ou de rejeter, à la mise en place de la nouvelle idée et, enfin, à la confirmation de cette décision.

Les technologies jouent un rôle important dans le développement agricole. L'adoption et la diffusion de la technologie sont deux concepts interdépendants qui décrivent la décision d'utiliser ou de ne pas utiliser et la diffusion d'une technologie donnée au sein des unités économiques au cours d'une période donnée. L'adoption de toute innovation n'est pas un processus en une seule étape, car il faut du temps pour que l'adoption soit complète. Les premiers adop-

tants peuvent continuer ou cesser d'utiliser la nouvelle technologie. La durée d'adoption d'une technologie varie selon les unités économiques, les régions et les attributs de la technologie elle-même. Par conséquent, une compréhension adéquate du processus d'adoption et de diffusion des technologies est nécessaire pour concevoir des programmes efficaces de recherche et de vulgarisation agricoles. Les sections suivantes définissent les concepts de base de l'adoption et de la diffusion des technologies et fournissent un contexte théorique aux processus d'adoption et de diffusion, y compris les hypothèses utilisées pour expliquer la courbe en S de la diffusion. Les étapes, approches et séquences de l'adoption des technologies agricoles, et les avantages de l'adoption des innovations sont également abordés dans cette section. L'adoption et la diffusion sont des concepts distincts mais interdépendants.

Rogers (2003) a proposé qu'une innovation est une idée, une pratique ou un objet perçu comme nouveau par un individu, un groupe ou une organisation. La diffusion est un processus de changement social dans lequel une innovation est communiquée au fil du temps par certains canaux (mass médias ou interpersonnels) parmi les membres d'un système social. La décision d'un individu d'adopter ou de rejeter une innovation est conceptualisée en plusieurs étapes. Il/elle commence par prendre conscience de l'existence d'une l'innovation, puis il adopte une attitude à son égard sur la base de sa perception de l'innovation (ses caractéristiques). L'individu décide ensuite de d'adopter ou de rejeter l'innovation, puis de la mettre en œuvre et, enfin, de confirmer sa décision, etc. Les caractéristiques perçues d'une innovation incluent notamment son avantage relatif, sa compatibilité, sa complexité, la possibilité de l'essayer et de l'observer (Rogers, 2003).

L'adoption volontaire d'une nouvelle technologie se réfère à l'intégration d'une technologie différente de celle qui était utilisée auparavant, ce qui suppose que l'adoptant se situe à un niveau d'utilité ou de bien-être économique plus élevé. Cette simple définition permet d'identifier deux éléments importants du processus d'adoption d'une technologie : celui de la disponibilité d'une technologie alternative viable à adopter, et celle qui consiste à s'assurer que la technologie adoptée répondra à une attente préétablie de bien-être économique.

Bien que la question de savoir si une meilleure technologie ou une meilleure technique donnée sera adoptée ou non peut dépendre de la perception de ses coûts marginaux et des bénéfices pour l'adoptant, le degré d'adoption de la technologie elle-même à long terme dépendra également sur une myriade de facteurs socio-économiques.

L'adoption est définie comme le degré d'utilisation d'une nouvelle technologie dans un équilibre à long terme quand un agriculteur dispose d'informations complètes sur la nouvelle tech-

nologie et son potentiel (Feder *et al.*, 1985). L'adoption au niveau de l'exploitation agricole décrit la prise de la décision de l'agriculteur d'appliquer une nouvelle technologie dans le processus de production. D'autre part, l'adoption agrégée est le processus par lequel une nouvelle technologie se répand ou se diffuse dans une région. C'est pourquoi il existe une distinction entre l'adoption au niveau de l'exploitation individuelle et l'adoption agrégée au sein d'une région donnée.

Dans les secteurs industriels où le progrès technologique et le changement technique sont rapides et volatils, il devient difficile d'atteindre un niveau d'équilibre en matière d'adoption à un moment donné. Toutefois, si le changement technologique se fait par phases, alors avant que la prochaine vague de nouvelles innovations n'arrive, les meilleures pratiques disponibles actuelles peuvent se diffuser et devenir la norme, donc à l'équilibre.

Selon Sunding & Zilberman (2001), la classification des innovations en fonction de leur forme est utile pour examiner les questions politiques et comprendre les forces qui soutiennent la génération et l'adoption des innovations. Les catégories de cette classification incluent les innovations mécaniques (tracteurs et les combinaisons), les innovations biologiques (nouvelles variétés de semences), les innovations chimiques (engrais et pesticides), les innovations agronomiques (nouvelles pratiques de management), les innovations biotechnologiques, et les innovations informationnelles qui reposent principalement sur les technologies informatiques. Chacune de ces catégories peut soulever des questions politiques différentes. Par exemple, les innovations mécaniques peuvent avoir des effets négatifs sur la main-d'œuvre. Les innovations chimiques et biotechnologiques sont associées à des problèmes d'acceptation par le public et à des préoccupations environnementales. Une autre catégorisation de l'innovation selon la forme distingue les innovations de procédé (par exemple, une manière de modifier un gène dans une plante) et les innovations de produit (par exemple, une nouvelle variété de semences).

Une innovation de procédé est un intrant dans un processus de production, tandis qu'une innovation de produit est un produit final destiné à la consommation. Les technologies agricoles examinées dans cette étude appartiennent à la première catégorie. Dans cette étude, les termes "innovation" et "technologie" sont utilisés de manière interchangeable. L'adoption et la diffusion sont des concepts distincts mais interdépendants.

L'adoption fait référence à la décision d'utiliser une nouvelle technologie, méthode, pratique, etc., par une entreprise, un agriculteur ou un consommateur.

Le concept de diffusion fait référence à la diffusion temporelle et spatiale de la nouvelle technologie au sein de différentes unités économiques - entreprises, agriculteurs et consommateurs. Ces deux concepts ont été définis par de nombreux chercheurs appartenant à différentes disciplines académiques.

Entre autres définitions, celle suggérée par Rogers (2003) a été utilisée dans plusieurs études sur l'adoption et la diffusion. Rogers (2003) a défini le comportement d'adoption agrégée (c'est-à-dire la diffusion) comme le processus par lequel une technologie est communiquée à travers certains canaux au fil du temps entre les membres d'un système social. Cette définition englobe au moins quatre éléments : (1) la technologie, qui représente la nouvelle idée, pratique ou objet qui sera diffusé, (2) les canaux de communication, qui représentent la manière dont l'information sur la technologie circule par les agents de changement (tels que les vulgarisateurs) ou des fournisseurs de technologie vers les utilisateurs finaux ou les adoptants, (3) le temps, qui représente la période durant laquelle un système social adopte une technologie, et (4) le système social, qui est composé d'individus, d'organisations ou d'entreprises et de leurs stratégies d'adoption (Knudson, 1991). Dans ce contexte d'étude, le système social est composé d'agriculteurs qui sont des adoptants potentiels de technologies. Rogers (2003) a défini l'adoption comme l'utilisation ou la non-utilisation d'une nouvelle technologie par un agriculteur à un moment donné. Cette définition peut être élargie à toute unité économique du système social.

Feder et al. (1985) ont proposé une définition qui distingue l'adoption individuelle (au niveau de l'exploitation agricole) et l'adoption agrégée (diffusion). Cette distinction est importante pour l'analyse théorique et empirique sur les deux niveaux du cadre économique. Ils définissent l'adoption individuelle au niveau de chaque exploitation agricole comme le degré d'utilisation d'une nouvelle technologie en équilibre à long terme lorsque l'agriculteur dispose d'informations complètes sur la nouvelle technologie et son potentiel. Cette définition correspond à celle de Schultz (1975) qui affirme que l'introduction de nouvelles technologies entraîne une période de déséquilibre où les ressources ne sont pas utilisées efficacement par l'exploitation agricole individuelle. Les nouveaux niveaux d'équilibre sont atteints grâce à un processus d'apprentissage et d'expérimentation.

L'adoption de technologies agricoles plus performantes est un moyen important de s'adapter au changement climatique, d'améliorer la productivité agricole et de faciliter le passage d'une agriculture de subsistance à une agriculture orientée vers le marché (de Janvry & Sadoulet 2002 ; Zilberman *et al.*, 2012). La théorie néoclassique suggérait que les agriculteurs adoptent

les nouvelles technologies si elles leur apportent des profits économiques nets. Cependant, il a été démontré que la décision des agriculteurs d'adopter une nouvelle technologie va au-delà de la théorie néoclassique.

De nouvelles recherches ont analysé les facteurs qui influencent l'adoption de nouvelles technologies dans le secteur agricole. Les premiers travaux sur l'adoption technologique en agriculture se sont focalisés sur le modèle d'adoption au fil du temps, ou de diffusion. Ces études ont généralement montré empiriquement que la courbe de diffusion est en forme de sigmoïde. Les chercheurs expliquaient habituellement le modèle en forme de S en fonction de la communication.

Mansfield (1961) a été le premier économiste à appliquer la théorie de la contagion aux innovations industrielles. Il a élaboré un cadre théorique rigoureux pour expliquer les conclusions des économistes et des sociologues ruraux. Il a mis l'accent sur la relation entre l'innovation et la rentabilité, mais l'imitation a été la force motrice de sa théorie. Comme il le dit, ce modèle repose largement sur une hypothèse, à savoir que la probabilité qu'une entreprise introduise une nouvelle technique dépend de la proportion d'entreprises qui l'utilisent déjà et de leur rentabilité, mais d'une fonction décroissante de la taille de l'investissement requis.

Mansfield (1961) décrit la diffusion comme un processus d'imitation parmi les entreprises. Le taux d'imitation a été défini comme la vitesse à laquelle une nouvelle innovation se propage d'une entreprise à une autre. Mansfield a utilisé les moindres carrés ordinaires pour estimer le taux d'imitation de douze innovations pour quatre industries américaines. L'auteur a constaté que le taux d'imitation était une fonction décroissante de la taille de l'investissement nécessaire à l'innovation et une fonction croissante à la fois de la rentabilité de l'innovation et de la proportion d'entreprises adoptant l'innovation.

Griliches (1957) a mené la première étude économétrique de la diffusion. Il a estimé les fonctions logistiques de la diffusion des semences hybrides par État et par district aux États-Unis en utilisant les moindres carrés ordinaires. Griliches a montré des variations transversales dans les paramètres des fonctions de diffusion logistique. Il a expliqué cette variation par les différences de localisation dans la rentabilité de l'adoption du maïs hybride.

Hiebert (1974) a soutenu que la décision d'adopter des technologies agricoles modernes est amplifiée par "l'apprentissage" dans l'incertitude. L'apprentissage a été défini comme un ensemble d'informations sur la distribution de probabilité de la production issue de la technologie moderne. Hiebert (1974) a affirmé que la probabilité d'adopter une technologie agricole

moderne était positivement liée 1) au stock d'informations relatives à la technologie moderne, et 2) à la compétence de l'agriculteur (par exemple la capacité de l'agriculteur à décoder et analyser l'information).

Les études sur la diffusion des technologies sont souvent critiquées de ne pas avoir une base théorique solide en théorie microéconomique (Caswell, 1991). Cette critique est exagérée car les études de diffusion portent sur la forme de la courbe de diffusion et ne tiennent pas compte des décisions individuelles prises par les agriculteurs. Plus récentes, les études sur l'adoption des technologies agricoles se focalisent plutôt sur les déterminants de l'adoption que sur la forme de la courbe de diffusion.

La décision d'adoption d'une nouvelle technologie par un agriculteur est généralement modélisée comme un choix entre une technologie traditionnelle et une nouvelle technologie. Un agriculteur adopte la nouvelle technologie agricole lorsque le bénéfice attendu de l'adoption est plus élevé que sans adoption (Amare *et al.* 2012 ; Bezu *et al.* 2014 ; Ma & Shi, 2015).

Plus récemment, la littérature a commencé à étudier les contraintes qui pourraient entraîner une adoption seulement partielle entre les exploitations et au sein de celles-ci. L'adoption partielle reflète le fait que les choix des agriculteurs peuvent être affectés par des facteurs tels que les événements météorologiques stochastiques, les imperfections des marchés des intrants et des extrants, les connaissances limitées sur les performances des nouvelles technologies dans différents états de la nature, la disponibilité limitée et le coût élevé des technologies, et l'hétérogénéité des caractéristiques des exploitations et des agriculteurs.

Une autre branche de recherche est importante dans la littérature sur la diffusion des technologies. Pan *et al.* (2018) ont étudié comment les processus de diffusion des technologies affectent les décisions d'adoption des agriculteurs. Ils ont montré que les facteurs permettant d'apprendre facilement les avantages des nouvelles technologies ont un impact positif sur les taux d'adoption. Des exemples de tels facteurs sont les services de vulgarisation, les démonstrations sur le terrain, l'intégration des marchés, ainsi que la visualisation et l'apprentissage auprès d'autres agriculteurs.

D'autres études soulignent également les externalités d'apprentissage, la diffusion de l'apprentissage social, les modes de communication et le fait de suivre les pratiques réussies des voisins comme moteurs de la diffusion des technologies (Conley & Udry 2010 ; Genius *et al.*, 2014).

Au total, ces études vont dans le sens d'une augmentation progressive de l'adoption de technologies agricoles améliorées au fil du temps, si elles sont disponibles et abordables. Dans la littérature économétrique, trois modèles sont fréquemment employés pour analyser l'adoption de nouvelles technologies : (1) les modèles à probabilité linéaire, (2) la fonction logistique (Logit), et (3) les fonctions à densité normale (Probit). Ces modèles utilisent des variables de choix binaires comme variable dépendante. Cependant, l'utilisation d'une variable de choix binaire comme variable dépendante ne permet pas de saisir l'intensité de l'adoption de la technologie, qui peut varier selon les adoptants (Baidu-Forson, 1999). Pour pallier à ce problème, l'utilisation du modèle Tobit (Tobin, 1956) a été suggérée pour l'analyse de l'intensité d'adoption où la variable dépendante est continue avec une borne zéro.

2.2. Le rythme (vitesse) d'adoption des technologies agricoles

Le processus de diffusion du comment et du pourquoi de l'adoption des nouvelles technologies par les agriculteurs a fait l'objet d'une large littérature au sein de la profession économique (Feder *et al.* 1985). Une grande partie de l'intérêt s'est focalisée sur les causes de la lenteur des taux de diffusion des technologies profitables et socialement bénéfiques. La littérature sur l'adoption de nouvelles technologies agricoles suggère plusieurs raisons qui expliquent la lenteur de la diffusion des innovations potentiellement profitables.

De nombreuses études sur l'adoption ont montré qu'il existe une variation importante dans la vitesse de diffusion des technologies. Elles ont fait valoir que la perception qu'ont les adoptants potentiels des attributs de la nouvelle technologie influe sur la vitesse d'adoption de cette technologie. Une étude de Rogers (2003) a identifié cinq caractéristiques des innovations qui ont un impact sur la vitesse d'adoption. Ces caractéristiques des innovations étaient les suivantes : avantage relatif, compatibilité, complexité, divisibilité et observabilité. Une autre étude de Supe (1983) a ajouté deux autres attributs qui affectent le taux d'adoption : les variations du coût d'adoption et les exigences d'action de groupe de la technologie. Par exemple, les technologies telles que le drainage et la gestion des bassins versants nécessitent des actions de groupe pour être adoptées par rapport aux technologies qui sont adoptées sur une base entièrement individuelle, telles que les semences améliorées et les engrais. Le dernier groupe de technologies est adopté plus rapidement que les technologies qui nécessitent des actions de groupe, car tous les agriculteurs peuvent ne pas être également intéressés par ces technologies.

De toutes les caractéristiques technologiques citées ci-dessus, l'avantage relatif est considéré comme celui qui a l'effet le plus fort sur le taux d'adoption. L'avantage relatif peut être subdi-

visé en catégories économiques et non économiques. Les catégories économiques sont liées à la rentabilité de la technologie tandis que les caractéristiques non économiques sont fonction de variables telles que le gain de temps (loisirs) et l'augmentation du confort (Ratz, 1995). Plus les avantages relatifs sont élevés, plus les taux d'adoption sont élevés. La compatibilité d'une technologie indique le degré de cohérence de cette technologie avec les valeurs sociales existantes, les normes culturelles, les expériences et les besoins des adoptants potentiels. Cet attribut joue également un rôle clé en influençant la vitesse d'adoption.

Une étude de Byerlee & de Polanco (1986) a étudié la relation entre les taux (vitesse) d'adoption des technologies et divers facteurs économiques. Leur étude a montré que le sentier d'adoption d'une technologie particulière est fonction de cinq caractéristiques (profitabilité, risque, divisibilité ou capital initial, complexité et disponibilité). Leur étude montre également que la profitabilité et le risque d'une technologie donnée sont fonction des environnements agro-climatiques et socio-économiques, tels que les précipitations et les prix. En d'autres termes, la pluviométrie et les prix influencent indirectement le taux d'adoption. Les interactions entre les éléments technologiques affecteront également le taux d'adoption. Les avantages de l'utilisation de semences améliorées (hybrides) par exemple, sont renforcés par l'application d'engrais, surtout dans des conditions environnementales favorables, par exemple dans les zones à haut potentiel (Feder, 1982 ; Byerlee & de Polanco, 1986).

Le taux et la vitesse d'adoption des technologies améliorées dépendent de la disponibilité des technologies améliorées, ce qui implique la production et la diffusion de ces technologies aux agriculteurs. La production de technologies améliorées est un processus qui demande beaucoup de temps et les technologies se déprécient également (Alston *et al.*, 1995). Il faut également plus de temps pour que l'adoption ait lieu, c'est-à-dire le temps qui s'écoule entre l'introduction de la technologie améliorée et la décision de l'utiliser.

L'autre raison importante du temps nécessaire à la génération, à la diffusion et à l'adoption d'une technologie est la rapidité avec laquelle les résultats sont obtenus, ce qui est un indicateur économique potentiel de rentabilité. Les bénéfices obtenus aujourd'hui valent plus que ceux obtenus demain, car ils peuvent être réinvestis rapidement pour obtenir des bénéfices supplémentaires (Alston *et al.*, 1995).

2.3. Source et impact du progrès technologique en agriculture

Les nouvelles théories de la croissance économique endogène, impulsées par les travaux pionniers de Romer (1986) et Lucas (1988), ont établi le rôle principal du progrès technique.

Dans cette voie (Romer, 1986 ; Lucas, 1988) cherchent à endogénéiser le progrès technique par le biais d'externalités marshalliennes sur le stock de connaissances. Il s'agit du taux de variation de la productivité totale des facteurs et un produit de l'augmentation du stock de connaissances susceptibles d'être accumulées, de la même manière que le capital physique (Mounier, 1992). En effet, l'introduction des effets d'apprentissage par la pratique « *learning by doing* », permet de faire de la connaissance un facteur de production additionnel et de la concevoir comme un produit joint. L'effet externe provient du fait que la connaissance est accrue par la croissance du stock de capital total auquel tous les producteurs contribuent de la même manière. Cet accroissement du stock de connaissances est le résultat de l'expérience acquise dans la production, de l'éducation de la main d'œuvre en tant que capital humain ou des avancées publiques et privées dans la recherche. Le rôle de la recherche dans les avancées technologiques ne doit pas occulter la position qu'occupe le "savoir des paysans" dans cette dynamique. Ils traduisent l'adaptation des ménages agricoles, par l'usage de leur savoir-faire, aux changements de leur environnement ainsi qu'une réponse aux opportunités offertes confirmant ainsi l'existence de plusieurs canaux par lesquels les nouvelles méthodes sont adoptées par les agriculteurs (Ellis, 1993).

En outre, le progrès technique offre des opportunités d'accroissement d'output agricole et d'élévation des revenus (Colman & Young, 1995) et donc de sécurité alimentaire.

Cependant, l'impact du progrès technique sur la fonction de production agricole peut être illustré par les diagrammes facteur-produit, facteur-facteur ou produit-produit empruntés à la microéconomie classique. L'exemple stylisé de Colman & Young (1995) portant sur l'effet de l'introduction d'une nouvelle variété de riz qui améliore la réponse de l'offre à l'usage de l'engrais permet d'appréhender les effets de cette innovation sur l'output total, le mix factoriel et la frontière des possibilités de production. L'adoption de cette innovation et son introduction dans le procédé de production pourront induire le déplacement vers le haut de la courbe de produit total à travers un accroissement de rendement, comme il ressort de la Figure 21.

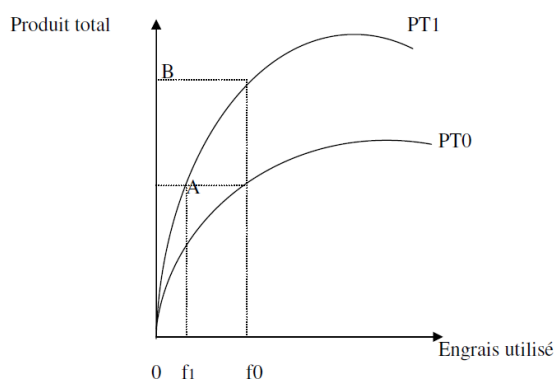


Figure 21. Le changement technologique et la courbe de produit total (Colman & Young, 1995)

Avec l'usage de l'engrais f_0 , la production peut être accrue de OA à OB, alternativement, un niveau donné d'output, OA, peut être réalisé avec un niveau réduit d'engrais utilisé, f_1 à la place de f_0 .

Ce gain est mesuré par la productivité totale de facteurs (PTF) qui est le ratio entre l'output total et les inputs totaux, les deux mesurés en termes d'indice. L'accroissement de ce ratio est interprété comme possibilité d'obtenir plus d'output avec un même niveau donné d'input ou moins (Ehui & Jabbar, 2002).

Le diagramme facteur-facteur, établi par la Figure 22, illustre l'impact que peut avoir un tel progrès technologique sur le mix de deux inputs variables, l'engrais et le travail. L'introduction de ce nouvel intrant permet de réduire la quantité consommée de deux intrants variables et l'isoquant se déplace vers l'origine, en Q1, traduisant ainsi des économies dans l'usage des facteurs de production employés et une réduction des coûts de production, *ceteris paribus*.

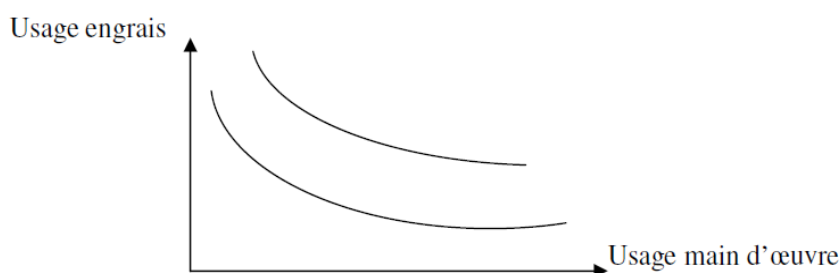


Figure 22. Le changement technologique et la combinaison factorielle (Colman & Young, 1995)

Les courbes de possibilités de production, établies par la figure 23 indiquent les combinaisons d'outputs réalisables étant donné le niveau d'inputs. Avec l'introduction de la nouvelle variété de riz, l'exploitant produit plus de riz avec la même quantité d'inputs, la frontière des possibilités de production passe ainsi de FOPP à F1PP, les quantités de facteurs variables et d'outputs de maïs demeurant inchangés.

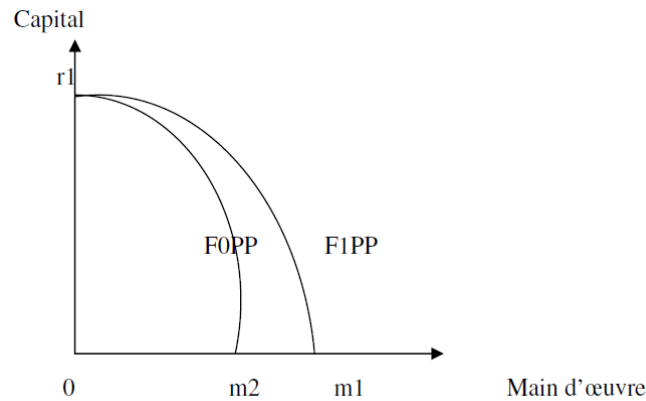


Figure 23. Le changement technologique et les possibilités de production (Colman & Young, 1995)

Les classifications des innovations et progrès technologiques sont basées soit sur leur impact en termes d'économies dans l'emploi des facteurs de production, soit sur les problèmes de politiques agricoles qu'ils génèrent, soit encore sur la nature des acteurs qui les propulsent, les différentes nomenclatures étant caractérisées par une interpénétration dynamique.

2.4. Mode et séquence d'adoption des technologies agricoles

L'attention s'est également attachée à expliquer le mode (l'approche) et la séquence d'adoption des technologies agricoles. Deux approches sont communes dans la littérature sur l'adoption des technologies agricoles. La première approche met l'accent sur l'adoption de l'ensemble du paquet technologique, tandis que la seconde se focalise sur l'adoption progressive ou séquentielle des éléments d'un paquet. Les scientifiques recommandent souvent la première approche, tandis que les praticiens de terrain, en particulier les groupes de recherche sur les systèmes agricoles et les groupes de recherche participative, préconisent la seconde. Les programmes de vulgarisation agricole des pays en développement ont tendance à promouvoir les technologies comme un tout et les agriculteurs sont censés adopter l'ensemble. Les détracteurs de l'approche globale soutiennent fortement que les agriculteurs n'adoptent pas les technologies dans leur ensemble, mais plutôt un seul élément ou quelques technologies appropriées (Byerlee et Hesse de Polanco, 1986). Plusieurs études d'adoption revues par Nagy et Sanders (1990) et Leather et Smale (1991) ont conclu que les agriculteurs choisissent d'adopter les inputs de manière séquentielle. Au départ, ils n'adoptent qu'un seul composant du paquet et ajoutent ensuite des composants au fil du temps, un par un.

Les principales raisons souvent avancées pour l'adoption séquentielle d'un ensemble de technologies sont la rentabilité, le risque, l'incertitude, le caractère global de l'investissement et les contraintes institutionnelles (Byerlee et Hesse de Polanco, 1986 ; Leather et Smale, 1991).

L'agriculteur choisit d'abord la technologie qui présente le mieux ces attributs. Une autre étude de Ryan et Subrahmanyam (1975) a montré que les agriculteurs peuvent considérer chaque partie de l'ensemble de package technologique comme une activité moins risquée que l'ensemble complet en termes de ce que l'agriculteur pourrait perdre en cas de mauvaise récolte. Leur étude a conclu que l'adoption séquentielle des éléments d'un paquet technologique est un choix rationnel pour les agriculteurs disposant de peu de liquidités. Au fur et à mesure que les liquidités s'accumulent grâce à l'adoption antérieure d'un élément d'un paquet, les agriculteurs ajouteront un autre élément en fonction de son avantage relatif et de sa compatibilité avec leurs conditions. Ce processus se poursuivra jusqu'à ce que l'ensemble du paquet soit entièrement adopté. Une étude de Rauniar et Goode (1996) a défini les modèles d'adoption de la technologie en fonction de la relation entre les éléments technologiques adoptés. Premièrement, l'étude a qualifié le modèle d'adoption d'indépendant, si les technologies (pratiques) sont indépendantes les unes des autres.

Dans de telles conditions, le sentier d'adoption d'un agriculteur sera largement aléatoire (Rauniar & Goode, 1996). Cette assertion n'est pas en accord avec une étude de Rogers (2003) qui a montré que la décision d'adoption des agriculteurs n'est pas aléatoire. Les agriculteurs prennent des décisions rationnelles en tenant compte de l'environnement dans lequel ils opèrent.

La probabilité d'adopter une technologie donnée n'est pas conditionnée par l'adoption d'une autre technologie. Deuxièmement, si les agriculteurs adoptent les technologies dans un ordre spécifique, le modèle d'adoption est séquentiel. Cela implique que la probabilité d'adopter une technologie est conditionnée par l'adoption des technologies qui la précèdent dans la séquence. Troisièmement, le modèle d'adoption devient simultané si plus d'une technologie est adoptée en bloc et qu'aucune adoption spécifique d'une technologie ne précède ou ne suit l'adoption d'une autre technologie.

3. L'adoption et la diffusion des technologies d'irrigation

L'objectif de cette section est de présenter les différentes recherches autour des technologies d'irrigation et de donner au lecteur une compréhension de la manière dont les recherches sur l'adoption des systèmes d'irrigation sont typiquement menées, tout en se basant sur les travaux empiriques réalisés dans ce domaine. Ces travaux ont pris en compte aussi bien des variables économiques, identifiées par la pensée économique, que d'autres considérations. Cette revue de la littérature aura pour intérêt l'identification des facteurs les plus pertinents expliquant le choix des technologies d'irrigation plus efficaces.

3.1. Les approches de l'adoption des technologies d'irrigation

Les recherches sur l'adoption des technologies d'irrigation peuvent être classées comme normative ou positive (Caswell, 1991). Les études normatives utilisent la théorie économique pour indiquer ce que l'on devrait obtenir. Ces modèles sont habituellement fondés sur une approche d'ingénierie et calculent les profits, l'utilisation de l'eau, etc. en fonction des paramètres présumés des fonctions de production, des coûts et de l'efficacité et d'efficience des systèmes d'irrigation. Les études positives tentent d'analyser ce que les agents économiques font réellement plutôt que ce qu'ils devraient faire. De tels modèles sont généralement économétriques; ils visent à déterminer les facteurs qui influencent l'adoption de nouvelles technologies et à évaluer l'importance de ces facteurs dans la décision d'adoption.

Bien que les deux méthodes de recherche diffèrent, elles sont néanmoins liées. Les hypothèses développées par l'analyse normative conceptuelle peuvent être testées à l'aide d'une analyse positive. Les deux méthodes aboutissent généralement aux mêmes conclusions (Caswell, 1991). Quand et comment les irrigants adoptent de nouvelles technologies d'irrigation ont été étudiés à la fois théoriquement et empiriquement.

3.1.1. Approche normative sur l'adoption des technologies d'irrigation

Plusieurs études sur l'adoption des technologies d'irrigation ont été menées selon la méthode normative. Certaines de ces études sont de nature théorique et tentent d'établir le cadre conceptuel qui détermine la décision de l'irrigant d'adopter de nouvelles technologies d'irrigation. Les recherches de Caswell & Zilberman (1986) ont introduit un cadre théorique qui a fourni des conditions pour le choix des technologies d'irrigation économes en eau (modernes) plutôt que les technologies d'irrigation (traditionnelles) consommatrices d'eau. Leur modèle incorporait les caractéristiques de la technologie d'irrigation (par exemple, le coût de la main-d'œuvre, le coût du système et l'efficience de l'irrigation) et les caractéristiques physiques (par exemple, la qualité du sol et la profondeur du puits) pour expliquer à quel moment les technologies d'irrigation économes en eau étaient les plus susceptibles d'être adoptées. Sous l'hypothèse que l'agriculteur choisisse la technologie d'irrigation ayant la plus grande profitabilité à l'acre, les auteurs ont démontré que les technologies d'irrigation économes en eau étaient plus susceptibles d'être adoptées dans les régions où la qualité des terres est faible et les puits profonds. Autrement dit, Caswell & Zilberman (1986) ont montré théoriquement que la décision d'adoption est influencée par la profondeur du puits (c'est-à-dire le prix de l'eau), la qualité des terres et le type de culture.

Théoriquement, il existe une relation positive entre la rareté physique de l'eau et l'adoption de technologie d'irrigation plus efficiente, plus explicitement, Caswell & Zilberman (1986) dans leur modèle théorique, ils ont montré que les agriculteurs des régions où les forages sont profonds ont davantage tendance à utiliser l'irrigation goutte à goutte. Par ailleurs, Cason & Uhlaner (1991), Caswell & Zilberman (1985), Green *et al.* (1996), Negri & Brooks (1990), Nieswiadomy (1988), Schuck & Green (2001) appuient tous les résultats théoriques de Caswell et Zilberman (1986).

Les recherches de Caswell *et al.* (1990) ont élargi le cadre théorique d'adoption du système d'irrigation introduit par Caswell & Zilberman (1986) en incluant une fonction de pollution. Les auteurs ont émis l'hypothèse que l'eau non utilisée par la culture peut être une source de dommage environnemental sous forme de ruissellement ou de percolation. Ainsi, ils ont fait l'hypothèse que les technologies d'irrigation économes en eau entraînent des niveaux de pollution inférieurs à ceux des technologies d'irrigation à forte consommation d'eau. Les auteurs ont démontré qu'une taxe élevée pour chaque unité de pollution produite par l'irrigation pourrait encourager les propriétaires de terres de haute qualité à passer à des technologies d'irrigation économes en eau, et encourager les propriétaires de terres de faible qualité à retirer ces terres de la production irriguée.

Par exemple, une étude de Caswell *et al.* (1990) examine les effets d'une taxe de pollution sur les choix technologiques, le rendement des cultures, l'utilisation de l'eau et les niveaux de drainage des producteurs de coton dans l'Ouest San Joaquin Valley. Ils concluent qu'en général, l'adoption est plus probable chez les producteurs ayant des terres de moindre qualité, des cultures de plus grande valeur ajoutée, un prix d'achat plus élevé pour l'eau ou une plus grande profondeur des eaux souterraines et des problèmes de drainage plus graves. Il est également suggéré qu'une subvention annuelle de 100\$ par année et par acre ferait du goutte-à-goutte la technologie la plus rentable, même pour une production et des prix de l'eau très bas.

Dinar & Yaron (1990), dans une étude sur les producteurs d'agrumes en Israël et à Gaza, utilisent l'économétrie pour analyser l'influence de plusieurs variables telles que la qualité des intrants et la rareté, conditions environnementales, capital humain, prix de l'eau, et rendement sur l'adoption de la technologie. Les résultats de cette étude confirment les conclusions des études antérieures selon lesquelles une augmentation du prix des intrants ou du produit, l'âge (plus jeune), une augmentation des rendements et le capital humain affecteront la probabilité d'adopter.

Lichtenberg (1989) a développé un modèle théorique pour expliquer comment la qualité du sol et le choix de la technologie d'irrigation influencent l'allocation des terres cultivées. Dans l'hypothèse de la maximisation des profits et en l'absence de technologies d'amélioration de la qualité des terres, Lichtenberg a montré que les terres ayant les mêmes qualités seront allouées pour les cultures les plus rentables. L'introduction d'une technologie d'amélioration de la qualité des terres, comme l'irrigation par aspersion, entraînera un changement exogène de la rentabilité de la culture sur les terres de moindre qualité. Ainsi, l'introduction de l'irrigation par aspersion devrait entraîner une augmentation de la superficie de la culture la plus rentable et une réduction simultanée de la superficie des cultures moins rentables.

Les modèles de contrainte économique soutiennent que la fixation des intrants à court terme, tels que l'accès au crédit, à la terre, à la main-d'œuvre ou à d'autres intrants essentiels, limite la flexibilité de la production et conditionne les décisions d'adoption des technologies (Aikens *et al.*, 1975 ; Smale *et al.*, 1994 ; Shampine, 1998). Sunding & Zilberman (2001) ont développé et formalisé le modèle de seuil. Ils arguent que les paramètres spécifiques du processus d'adoption sont affectés par 1) le comportement microéconomique de l'agent, par exemple la maximisation du profit, la maximisation de l'utilité attendue, etc., 2) les sources d'hétérogénéité, par exemple la taille de l'opération, le capital humain, localisation, etc., et 3) les processus dynamiques, par exemple l'apprentissage. L'effet théorique d'une hausse du taux de subvention à l'équipement sur le sentier de diffusion est illustré par la figure 24.

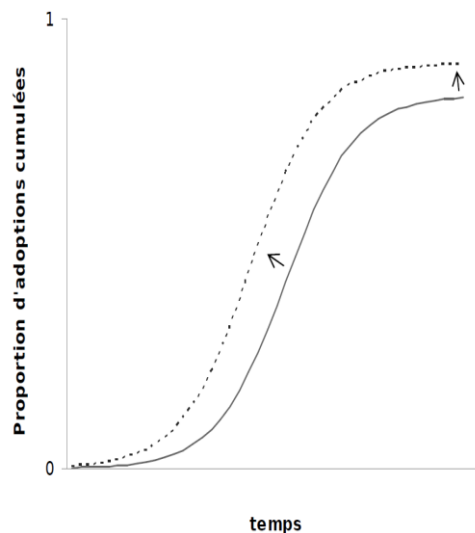


Figure 24. L'effet théorique d'une hausse des subventions à l'équipement sur le sentier de diffusion d'une nouvelle technologie d'irrigation (Richefort, 2008)

Les prix des intrants et des extrants : des études théoriques suggèrent que les prix des intrants et des extrants ont un impact considérable sur l'adoption de la technologie. On suppose que la

baisse des prix des intrants et la hausse des prix des extrants encouragent les agriculteurs à augmenter leur production. De nombreuses études empiriques sur le comportement individuel en matière d'adoption ne tiennent pas compte des effets des prix des intrants et des extrants sur l'adoption des technologies, parce que les prix des intrants et des extrants pour les individus d'une même localité sont constants et que le manque de variabilité limite l'utilisation de ces variables dans une étude du comportement individuel d'adoption.

La recherche théorique a identifié trois grandes catégories de facteurs qui influencent sur le choix de la technologie d'irrigation : les variables économiques (en particulier les prix de l'eau et des cultures), les caractéristiques environnementales (y compris l'évapotranspiration et la qualité des sols) et les variables institutionnelles (en particulier la source d'approvisionnement en eau, les subventions, etc.).

3.1.2. Approche positive sur l'adoption des technologies d'irrigation

Les études économétriques antérieures ont été menées et motivées par la disponibilité des données. Deux approches économétriques dominent la littérature. Certains modèles de décisions d'adoption individuelle utilisent l'analyse bivariée des données transversales et de panel au niveau de l'exploitation (Koundouri *et al.*, 2006 ; Foster & Rosenzweig, 2004 ; Foltz, 2003). Les études portant sur des séries chronologiques plus longues ont analysé la diffusion de la technologie à travers des unités agrégées (Ding *et al.*, 2009 ; Kim & Chavas, 2003 ; Lichtenberg, 1989).

Pour stimuler la croissance de la production agricole par le développement de l'irrigation, il est nécessaire d'identifier les incitations et les freins à l'adoption de l'irrigation. La littérature empirique sur l'adoption de l'irrigation a identifié comment les différents facteurs socio-économiques, institutionnels et environnementaux des agriculteurs influencent le taux d'adoption. Par exemple, Caswell (1991) a attribué les niveaux d'adoption de l'irrigation à la qualité du sol, aux coûts des intrants, à la taille de l'exploitation, aux salaires de la main-d'œuvre, aux conditions climatiques et aux rendements en termes de production. Dinar *et al.* (1992) ont montré que l'adoption des technologies modernes d'irrigation est déterminée par le coût de l'eau d'irrigation, les niveaux de profitabilité, les attributs de management agricole et les caractéristiques environnementales telles que la disponibilité des eaux de surface et des eaux souterraines.

Cependant, en dehors des variables socio-économiques, agricoles et environnementales susmentionnées, Koundouri *et al.* (2006) ont montré que le degré d'adoption de l'irrigation dans

l'agriculture est fonction de la probabilité des risques de production avec ces technologies d'irrigation.

La littérature sur l'adoption des technologies modernes d'irrigation est bien établie tant empiriquement (Caswell & Zilberman, 1985 ; Dinar & Yaron, 1990 ; Negri & Brooks, 1990) qu'en théorie (Caswell & Zilberman, 1986 ; Dinar & Zilberman, 1991). La plupart des travaux empiriques d'adoption des systèmes d'irrigation par la méthode positive sont relativement récents. Par ailleurs, les travaux empiriques sur l'adoption des systèmes d'irrigation sont généralement limités par un manque de données, en particulier de séries chronologiques (Caswell, 1991). Néanmoins, plusieurs études empiriques sur l'adoption des systèmes ont été réalisées, et ces études confirment généralement les hypothèses générées par la méthode normative.

3.2. Les facteurs influençant sur l'adoption des technologies d'irrigation

La majeure partie de la revue de littérature ici porte sur les facteurs influençant l'adoption des technologies d'irrigation. Dans la plupart des études examinées, les technologies d'irrigation sont généralement divisées en deux catégories : l'irrigation traditionnelle comme l'irrigation par ruissellement, l'irrigation à la raie et l'irrigation par planches, et l'irrigation moderne comme l'irrigation par aspersion et au goutte à goutte.

La littérature existante sur l'adoption des technologies d'irrigation est à la fois abondante et bien développée sur le traitement du comportement décisionnel des agriculteurs qui affecte l'adoption des technologies d'irrigation¹⁶. Certaines des variables clés qui ont une relation empirique avec les décisions des agriculteurs d'adopter ou non la technologie sont la qualité du sol, la taille de l'exploitation et le capital humain (Caswell 1991 ; Dinar *et al.*, 1992). De plus, dans le cas des pays en développement, les agriculteurs sont confrontés à certaines contraintes telles que le manque de crédit, le manque d'information, l'aversion pour le risque, la taille inadéquate des exploitations, l'insuffisance de main-d'œuvre, l'absence d'équipement pour pallier le manque de main-d'œuvre et l'insuffisance de l'approvisionnement en intrants dans le processus d'adoption des technologies (Feder *et al.*, 1985).

Plusieurs études ont abordé le problème de l'adoption de nouvelles méthodes d'irrigation en étudiant les effets d'une série d'aspects institutionnels, de la production et des prix des intrants ainsi que des facteurs intrinsèques au niveau des ménages qui décrivent le comportement et

¹⁶ voir Caswell & Zilberman (1985), Lichtenberg (1989), Dinar & Yaron (1990), Negri & Brooks (1990), Dinar & Zilberman (1991), Shrestha & Gopalakrishnan (1993), Green *et al.* (1996a, 1996b), Green & Sunding (1997), Schuck & Green (2001), Foltz (2003), Moreno & Sunding (2005), Schuck *et al.* (2007), Negri *et al.* (2005), Schuck *et al.* (2005), Koundouri *et al.* (2006), He *et al.* (2007), Torkamani & Shajari (2008) et Hunecke *et al.* (2017).

les caractéristiques des agriculteurs. D'une manière générale, les principaux facteurs qui influencent sur le choix des agriculteurs en matière d'adoption des technologies d'irrigation économes en eau peuvent être classés en trois catégories : les variables environnementales, institutionnelles et socio-économiques.

3.2.1. L'adoption et variables environnementales

La littérature sur l'adoption des technologies modernes d'irrigation aborde de manière approfondie le rôle des conditions biophysiques différenciées spatialement dans la décision d'adopter. Par exemple, Caswell & Zilberman (1985, 1986) présentent à la fois des résultats analytiques et empiriques sur la manière dont des facteurs tels que les prix des intrants et des extrants, la capacité de rétention d'eau du sol et la profondeur des puits influent sur l'adoption des technologies d'irrigation modernes.

Lichtenberg (1989) développe les résultats de Caswell & Zilberman, qui sont en grande partie analytiques, dans une application, où il montre les effets de la qualité du sol sur les décisions culturales (choix des cultures) et le choix de la technologie d'irrigation. Dinar & Yaron (1990) se sont intéressés de la même manière aux effets des différences de qualité de l'eau sur les décisions d'adoption de technologies, et Dinar *et al.* (1992) ont abordé le rôle des différences entre les exploitations agricoles dans d'autres conditions environnementales sur l'adoption des technologies d'irrigation et de drainage dans la Central Valley de Californie. Bien que Caswell & Zilberman (1986), en particulier, considèrent l'irrigation au goutte-à-goutte comme une technologie d'amélioration de la qualité des sols, ou une technologie qui améliore spatialement l'efficacité d'application de l'eau.

Les études économétriques sur l'adoption des technologies d'irrigation ont montré aussi le rôle important des conditions environnementales. Les variables environnementales qui influent sur le choix des technologies d'irrigation économes en eau comprennent principalement : la rareté physique de l'eau, les caractéristiques du sol et le climat.

La rareté physique de l'eau

L'adoption de technologies comme le goutte-à-goutte est susceptible de se produire en période de grande pénurie d'eau (Carey & Zilberman, 2002). Une eau de moindre qualité conduisait également à l'adoption des méthodes d'irrigation techniquement plus efficaces (Schuck. *et al.*, 2005). Le principal facteur qui a conduit à un changement de technologie d'irrigation, passant de la méthode traditionnelle d'inondation ou de sillon à des systèmes tels que l'irrigation goutte à goutte, a été la contrainte d'approvisionnement en eau (Qureshi *et al.* 2001).

Cependant, la littérature existante sur l'adoption de technologies d'irrigation plus efficaces tend à mettre l'accent sur le prix comme indicateur de rareté plutôt que sur les mesures réelles de la rareté physique (Wheeler *et al.*, 2010). Les études empiriques utilisent habituellement la source d'eau d'irrigation (eau souterraine ou eau de surface) ou la profondeur du puits ou du forage comme un proxy de la rareté physique des ressources en eau et montrent que plus l'eau est rare, plus les agriculteurs sont susceptibles d'adopter des technologies d'irrigation modernes.

Par exemple, Caswell & Zilberman (1985) ont estimé un modèle Logit multinomial pour analyser le choix entre l'irrigation par sillon, l'irrigation par aspersion et l'irrigation goutte à goutte par les producteurs de fruits dans la vallée centrale de la Californie, et ont montré que les agriculteurs qui appliquaient de l'eau souterraine étaient plus susceptibles d'adopter des technologies d'aspersion et de goutte à goutte que ceux qui utilisaient de l'eau de surface. Les exploitations agricoles ayant accès à des sources d'eau de surface sont plus susceptibles de choisir un système gravitaire. Caswell & Zilberman (1985) suggèrent que ce résultat n'est pas surprenant puisque l'eau de surface est fournie par des districts d'eau qui, dans la plupart des cas, ont adapté leur système de distribution à la technologie traditionnelle.

De même Shrestha & Gopalakrishnan (1993) ont développé un modèle Probit pour estimer le choix de l'irrigation goutte à goutte dans l'industrie sucrière d'Hawaï et ont montré que les agriculteurs qui utilisent plus l'eau souterraine que l'eau de surface sont plus susceptibles d'adopter l'irrigation goutte à goutte que ceux qui utilisent plus l'eau de surface. Les sources d'approvisionnement en eau (eaux de surface ou eaux souterraines) sont également importantes (Carey & Zilberman, 2002)

Les caractéristiques du sol

Plusieurs travaux rapportent que la qualité des terres est l'un des facteurs les plus importants qui influence sur le choix des technologies d'irrigation (Caswell & Zilberman 1986 ; Lichtenberg, 1989 ; Caswell *et al.*, 1990 ; Negri & Brooks, 1990 ; Dinar & Yaron, 1992 ; Shrestha & Gopalakrishnan, 1993 ; Schuck & Green, 2001 ; Foltz, 2003 ; Moreno & Sunding, 2003 ; Moreno & Sunding, 2005).

En utilisant un échantillon national de données transversales des exploitations agricoles, Negri & Brooks (1990) montrent également que les caractéristiques physiques des exploitations agricoles sont des déterminants importants de l'adoption des technologies. Dans une étude sur le terrain concernant l'adoption des technologies d'irrigation dans la production hawaïenne de

canne à sucre, Shrestha & Gopalakrishnan (1993) montrent que les caractéristiques du sol sont des facteurs importants dans l'adoption des technologies.

Dans les études économétriques sur l'adoption des technologies d'irrigation, il est souvent implicitement supposé que la relation entre la qualité de la terre et la probabilité d'adoption est linéaire et monotone. Cela implique que l'écart de profit est plus important sur des terres de qualité inférieure que sur des terres de qualité supérieure. Ainsi, il est communément admis que l'adoption de la technologie d'irrigation améliore la qualité de la terre. Le potentiel d'amélioration des rendements des cultures augmente le niveau de l'adoption.

La technologie d'irrigation est considérée comme un améliorant de la qualité des sols au sens défini par Caswell & Zilberman (1986) en substituant le capital et l'énergie aux capacités inhérentes d'absorption et de rétention d'eau du sol ; la technologie améliore la capacité des terres de moindre qualité à fournir de l'eau et des nutriments aux cultures, en réduisant ainsi les différences de productivité entre la qualité inférieure et supérieure du sol. Cela suggère que le niveau d'adoption de la technologie d'irrigation augmente au fur et à mesure que la qualité des terres diminue.

Il est bien connu que la qualité des terres est un facteur déterminant dans les décisions de production agricole (Caswell & Zilberman, 1986 ; Lichtenberg, 1989 ; Negri & Brooks, 1990 ; Schoengold & Zilberman, 2007). Théoriquement, il est admis que la relation entre la qualité du sol et l'adoption de la technologie d'irrigation est déterminée par la profitabilité relative à l'adoption.

Le modèle théorique développé par Caswell & Zilberman (1986) ainsi que des études empiriques ont corroboré l'hypothèse selon laquelle les technologies modernes d'irrigation améliorent la qualité des terres. Toutefois, ces écarts de profit peuvent avoir une relation non linéaire, voire même une relation non monotone, avec la qualité du sol. Les écarts de profit sont déterminés par les différences de rendement des cultures et les différences de coûts de production.

Des recherches antérieures ont identifié de multiples sources de non-linéarité entre le rendement des cultures et les paramètres biophysiques, tels que la fertilité du sol, les précipitations et la température (Antle & Capalbo, 2010). L'implication d'une réponse non linéaire du rendement des cultures à l'hétérogénéité physique peut aussi se traduire par une relation non linéaire, voire non monotone, entre les écarts relatifs de profit et ces paramètres (Caswell et Zilberman, 1986).

Il est donc, essentiel de comprendre comment les décisions en matière d'adoption varient en fonction de l'hétérogénéité des sols, du climat et des caractéristiques des exploitations agricoles pour une analyse précise des politiques. La plupart des études empiriques antérieures portant sur la relation entre la qualité du sol et l'adoption de la technologie d'irrigation montrent que les variables de la qualité du sol déterminent les investissements (Nieswadomy, 1988 ; Lichtenberg, 1989 ; Negri & Brooks, 1990), mais ces études reposent sur des données agrégées au niveau des comtés ou des régions et ne tiennent pas compte de l'hétérogénéité physique au niveau des parcelles, qui influence les décisions de production agricole.

Plusieurs études empiriques ont montré une causalité négative entre la qualité du sol et l'adoption de la technologie moderne d'irrigation. Shah *et al.* (1995) analysent l'effet de la qualité du sol à l'aide de la règle de Hotelling et de son modèle d'épuisement des ressources appliqué à la technologie de l'irrigation goutte à goutte utilisant les eaux souterraines. Green *et al.* (1996a) et Green & Sunding (1997) ont montré que les variables qui définissent la qualité des sols sont la pente et la perméabilité. Notant que Green & Sunding (1997) ont analysé l'effet de la qualité du sol et le prix de l'eau à partir de données de terrain provenant de fermes d'agrumes et de vignobles à Californie.

Dans la même veine Caswell & Zilberman (1985) et Green *et al.* (1996) ont montré que la qualité de la terre (pente et perméabilité du sol) est un facteur important qui influence l'adoption d'une technologie d'irrigation plus efficiente. Lichtenberg (1989) et Negri & Brooks (1990) ont montré une causalité négative entre la qualité du sol et le taux d'adoption de technologies d'irrigation relativement plus efficaces par les agriculteurs américains. Les résultats empiriques de Lichtenberg (1989) montrent que les superficies allouées aux différentes cultures irriguées par la méthode du pivot varient significativement selon la qualité de la terre : les cultures tendent à être cultivées dans des terres de qualité inférieure. Negri et Brooks (1990) ont montré que les types de sol et les variables climatiques sont des déterminants importants dans l'adoption de la technologie d'irrigation.

Caswell et Zilberman (1985) montrent que les sols légers avec une plus faible rétention d'eau dans Kern County en Californie, explique le taux élevé d'adoption de la technologie d'irrigation moderne. Dans la même veine, Caswell et Zilberman (1986) montrent que les régions où la qualité du sol est faible sont plus susceptibles d'adopter l'irrigation goutte à goutte, tandis que les régions où la qualité du sol est élevée sont plus susceptibles d'utiliser l'irrigation de surface traditionnelle puisque l'irrigation par aspersion ou goutte à goutte est une technologie qui améliore la qualité du sol.

Dinar & Yaron (1990) ont examiné le taux d'adoption de l'irrigation moderne par les producteurs d'agrumes israéliens, ces auteurs montrent que l'irrigation moderne est plus susceptible d'être adoptée sur des sols légers, qui ont une faible capacité de rétention en eau, que sur les sols lourds, qui ont une grande capacité de rétention en eau. De même Moreno & Sunding (2005) ont montré l'importance des conditions environnementales dans la décision d'adoption des technologies d'irrigation, en particulier l'adoption du goutte-à-goutte qui dépend de la qualité de la terre : la faible capacité du sol à retenir l'eau favorise son adoption.

Moreno & Sunding (2005) et Green *et al.* (1996a, 1997) ont montré que la perméabilité du sol est un déterminant très important de l'adoption de la technologie d'irrigation par les agriculteurs californiens. Abudulai *et al.* (2005) ont montré que les caractéristiques du sol ont une influence importante sur l'adoption d'une technologie de production de riz économe en eau par les agriculteurs chinois. Par exemple, les agriculteurs ayant des parcelles de sol jaune (capacité de rétention d'eau élevée) ont une faible probabilité d'adoption de cette technologie.

De même Scheierling *et al.* (2006) ont montré que les technologies d'irrigation étaient plus susceptibles d'être adoptées lorsque les coûts d'adoption étaient moins élevés, sur des terres de qualité inférieure et sur des cultures de haute valeur ajoutée. Par contre, Zhou *et al.* (2008) ont montré que l'adoption des technologies économes en eau était plus élevée sur les terres avec une meilleure capacité de rétention d'eau.

Globalement, toutes les études empiriques corroboraient l'hypothèse de l'influence des caractéristiques des sols sur le choix de l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces.

Les conditions climatiques

Le changement et le risque climatiques peuvent affecter l'adoption de technologies (Holden & Quiggin, 2017). Parmi les études existantes qui ont analysé l'influence des facteurs climatiques sur les choix des technologies d'irrigation, la focalisation a été mise sur les conditions climatiques moyennes telles que les températures moyennes et les précipitations totales (Negri & Brooks, 1990 ; Schoengold & Zilberman, 2007).

Negri et Brooks (1990) ont utilisé les données de recensement de trente États américains pour estimer l'adoption de l'irrigation par aspersion et ont montré que la probabilité d'adopter l'irrigation par aspersion est corrélée positivement avec les précipitations totales et négativement avec la durée de la saison de croissance. Dinar et Yaron (1990) ont trouvé une relation positive entre l'adoption de la technologie moderne d'irrigation et la température par les producteurs d'agrumes israéliens. Le taux d'adoption de l'irrigation moderne comme l'irrigation

goutte-à-goutte est plus élevée dans les régions à haute température que dans les régions à basse température. Par ailleurs, Schuck *et al.* (2005) ont montré que la condition de sécheresse au Colorado est positivement liée à l'adoption de systèmes d'aspersion plus efficaces que les systèmes gravitaires. Leurs conclusions ont été corroborées par le modèle de Carey & Zilberman (2002) qui a montré que des événements aléatoires tels que la sécheresse encourageait les agriculteurs à adopter les technologies modernes d'irrigation.

3.2.2. L'adoption et variables institutionnelles

Il paraît cohérent de considérer que la dissémination de nouvelles technologies d'irrigation est profitable à l'ensemble des intervenants dans le domaine de l'eau. La disposition des agriculteurs à s'équiper en technologies d'irrigation plus efficaces s'apparente donc à leur volonté de coopérer avec les institutions (Richefort, 2008).

Le degré de coopération peut notamment dépendre des taux de subvention de chaque matériel et de la confiance des irrigants envers les institutions qui les encadrent. Cette confiance s'illustre par les choix de financement (recours ou non à la subvention) ainsi que les choix de fournisseurs et d'installateurs de matériel d'irrigation pris par les irrigants. Le contexte institutionnel, particulièrement la confiance des agriculteurs vis-à-vis de leurs institutions, pourrait réguler les choix technologiques individuels (Marshall, 2004).

Les études existantes suggèrent en outre que des facteurs institutionnels, tels que la tenure foncière, pourraient jouer un rôle (Moreno & Sunding, 2005). Le rôle de la diffusion de l'information, de l'incertitude et de l'irréversibilité dans le choix de la technologie sont également de plus en plus soulignés (Carey & Zilberman, 2002 ; Koundouri *et al.*, 2006). Les principales variables institutionnelles comprennent les efforts de vulgarisation et les projets de démonstration, les subventions ou prêts gouvernementaux, la tenure foncière pour l'adoption de nouvelles technologies plus efficaces.

Les efforts de vulgarisation, les projets de démonstration et information

L'introduction de l'irrigation goutte à goutte en Californie a été initiée par un agent d'une Coopérative de vulgarisation dans la région de San Diego (Caswell *et al.*, 1984), et le schéma d'adoption indique que le rôle de diffusion de l'information de l'agent de vulgarisation a été un facteur très important dans la diffusion rapide de la technologie sophistiquée dans cette région (Caswell, 1982). De même Abdulai & Huffman (2005) ont utilisé un échantillon de 240 ménages agricoles chinois pour mesurer les déterminants de l'adoption de la technologie d'irrigation économie en eau pour la production de riz. Ils ont montré que la participation

avec le personnel du service de vulgarisation a un impact positif et significatif sur l'adoption. Les résultats montrent que le service de vulgarisation a augmenté la probabilité d'adoption d'environ 18 à 24%. En outre, les agriculteurs qui ont adopté d'autres technologies de production au cours des dix dernières années étaient plus susceptibles d'adopter également une technologie économe en eau.

Dans une autre étude, Adeoti *et al.* (2007) ont utilisé un échantillon de 108 agriculteurs au Ghana pour estimer l'adoption de l'irrigation par pompe à pédales et ont montré que le nombre de visites de vulgarisation par an a eu un impact positif sur la probabilité de l'adoption. Karami (2006) a appliqué l'analyse en cluster pour analyser le choix des méthodes d'irrigation avec un échantillon de 460 agriculteurs en Iran et ils ont montré que les agriculteurs qui ont accès à des sources d'information agricole qui fournissent des informations sur les méthodes d'irrigation sont plus susceptibles d'adopter l'irrigation par aspersion.

Brennan (2007) a montré que le faible taux d'adoption de l'irrigation par aspersion à Gngangara Mound, en Australie-Occidentale, est dû à l'insuffisance de vulgarisation en matière de productivité de l'eau et de technologie. Foltz (2003) a estimé l'adoption de l'irrigation goutte à goutte par les agriculteurs en Tunisie. Il a montré que les agriculteurs qui avaient déjà observé l'irrigation goutte-à-goutte sont plus susceptibles de devenir les premiers à adopter l'irrigation au goutte-à-goutte, ce qui suggère que les projets de démonstration peuvent influencer positivement l'adoption.

En Espagne, les producteurs qui obtiennent des connaissances sur la technologie par le biais de personnes spécialisées dans l'agriculture sont plus susceptibles d'adopter l'irrigation que ceux qui obtiennent leurs informations auprès d'autres producteurs (Alcon *et al.*, 2011). L'adoption de systèmes d'irrigation est également affectée par la disponibilité de l'information, car elle contribue à accroître les connaissances sur les nouvelles technologies. L'acquisition d'informations sur une nouvelle technologie la démystifie et la rend plus accessible aux agriculteurs.

De bons programmes de vulgarisation et des contacts avec les producteurs sont un aspect essentiel de la diffusion et de l'adoption des technologies. La plupart des études analysant cette variable dans le contexte de la technologie agricole montrent sa forte influence positive sur l'adoption. En effet, Yaron *et al.* (1992) montrent que son influence peut contrebalancer l'effet négatif du manque d'années d'éducation formelle dans la décision globale d'adopter certaines technologies.

D'un autre côté, l'information réduit l'incertitude sur les performances d'une technologie et peut donc faire passer l'évaluation individuelle purement subjective à une évaluation objective au fil du temps (Caswell *et al.*, 2001). L'attente d'une meilleure information sur les technologies et sur les compétences à mobiliser pour les utiliser de façon efficace peut ainsi conditionner les choix technologiques individuels dans la mesure où l'adoption d'un nouveau système d'irrigation peut s'avérer quasiment irréversible à court ou moyen terme (Koundouri *et al.*, 2006).

En effet, il a été démontré que l'accès à l'information pertinente sur la nature des nouvelles technologies ou pratiques peut réduire le risque et l'incertitude associés aux décisions des irrigants (Koundouri *et al.*, 2006 ; Marra *et al.*, 2003). Les agriculteurs peuvent s'informer sur les nouvelles technologies agricoles et recevoir de l'assistance des secteurs public et privé.

Feder *et al.* (1985) ont montré que l'ampleur de l'effort déployé pour obtenir des informations est fonction du gain attendu de ces connaissances. Par exemple, le Service de vulgarisation fournit de l'information et de l'assistance technique aux agriculteurs sur les pratiques de gestion de l'agriculture et des ressources, mais les agriculteurs ne demanderont pas cette information à moins que le gain potentiel soit perçu comme important.

La disponibilité d'informations pertinentes sur les nouvelles technologies est l'un des facteurs importants qui influencent les décisions des irrigants. Par exemple Clark *et al.* (2008) ont montré que le manque général de connaissances sur les dispositifs et les pratiques d'économie d'eau est l'un des principaux obstacles qui influencent les décisions des agriculteurs en matière de conservation de l'eau.

Les facteurs spatio-temporels tels que la collecte d'informations, l'apprentissage par l'action ou l'accumulation de ressources ont été également identifiés comme des facteurs qui affectent l'adoption (Feder *et al.*, 1985 ; Karshenas & Stoneman, 1993 ; Koundouri *et al.*, 2006).

Les crédits bancaires et prêts gouvernementaux

Le capital ou l'épargne des agriculteurs sont nécessaires pour financer de nouvelles technologies agricoles. De nombreux chercheurs suggèrent que les investissements fixes entravent les petits agriculteurs d'adopter de nouvelles technologies (Feder *et al.*, 1985). D'autres chercheurs affirment que le crédit en soi n'empêche pas l'adoption de nouvelles technologies agricoles (Feder *et al.*, 1985).

Les marchés des capitaux jouent également un rôle dans l'adoption, car la plupart des nouvelles technologies exigent un investissement. Les restrictions sur le crédit et le financement

fondé sur la taille de l'exploitation, le revenu ou la valeur des terres peuvent ralentir le processus d'adoption (Weil, 1970). Karami (2006) a montré que la capacité des agriculteurs à obtenir un prêt est le principal déterminant de l'adoption de l'irrigation par aspersion. Lorsque plus de crédit est disponible pour les producteurs, la vitesse d'adoption de l'irrigation goutte à goutte par les producteurs de fruits et d'autres cultures en Espagne est plus élevée (Alcon *et al.*, 2011). Dans le même sens, selon He *et al.* (2007), en Chine, plus la disponibilité du crédit est élevée, plus la probabilité d'adoption de l'irrigation par les agriculteurs est grande.

Le régime d'aide à l'investissement : Les subventions de l'État

Le partage des coûts entre les agriculteurs et l'État réduit efficacement le coût d'une technologie d'irrigation et devrait induire des niveaux d'utilisation plus élevés que sans partage des coûts. Cette relation pourrait être considérée comme tautologique dans la mesure où le partage des coûts est conditionné par l'utilisation des technologies d'irrigation. Cependant, il n'y a pas de correspondance individuelle puisque certains agriculteurs utilisent et investissent dans des technologies d'irrigation sans l'aide du partage des coûts.

Une conclusion selon laquelle le partage des coûts entraîne un effort d'adoption plus important, toutes choses étant égales par ailleurs, confirmerait la réaction attendue à la baisse des prix. Une relation non significative entre le montant du partage des coûts et l'effort de conservation impliquerait que les opérateurs qui reçoivent de telles subventions ne font pas un effort de conservation sensiblement plus important que les agriculteurs qui ne l'ont pas fait.

D'autres études montrent qu'une subvention accordée par un district d'irrigation peut avoir un impact sur l'adoption (Feder & Umali, 1993 ; Tiwari & Dinar, 2000). De même, Heumesser *et al.* (2012) utilisent la programmation dynamique stochastique pour évaluer la rentabilité de la transition de l'irrigation par aspersion à l'irrigation goutte à goutte dans la production de légumes en Autriche pour faire face à l'incertitude accrue des précipitations, et montrent que le goutte à goutte est rentable uniquement lorsque la technologie est subventionnée.

La tenure foncière

De nombreuses études empiriques se sont focalisées sur ce lien de causalité entre la propriété foncière et l'adoption. On pense généralement que la propriété foncière encourage l'adoption des technologies. La sécurité de la tenure foncière (*land tenure*) peut être nécessaire pour faire des investissements dans les nouvelles technologies (Feder *et al.*, 1985).

La propriété a généralement un effet positif sur l'adoption des innovations (Caswell *et al.*, 2001). Les agriculteurs qui sont propriétaires de leurs terres agricoles sont souvent supposés être de meilleurs gestionnaires lorsqu'il s'agit de préserver les ressources naturelles associées à la capacité de production à long terme des terres agricoles (Caswell *et al.*, 2001). Bien que plusieurs études empiriques appuient cette hypothèse, les résultats ne sont pas unanimes et le sujet a fait l'objet de nombreux débats (Feder *et al.*, 1985).

En effet, la tenure foncière peut avoir une causalité négative ou positive sur la décision d'adoption de l'innovation (Caswell *et al.*, 2001). Par exemple, la tenure foncière a eu un effet positif et statistiquement significatif sur l'adoption de l'irrigation dans le centre du Nebraska et de la rivière Snake, et dans les régions de la plaine côtière du sud de la Géorgie (Caswell *et al.*, 2001). Ce résultat a été associé aux régions où le pourcentage d'agriculteurs propriétaires de leurs terres était supérieur à la moyenne de toutes les régions.

Par contre, dans les bassins de l'Illinois et de l'Iowa, la tenure foncière était négativement et significativement corrélée avec l'adoption des pratiques de conservation des sols, mais était positivement corrélée avec l'adoption dans le bassin de la rivière Snake (Caswell *et al.*, 2001). Les auteurs expliquent ces résultats, contrairement aux idées reçues, par le fait que les locataires peuvent avoir les mêmes, sinon plus d'incitations à faire des investissements pour préserver le sol sur les parcelles que les propriétaires fonciers. Cela, peut s'expliquer par le fait que les locataires louent des terres pour de longues périodes où ils pourraient être apparentés aux propriétaires fonciers et, par conséquent, avoir une incitation à maintenir la productivité du sol pour les saisons suivantes. En outre, les locataires peuvent être tenus responsables des dommages causés à la propriété par contrats de location qui exigent l'utilisation de pratiques de conservation. Les données des auteurs ne permettent pas de vérifier ces hypothèses. Par ailleurs, les locataires sont censés avoir un horizon de planification plus court que les propriétaires. De plus, les locataires ont une plus grande aversion pour le risque, ce qui empêche l'adoption de nouvelles technologies (Rahm & Huffman, 1984).

Par contre, les propriétaires ont tendance à investir davantage dans les technologies. Il est moins intéressant pour les métayers, les locataires d'investir dans des innovations avec des résultats à long terme lorsqu'il n'y a aucune garantie qu'ils exploiteront la terre à long terme. Cependant, Soule *et al.* (2000) montrent que la propriété implique également plus de contraintes financières pour l'agriculteur, ce qui pourrait freiner l'adoption. Certaines études ont cherché à obtenir une estimation plus précise de l'effet que la terre, en tant que capital (c'est-à-

dire comptabilisé dans les actifs fixes), a sur l'adoption en analysant la proportion de la surface possédée par rapport à la surface totale exploitée.

Bultena & Hoiberg (1983) n'ont pas trouvé un appui à l'hypothèse selon laquelle la tenure foncière a une influence importante sur l'adoption du travail de conservation du sol. De même Folz (2003) montre que la proportion de surface en propriété n'a pas d'effet sur l'adoption de technologies d'irrigation goutte à goutte et dans la même veine Feltz (2016) montre qu'aucun lien de causalité n'est établi entre la technologie d'irrigation au goutte à goutte et le statut foncier.

En clair, la pérennité du statut foncier, semble parfaitement indépendante au type d'irrigation. Les incohérences apparentes dans les résultats empiriques s'expliquent par la nature de l'innovation. La propriété foncière est susceptible d'influencer l'adoption si l'innovation nécessite des investissements liés à la terre. Vraisemblablement, les locataires sont moins susceptibles d'adopter ce type d'innovations pour les raisons suivantes, ils estiment que les avantages de l'adoption ne leur reviennent pas nécessairement.

En fait, le statut de la terre semble être un frein beaucoup plus puissant en Algérie. En général, les prêts n'étaient accordés que pour les propriétaires ; or, de nombreux agriculteurs louent leurs terres dans le périmètre sans posséder un statut particulier en Algérie. Désormais, les locataires peuvent demander un prêt mais là encore, la plupart des contrats étant oraux, ils leur est impossible d'obtenir un prêt. Enfin, il existe également le cas des nombreux propriétaires sans titre officiel, car à la mort du propriétaire l'administration tarde plusieurs années à délivrer un nouveau titre de propriété. L'effet de ce déterminant reste donc ambigu dans la littérature.

3.2.3. L'adoption et variables socioéconomiques

Les variables socio-économiques analysées dans des études antérieures comprennent la taille de l'exploitation agricole, le prix de la production et le coût des autres intrants, le choix des cultures, le prix de l'eau, le revenu du ménage, le revenu non agricole et le niveau de scolarité, l'âge, les risques.

La taille de la ferme

L'un des facteurs pris en considération dans la recherche sur l'adoption et la diffusion est la taille de l'exploitation qui affecte l'adoption de plusieurs manières. D'autres facteurs liés à la taille de l'exploitation sont les coûts d'adoption, les préférences en matière de risque, le capital humain, les contraintes de crédit, les besoins en main-d'œuvre et la tenure. Une hypo-

thèse de base concernant le transfert de technologie est que l'adoption d'une innovation aura tendance à avoir lieu plutôt dans les grandes exploitations que dans les petites.

Une grande partie de la littérature empirique sur l'adoption se focalisent sur la taille de l'exploitation comme premier et probablement le plus important déterminant. La taille de l'exploitation est fréquemment analysée dans de nombreuses études d'adoption. Ceci est peut-être dû au fait que la taille de l'exploitation peut affecter et être affectée à son tour par les autres facteurs influençant l'adoption.

La taille des exploitations agricoles est l'un des principaux facteurs explicatifs étudiés par plusieurs études empiriques sur l'adoption. La taille des exploitations peut avoir des effets positifs, négatifs ou neutres sur les décisions d'adoption des agriculteurs, selon le type et les caractéristiques des nouvelles technologies et le cadre institutionnel dans lequel la nouvelle technologie est introduite.

Il est généralement démontré que la taille des exploitations agricoles est positivement liée à la vitesse et à l'intensité de l'adoption d'une nouvelle technologie agricole (Feder & O'Mara, 1981), mais les résultats peuvent être liés à d'autres facteurs comme les contraintes de crédit, la qualité des terres ou l'accès aux informations plutôt que les économies d'échelle. Feder *et al.* (1985) et Genius *et al.* (2014) montrent que les agriculteurs qui exploitent de petites exploitations agricoles ne sont peut-être pas intéressés à investir un montant élevé de coûts fixes pour l'installation des infrastructures d'irrigation nécessaires à la technologie d'irrigation, tels que les tuyaux, des hydromètres et des goutteurs pour l'irrigation goutte à goutte. Les conditions physiques des terres agricoles, telles que la taille et la qualité des terres, sont souvent associées à l'adoption des technologies d'irrigation (Caswell & Zilberman, 1986 ; Negri & Brooks, 1990 ; Shrestha & Gopalakrishnan, 1993).

L'un des facteurs supposé avoir l'impact sur le taux d'adoption est la taille de l'exploitation agricole. Weil (1970) et Binswanger (1980) concluent que la taille inadéquate des exploitations agricoles constitue un obstacle à l'adoption de nouvelles technologies en raison des coûts fixes élevés et du degré élevé d'incertitude. Ils ont soutenu que les grandes exploitations agricoles ont accès au crédit alors que les petites exploitations ne peuvent pas obtenir facilement des capitaux et par conséquent, l'adoption de nouvelles technologies devient plus difficile pour les petites exploitations.

L'effet de la taille de l'exploitation a été démontré positif à plusieurs reprises voire neutre pour l'adoption (Foltz, 2003). De plus, dans l'étude de Fernandez-Cornejo (1996), la taille de l'ex-

exploitation n'a pas eu d'influence positive sur l'adoption des technologies. Par exemple, Shrestha & Gopalakrishnan (1993) ont développé un modèle pour estimer le choix de l'irrigation goutte à goutte dans l'industrie sucrière d'Hawaii et ont montré qu'il existe une corrélation positive entre la taille de l'exploitation et l'adoption de l'irrigation goutte à goutte. De même Green *et al.* (1996) ont utilisé un modèle Logit multinomial pour estimer les choix des agriculteurs californiens entre les technologies d'irrigation traditionnelles (l'irrigation par ruissellement, l'irrigation à la raie et l'irrigation par planches), les systèmes à haute pression comme aspersion et les systèmes à basse pression comme le goutte-à-goutte, les micro-asperseurs et les jets à ventilateur. Leurs résultats indiquent que les agriculteurs qui ont des exploitations de tailles importantes sont plus susceptibles d'adopter l'irrigation goutte à goutte et moins susceptibles d'adopter l'irrigation par aspersion et l'irrigation par sillon.

Par exemple Just *et al.* (1980) ont montré qu'il pourrait y avoir une limite inférieure critique à la taille des exploitations agricoles qui empêche les petites exploitations d'adopter, compte tenu de l'incertitude et des coûts fixes, de transaction et d'information associés à l'innovation. En outre, les grandes exploitations agricoles ont généralement tendance à avoir des coûts fixes, de transaction et d'information associés à l'innovation plus faibles donc, les gros producteurs ont une meilleure capacité à s'auto-assurer en cas d'échec de l'adoption anticipée. Par conséquent, l'adoption peut avoir lieu plus tôt dans les grandes exploitations, alors que les innovations sont moins susceptibles d'être adoptées par les plus petites au début de la période d'adoption.

Just *et al.* (1980) notent qu'étant donné l'incertitude et les coûts fixes de transaction et d'information associés aux innovations, la taille des exploitations agricoles devient critique. Il s'ensuit que les innovations ayant des coûts fixes de transaction et/ou d'information importants sont moins susceptibles d'être adoptées par les petites exploitations. Il a été difficile de dissocier la taille des exploitations agricoles des autres facteurs susceptibles d'influencer sur l'adoption des technologies.

Feder & Slade (1984) ont montré que les grands agriculteurs ayant un accès plus facile à l'information ou un capital humain plus important étaient plus susceptibles d'être les premiers à l'adopter. Une des raisons pourrait être que les grandes exploitations peuvent avoir des coûts d'information ou de gestion moins élevés par unité de production. Par exemple, Feder *et al.* (1985) mettent en garde contre le fait que la taille des exploitations agricoles peut être une approximation d'autres facteurs, comme la richesse, l'accès au crédit, la rareté des intrants ou l'information. De plus, l'accès au crédit est lié à la taille de l'exploitation et à la tenure fon-

cière, car ces deux facteurs déterminent la disponibilité potentielle de garanties pour obtenir du crédit.

Weil (1970) et Binswanger (1980) concluent que la taille inadéquate des exploitations agricoles est un obstacle à l'adoption de nouvelles technologies en raison des coûts fixes élevés et un degré élevé d'incertitude. Les grandes exploitations agricoles ont accès au crédit alors que les petites exploitations ne peuvent pas obtenir facilement des capitaux et, par conséquent, l'adoption de nouvelles technologies devient plus difficile pour les petites exploitations. L'effet de la taille des firmes sur le taux d'adoption semble donc ambigu et dépend d'autres facteurs. Dans le cas des petites exploitations, l'argument avancé est que les coûts fixes importants deviennent une contrainte à l'adoption d'une technologie (Abara et Singh, 1993) surtout si la technologie exige un montant substantiel de coûts initiaux de mise en place.

Le prix de la production et les coûts des autres intrants

Des études empiriques ont montré que les prévisions de prix à la production sont liées positivement à l'adoption de la technologie moderne d'irrigation, les agriculteurs étant plus susceptibles de passer de l'irrigation traditionnelle à l'irrigation moderne lorsque le prix à la production est élevé.

Par exemple, Schaible et al (1991) ont utilisé des modèles Logit multinomiaux pour analyser les impacts du prix des produits sur la transition technologique dans le domaine de l'irrigation dans le Pacifique Nord-Ouest des États-Unis. Les résultats montrent que le rapport du prix de la luzerne au prix de l'énergie, une mesure du prix relatif à la production, est corrélé positivement au passage de l'irrigation gravitaire à l'irrigation par aspersion, alors que le rapport du prix du maïs au prix de l'énergie a un effet négatif sur le passage de l'irrigation gravitaire à l'irrigation par aspersion. Les auteurs affirment que ces résultats sont peut-être attribuables au fait que la luzerne est une matière première essentielle pour le secteur régional de l'élevage et par conséquent, le prix de la luzerne est plus élevé que le prix du maïs.

Schaible *et al.* (1991) ont étudié l'influence des prix des produits de commodité et des différentes localisation géographique sur les transitions des technologies d'irrigation globales vers des technologies de conservation de l'eau en utilisant le modèle Logit multinomial. Les résultats indiquent que les prix des produits de commodité ont eu un effet significatif mais faible sur l'ajustement de la technologie d'irrigation. Des facteurs géographiques tels que le climat, la topographie et le sol ont également influencé sur les choix d'irrigation, conformément aux résultats des études antérieures.

De même, Schuck & Green (2001) ont analysé comment les types de culture, le prix de l'eau et d'autres prix des intrants influencent le choix de la technologie d'irrigation entre autre l'irrigation par gravitaire, l'irrigation par aspersion et l'irrigation goutte à goutte. Des modèles logit multinomiaux ont été estimés pour quatre catégories de cultures. Les résultats indiquent que même si l'augmentation du prix de l'eau de surface au fil du temps peut accroître l'adoption de systèmes d'irrigation plus efficaces, des types de cultures et les prix d'autres intrants peuvent soit renforcer ou contrecarrer cet effet.

Les coûts d'autres intrants tels que la main-d'œuvre et le capital sont également positivement liés à l'adoption de la technologie d'irrigation moderne. Negri & Brooks (1990) montrent que les agriculteurs aux États-Unis passent de l'irrigation par inondation ou par sillon à l'irrigation par aspersion lorsque le coût de la main-d'œuvre est élevé, probablement parce que l'irrigation gravitaire exige plus de main-d'œuvre que l'irrigation par aspersion. La disponibilité de la main-d'œuvre est un autre facteur qui a été examiné dans un certain nombre d'études sur l'adoption. La direction de l'impact du travail sur les décisions d'adoption dépend des caractéristiques de la technologie et de ses besoins en main-d'œuvre. La disponibilité de la main-d'œuvre est également un facteur important dans le processus d'adoption. Si les technologies d'irrigation traditionnelles sont plus intensives en main-d'œuvre, mais que la main-d'œuvre n'est pas disponible, leur adoption est compromise. Les technologies économes en main-d'œuvre sont plus faciles à adopter que les technologies à forte intensité en main-d'œuvre. La disponibilité de la main-d'œuvre a été également mentionnée comme facteur dans la détermination du niveau d'adoption. L'incertitude quant à la disponibilité de la main-d'œuvre (en particulier en haute saison) accélère l'adoption de la technologie (Weil, 1970).

La disponibilité de la main-d'œuvre est une autre variable souvent mentionnée qui influe sur les décisions des agriculteurs d'adopter de nouvelles pratiques ou de nouveaux intrants agricoles. Certaines nouvelles technologies permettent d'économiser relativement la main-d'œuvre, tandis que d'autres sont à forte intensité en main-d'œuvre (Feder *et al.*, 1985). Quand les marchés de la main-d'œuvre locale fonctionnent correctement, les agriculteurs peuvent embaucher de la main-d'œuvre si nécessaire. Lorsque ces marchés ne sont pas fonctionnels, les ménages doivent fournir leur propre main-d'œuvre pour les activités agricoles, de sorte qu'ils peuvent choisir de ne pas adopter des technologies qui exigeraient plus de main-d'œuvre à un moment précis lorsque que le ménage peut la fournir. Inversement, les agriculteurs peuvent choisir d'adopter des technologies qui économisent la main d'œuvre. Par conséquent, un

ménage agricole comptant un nombre réduit de membres actifs est plus susceptible d'être en mesure de mettre à l'essai puis d'adopter une nouvelle technologie potentiellement rentable.

L'adoption de l'irrigation au goutte-à-goutte tend à économiser la main-d'œuvre d'irrigation, mais elle nécessite un capital humain important pour la conception et le management (Taylor & Zilberman, 2017). Les systèmes d'aspersion nécessitent beaucoup plus de travail que les méthodes d'irrigation de surface, car les lignes d'aspersion doivent être déplacées à intervalles réguliers pour irriguer de larges parcelles (Wichelns *et al.*, 1996). La plupart des chercheurs s'accordent à dire que les contraintes opérationnelles des systèmes agricoles africains sont la rareté de la main-d'œuvre en haute saison (Feder *et al.*, 1985).

La littérature a également identifié le prix de l'eau comme un facteur incitatif important pour l'adoption de technologies d'irrigation économes en eau (Caswell & Zilberman 1985, Negri & Brooks 1990, Green *et al.*, 1996). De nombreux chercheurs ont montré, dans leurs études, le lien entre le prix de l'eau et la prise de décision de l'utilisation d'une technologie d'irrigation et trouvent que l'adoption de technologies permettant d'économiser de l'eau est positivement corrélée avec le prix de l'eau (Sunding, 2005 ; Dinar & Yaron, 1992 ; Cason & Uhlaner, 1991 ; Caswell & Zilberman, 1985).

Dans le cas du pompage des eaux souterraines, l'adoption de l'irrigation au goutte-à-goutte peut augmenter avec le temps à mesure que le niveau de l'aquifère diminue, les prix de l'eau augmentent dans d'autres régions, ou si les coûts fixes de la technologie diminuent en raison de l'apprentissage et des nouvelles innovations (Shah *et al.*, 1995). L'augmentation du prix de l'eau a été identifiée comme une incitation clé pour les irrigants à adopter des systèmes d'irrigation économes en eau (Moreno & Sunding., 2005).

La littérature empirique sur l'adoption des technologies d'irrigation a montré que le prix de l'eau constitue une incitation importante dans la décision d'adoption des systèmes d'irrigation conservateurs d'eau. Avec une augmentation du coût de l'eau d'irrigation, les études de Caswell & Zilberman (1985) et Carey & Zilberman (2002) ont montré que les agriculteurs ont changé leurs préférences pour l'irrigation par aspersion et l'irrigation goutte à goutte par rapport au système d'irrigation gravitaire. Ils ont également montré que les utilisateurs d'eau souterraine sont plus susceptibles d'adopter de nouvelles technologies d'irrigation que les utilisateurs d'eau de surface.

Si l'on considère le prix de l'eau comme un facteur économique déterminant dans l'adoption des technologies d'irrigation, on constate que dans toutes les régions où le prix de l'eau est plus élevé, la diffusion des technologies économes en ressources a été beaucoup plus rapide que dans les régions où les agriculteurs doivent payer moins pour l'eau. Cela a été largement corroboré, avec un degré élevé de consensus parmi les auteurs (Caswell & Zilberman, 1985, 1986 ; Dinar & Yaron, 1990 ; Caswell *et al.*, 1990 ; Negri & Brooks, 1990 ; Schaible *et al.*, 1991 ; Shah *et al.*, 1995 ; Green *et al.*, 1996b ; Green & Sunding, 1997 ; Schuck & Green, 2001 ; Carey & Zilberman, 2002 ; Foltz, 2003).

Le coût de l'eau est également corrélé positivement avec l'adoption des technologies modernes d'irrigation. Par exemple, Caswell & Zilberman (1985) ont montré que l'augmentation du coût de l'eau a un impact significatif sur la tendance à adopter les technologies modernes d'irrigation en Californie ; par conséquent, les politiques de tarification de l'eau peuvent conduire à l'adoption des technologies économes en eau. Negri et Brooks (1990) et Green *et al.* (1996) ont trouvé qu'un coût élevé de l'eau accroît la probabilité d'adoption des technologies d'irrigation efficiente.

Green *et al.* (1996) ont montré que les prix de l'eau sont en corrélation positive avec l'adoption de l'irrigation goutte à goutte, c'est-à-dire que les agriculteurs californiens passent de l'irrigation à la raie et par aspersion à l'irrigation goutte à goutte lorsque le prix de l'eau augmente. Negri et Brooks (1990) utilisent des données de recensement provenant de trente États américains pour estimer l'adoption de l'irrigation par aspersion par les agriculteurs et montrent que la probabilité d'adopter l'irrigation par aspersion augmente à mesure que le prix de l'eau augmente. Dinar et Yaron (1990) montrent également que l'augmentation du prix de l'eau a un impact positif sur le taux d'adoption des technologies modernes d'irrigation par les agriculteurs israéliens.

Cependant, Green *et al.* (1997) ont utilisé des données de terrain de la vallée centrale de la Californie et montrent que le prix de l'eau a des effets différents sur différentes cultures. Les producteurs d'agrumes de grande valeur sont plus susceptibles de passer à l'irrigation au goutte-à-goutte à mesure que le prix de l'eau augmente, tandis que les viticulteurs sont moins sensibles aux variations du prix de l'eau.

Moreno & Sunding (2005) ont montré que les incitations financières, particulièrement les augmentations du prix de l'eau, peuvent avoir un grand impact sur le comportement d'adoption. Green et Sunding (1997) ont montré, d'une part, que l'adoption du goutte-à-goutte dans la production des agrumes est sensible aux variations du prix de l'eau et, d'autre

part, que le profit de l'agriculteur dépend de l'impact de l'augmentation du prix de la ressource sur l'efficacité de l'irrigation des systèmes adoptés. Caswell & Zilberman (1985), Negri & Brooks (1990) et Dinar *et al.* (1992) ont, eux aussi, constaté une relation positive entre les coûts de l'eau et l'adoption de l'aspersion alors que Green et ses collaborateurs (1996a, 1996b) ont montré que le prix de l'eau avait un effet négatif mais statistiquement insignifiant.

Dans le cas du pompage des eaux souterraines, l'adoption de l'irrigation au goutte-à-goutte peut augmenter avec le temps à mesure que le niveau de l'aquifère diminue, et les prix de l'eau augmentent dans d'autres régions, ou s'il y a une réduction du coût fixe de la technologie en raison de l'apprentissage et des nouvelles innovations (Shah *et al.*, 1995). Caswell & Zilberman (1986) suggèrent que la plus grande partie de l'adoption du goutte-à-goutte s'est faite sur des terres utilisant des eaux souterraines avec des cultures de grande valeur, et que la probabilité d'adoption augmente avec la profondeur des puits.

Dans une étude ultérieure, Dinar *et al.* (1992) ont confirmé ces résultats avec des données de 1989. Ils ont découvert que les adoptants y compris les producteurs dans les régions côtières de la Californie qui ont dû faire face à des prix élevés de l'eau et qui ont cultivé des arbres, des fraises et des tomates fraîches. Beaucoup d'agriculteurs de la vallée centrale de la Californie, qui disposaient de droits d'utilisation de l'eau ou d'un accès à de l'eau de surface bon marché, n'ont pas trouvé cette technologie attrayante. Avec beaucoup d'eau, l'effet de rendement de la technologie n'était pas très prononcé et l'économie d'eau n'était pas économiquement significative pour l'agriculteur. L'adoption dans la vallée centrale a également été ralentie par une poignée de fabricants peu recommandables offrant de l'équipement mal conçu, ce qui a donné au goutte à goutte une réputation risquée (Caswell 1982).

La disponibilité réduite des ressources en eau dans le monde a incité de nombreux gouvernements à envisager des systèmes de tarification efficaces de l'eau pour améliorer son allocation. Une utilisation plus efficace des ressources en eau nécessite des prix de l'eau qui reflètent sa rareté et qui encouragent l'adoption de technologies d'irrigation qui augmentent l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

Les prix servent d'indicateur de la rareté et de la valeur de l'eau, donc lorsqu'ils ne parviennent pas à communiquer avec précision la valeur réelle de l'eau, les agriculteurs et les utilisateurs d'eau en général sont induits à l'utiliser à mauvais escient. Dans l'ensemble, la littérature sur l'adoption du goutte-à-goutte indique qu'elle tend à accroître le bénéfice de l'agriculteur, qui correspond aux recettes moins le coût des intrants variables. Cependant, le goutte-à-goutte nécessite un plus grand investissement en capital. Le compromis entre le bénéfice de

l'exploitation et l'investissement est crucial pour déterminer l'adoption. L'adoption est susceptible d'augmenter avec une hausse de la production et des prix de l'eau, et à mesure que le coût des intrants variables diminue (Schoengold & Zilberman, 2007).

Le choix des cultures

Un autre résultat qu'on trouve dans la littérature est l'importance du type de culture dans le choix de la technologie d'irrigation. Théoriquement, l'allocation de la terre peut avoir un impact sur le choix de la technologie d'irrigation. Les besoins en eau par culture et ainsi la valeur marginale de la conservation de l'eau sont variables. En plus, et pour des raisons agronomiques, les systèmes d'irrigation ont des performances différentes selon le type de culture.

Plusieurs recherches ont discuté en profondeur le rôle du choix de la culture dans la décision d'adoption des technologies d'irrigation. La probabilité d'adoption d'une technologie d'irrigation moderne dépend également du type de culture. Le facteur type de cultures et agronomie imposent des contraintes naturelles à l'adoption de certaines technologies avec certaines cultures. Par exemple, il est généralement impraticable de cultiver la luzerne avec le système goutte à goutte. Inversement, des facteurs type de cultures peuvent encourager l'utilisation des technologies spécifiques pour certaines cultures. La culture de la vigne sous système d'aspersion est plus vulnérable aux dommages importants causés par les maladies cryptogamiques par rapport à la vigne cultivée par la technologie gravitaire ou goutte à goutte. Ces observations soulignent l'importance d'inclure explicitement le type de cultures dans l'estimation.

Plusieurs études ont essayé d'analyser l'impact du choix de la culture sur l'adoption des technologies d'irrigation. Caswell & Zilberman, (1985, 1986), Green *et al.* (1996a) et Moreno & Sunding (2003, 2005) ont étudié le rôle du type de culture dans la sélection de la technologie d'irrigation et ont montré que l'adoption des technologies d'irrigation est fortement dépendante du choix de la culture. Les recherches de Green *et al.* (1996a) ont montré que les agriculteurs qui cultivent des cultures pérennes sont passés de l'irrigation gravitaire à l'irrigation par aspersion.

Moore *et al.*(1994) montrent que la réponse aux variations du prix de l'eau varie selon la culture. Cela, indique que la productivité des technologies d'irrigation diffère également selon les cultures. Il n'est donc pas surprenant que le choix des cultures ait été un facteur important dans le choix de la technologie, en particulier au niveau de la parcelle (Green *et al.*,1996a). Green *et al.*,(1996a) montrent que le choix des cultures est important pour le choix de la technologie: les besoins en eau varient d'une culture à l'autre, par conséquent la valeur marginale

de la technologie d'irrigation varie d'une culture à l'autre. De plus, ils estiment l'adoption des technologies d'irrigation au niveau microéconomique. Ils ont inclus quatre types de cultures comme variables explicatives exogènes dans leur estimation de l'adoption des technologies.

La diversification de la production a augmenté la probabilité d'adopter des technologies intégrées d'irrigation complémentaire et de collecte de l'eau pour les producteurs de pommes de terre, de blé et d'autres cultures commerciales en Chine (He *et al.*, 2007). Par ailleurs, d'autres chercheurs comme Lichtenberg (1989), Dinar & Yaron (1990), Shrestha & Gopalakrishnan (1993) et Green & Sunding (1997) ont limité leur analyse de l'adoption aux cultures individuelles, c'est à dire avec un type de culture spécifique. Dinar et Yaron (1990) ont examiné l'adoption sur les agrumes, Lichtenberg(1989) a examiné l'adoption sur les céréales et Shrestha & Gopalakrishnan (1993) ont étudié l'adoption de la technologie goutte à goutte sur la canne à sucre.

Bien que ces études soient pertinentes, elles sont limitées par le fait qu'elles considèrent un type de culture spécifique et ignorent les différences de comportement d'adoption entre les types de cultures. Globalement, toutes ces études ont traité les choix de cultures comme des facteurs exogènes dans l'analyse des choix des technologies d'irrigation et ils ont montré que l'adoption des technologies d'irrigation est fortement dépendante du choix de la culture.

Les caractéristiques des technologies

Les caractéristiques technologiques, en particulier les coûts d'installation, sont également étudiées et sont jugées pertinentes pour le choix des technologies disponibles par les producteurs (Moreno & Sunding, 2005). La décision d'adopter est souvent une décision d'investissement. Et comme le notent Caswell *et al.* (2001), cette décision représente un changement dans les possibilités d'investissement des agriculteurs.

On peut donc s'attendre à ce que l'adoption dépende du coût d'une technologie et de la possession par les agriculteurs des ressources nécessaires. Les technologies à forte intensité de capital ne sont abordables que pour les agriculteurs les plus riches (El-Oster & Morehart, 1999) et donc l'adoption de ces technologies est limitée aux grands agriculteurs qui ont de la richesse (Khanna, 2001). En outre, les changements qui coûtent peu sont adoptés plus rapidement que ceux qui nécessitent des dépenses importantes, donc l'étendue et le taux d'adoption peuvent dépendre du coût d'une technologie.

La théorie économique suggère qu'une réduction du prix d'un bien ou d'un service peut entraîner une augmentation de la demande. Le coût des technologies d'irrigation économes en eau

joue un rôle majeur sur la volonté des irrigants à s'équiper (Dinar & Yaron, 1992). Les technologies d'irrigation au goutte-à-goutte et aspersion nécessitent des investissements supplémentaires (Gallardo & Sauer, 2018). Les considérations de coûts sont un facteur important dont les agriculteurs doivent tenir compte lorsqu'ils prennent des décisions concernant les pratiques à adopter sur leur ferme (Lichtenberg, 2004).

Le degré d'aversion au risque

La décision d'adoption des agriculteurs dépend de leur perception du risque associé au choix de la nouvelle technologie par rapport aux technologies alternatives et des états de la nature qui peuvent être réalisés après la prise de décision d'adoption. Une connaissance limitée de la performance des nouvelles technologies dans d'autres états de la nature peut être une contrainte. L'adoption partielle et l'exposition à différents états de la nature peuvent, avec le temps, aider les agriculteurs à construire des attentes réalistes et plus précises sur les technologies alternatives et ainsi influencer le processus d'adoption et d'adaptation. Les ménages exposés à des chocs climatiques antérieurs et qui ont une aversion pour le risque sont plus susceptibles de choisir une technologie moins risquée lorsqu'ils ont développé leurs connaissances sur ces technologies (Amare *et al.* 2012 ; Antle, 1987 ; Holden & Quiggin, 2017).

Un individu peut avoir plusieurs degrés d'aversion au risque : il peut prendre des risques dans ce cas-là, on parlera d'un individu risquophile ; il peut aussi être neutre au risque, ou alors être risquophobe, et l'individu prendra alors le moins de risques possibles. Feder & Umali (1993) ont souligné que l'aversion pour le risque conduit un décideur à se diversifier pour réduire le risque lié au revenu, en particulier en l'absence des économies d'échelle par rapport à la superficie allouée à la nouvelle technologie. Le risque a été considéré comme un facteur important qui détermine le taux d'adoption des nouvelles technologies (Feder *et al.* 1985 ; Ghadim & Pannell 1999 ; Marra *et al.*, 2003).

Dans la plupart des cas, les nouvelles technologies sont porteuses de risques, car les rendements des cultures sont plus incertains avec une technologie peu connue. La perception du risque est un facteur endogène et, par conséquent, les répercussions du risque sur les décisions des agriculteurs peuvent changer si les perceptions des agriculteurs changent (Feder & O'Mara 1982). Les perceptions des risques liés aux nouvelles technologies diminuent au fil du temps grâce à l'acquisition d'expérience et de connaissances (Feder & Umali, 1993). L'attitude d'un agriculteur face au risque et sa perception du risque sur la rentabilité des nouvelles technologies influencent toutes les décisions d'adoption (Ghadim & Pannell, 1999).

Les tentatives empiriques d'étudier les rôles du risque et l'incertitude quant à l'adoption ont été étudiées par Feder *et al.* (1985), Feder & Umali (1993) et Marra *et al.* (2003). Le risque est une composante importante de la production agricole et joue un rôle important dans les décisions de production des agriculteurs, en particulier celles concernant l'adoption de pratiques de conservation.

L'introduction de nouvelles technologies d'irrigation et l'intensification de la production introduisent des risques potentiels pour l'exploitation agricole et peuvent entraîner des changements dans les revenus nets (rendements et/ou coûts de production des cultures). Lorsque les résultats sont incertains, les agriculteurs peuvent être plus réticents à adopter de nouvelles pratiques et une compensation supplémentaire peut être nécessaire pour induire leur adoption.

Lorsqu'on étudie l'adoption de nouvelles technologies agricoles, la perception des probabilités de distribution des revenus nets, la variance des revenus nets ainsi que l'aversion au risque sont des facteurs qui influent sur cette décision (Marra *et al.*, 2003). Le rendement dépend de différentes techniques et le manque de connaissances sur les techniques de production appropriées peut avoir un impact négatif sur les rendements. Les différences de climat, la susceptibilité aux maladies et l'incertitude quant à la disponibilité en temps voulu d'importants intrants peuvent avoir une incidence importante sur le processus d'adoption. Les choix d'adoption sont basés sur les probabilités subjectives des agriculteurs, d'où l'importance de leur connaissance des nouvelles technologies (Feder *et al.*, 1985).

La nature des nouvelles innovations et les limitations de l'environnement rural sont telles qu'il existe des coûts fixes d'adoption, dans ce cas, une plus grande aversion pour le risque chez les petits agriculteurs est un facteur qui peut expliquer, en soi, les différences observées dans l'adoption des technologies en fonction de la taille de l'exploitation d'un point de vue statique et dynamique.

Feder & O'Mara (1981) pensent que l'aversion pour le risque entrave l'adoption et que les petits agriculteurs sont plus réticents à prendre des risques. Ces croyances aident à expliquer le lien entre la taille de la ferme et l'adoption. Bien qu'il n'y ait pas eu beaucoup d'études explorant le lien entre l'aversion au risque et l'adoption, il n'y a pas de consensus sur le rôle de l'aversion au risque dans les décisions d'adoption.

Même si la littérature sur l'adoption des technologies d'irrigation améliorées est bien documentée, il existe peu de preuves concernant les effets du risque de production sur les décisions d'adoption. Deux exceptions sont Koundouri *et al.* (2006) et Torkamani & Shajari (2008). Les

deux études concluent à l'existence d'un effet positif et significatif du risque de production sur les décisions d'adoption, soutenant que la nouvelle technologie d'irrigation est un intrant qui réduit le risque. Les deux études fondent leurs résultats sur des échantillons d'irrigants, permettant seulement de modéliser les changements d'irrigations traditionnelles vers les irrigations modernes.

Même si la plupart des recherches sur l'adoption des technologies d'irrigation ont concerné les facteurs socioéconomiques et environnementaux qui déterminent le choix de la technologie d'irrigation, certains travaux ont reconnu l'importance du facteur risque dans la décision d'adoption de n'importe quelle innovation technologique (Jensen 1982, Just & Zilberman, 1983).

L'incertitude liée à l'adoption d'une technologie d'irrigation provient essentiellement du risque perçu de la production future après adoption. Plusieurs auteurs ont étudié empiriquement l'adoption technologique en tenant compte des perceptions des agriculteurs relatives au degré du risque concernant la production future. Saha *et al.* (1994) ont développé un modèle d'adoption technologique lorsque l'information est incomplète et l'output est incertain. L'estimation empirique emploie une structure dichotomique et continue et un échantillon non aléatoire. Les résultats ont identifié des facteurs économiques et subjectifs qui affectent l'adoption technologique. Ils ont montré aussi le rôle de l'information (et ainsi, les améliorations du capital humain de l'exploitant dans la décision d'adoption des technologies émergentes. Cependant, les auteurs ont supposé explicitement qu'en absence d'adoption, les profits des exploitants ne sont pas aléatoires et ainsi dans leur structure théorique, ils ont supposé que le risque de la nouvelle technologie et les attitudes des exploitants vis-à-vis du risque n'affectent pas les décisions d'adoption.

Kim & Chavas (2003) ont étudié la relation entre le changement technologique et le risque de production, à travers le calcul des moments conditionnés de la production et du profit à partir des données de panel sur la production du blé en Wisconsin. Les résultats empiriques ont indiqué que le progrès technologique contribue à la réduction de l'exposition au risque dans le temps, bien que cet effet varie entre les régions.

Koundouri *et al.* (2006) ont étendu le modèle de Saha *et al.* (1994) en introduisant explicitement le risque dans les décisions d'adoption contre non adoption. Dans les régions arides et semi arides où l'eau est un input rare, l'agriculteur attend à ce que les niveaux de production (et ainsi les profits) deviennent stochastiques parce qu'ils sont fonction des conditions climatiques. Désormais, les agriculteurs averses au risque peuvent considérer que l'adoption des

technologies efficaces d'irrigation réduit le risque de la production durant les périodes de pénurie d'eau. La procédure d'estimation des effets du risque de production est développée en deux étapes : dans la première étape, ils ont estimé les trois premiers moments de la distribution du profit ; dans la deuxième étape, ils ont incorporé les moments estimés dans un modèle de choix technologique. Les résultats empiriques de Koundouri *et al.* (2006) ont suggéré que les fermiers choisissent d'adopter une nouvelle technologie d'irrigation pour réduire le risque de production. Ils ont montré aussi l'importance du capital humain dans la décision d'adoption des technologies économes en eau. L'incertitude est un autre facteur qui influence l'adoption de la technologie par les agriculteurs. L'utilisation de certaines technologies pour un agriculteur averse au risque peut davantage différer sous incertitude que sous certitude.

Un certain nombre d'études abordent la question du risque lié à l'utilisation d'une technologie, par exemple celles de Zilberman *et al.*, (1997) et de Leathers & Ouggin (1991). Le risque peut être une autre considération importante. Si la nouvelle technologie réduit le risque de rendement, la probabilité d'adoption augmentera (Just et Zilberman, 1983). L'équipement d'irrigation réduit la dépendance à l'égard des précipitations variables, ce qui réduit les risques. Dans les modèles d'adoption individuels statiques, les agriculteurs adoptent seulement une technologie agricole moderne et décident si et dans quelle proportion l'adopter (Feder *et al.*, 1985).

La diversification des cultures

La diversification des cultures est une mesure du nombre de différentes cultures pratiquées. L'indice Herfindahl-Hirschman (HHI)¹⁷ a été utilisé comme mesure de la diversification des cultures. Il est possible que la décision d'utiliser une technologie d'irrigation plus efficace soit influencée par la décision d'un exploitant de se diversifier et vice versa. L'indice d'Herfindahl est une variable incluse pour mesurer l'exposition au risque des exploitants. Il mesure le degré de diversification des exploitants entre les cultures, mesuré en surface cultivée. Cet indice d'Herfindahl prend une valeur maximale de 1 pour la monoculture et diminue pour les exploitations mieux diversifiées.

En d'autres termes, la mesure de la diversification des cultures a une valeur de 1 lorsqu'il y a une spécialisation complète de l'exploitation et s'approche de 0 lorsque le nombre de cultures produites par l'exploitant augmente. Un indice d'Herfindahl faible indique un portefeuille de cultures

¹⁷ This concentration ratio sums the squared shares of each crop in total area operated and can be expressed as follows: $HHI = \sum_{i=1}^N (p_i/P)^2$ where p_i is the proportion of cultivated land area devoted to crop i , P is the area's total operated, N is the total number of crops. This index was chosen, among many other concentration indices, to measure on-farm diversification because of its simplicity of implementation, its adaptability to different types of crop diversification and because it possesses most of the characteristics of a good concentration index.

diversifié et moins risqué. La diversification des cultures sur l'exploitation agricole présente de nombreux avantages. D'un point de vue agronomique, elle permet de réduire l'utilisation d'intrants. Du point de vue économique, la diversification agronomique est un instrument de gestion des risques. Elle augmente la résilience économique des exploitations pour deux raisons (Chavas, 2008). Premièrement, elle diminue la vulnérabilité des exploitants au risque en diversifiant les sources de revenus. Les exploitants diversifient leur assolement et choisissent plusieurs cultures qui présentent différents niveaux de résistance aux ravageurs, maladies, et aux conditions climatiques ainsi que, dans certains cas, des degrés divers d'exposition au risque de marché. Les exploitants sont ainsi moins tributaires des conditions climatiques défavorables et des fluctuations des marchés des intrants agricoles et de la production. En effet, même si le rendement d'une culture est impacté par un risque climatique ou du marché, l'exploitant peut garantir un revenu minimum avec d'autres cultures.

La diversification des assolements réduit par ailleurs les coûts de production des exploitants agricoles. En effet, la succession des cultures permettrait de développer des systèmes de culture à faible niveau de consommation d'intrants et de réduire la dépendance des exploitations aux fertilisants et autres produits phytosanitaires. Les exploitants ayant des niveaux de l'indice de diversification plus élevés auraient tendance à être des exploitants plus averses au risque. En ce qui concerne l'adoption de technologies d'irrigation plus efficaces, l'effet de la diversification peut être difficile à identifier. Un exploitant dont le portefeuille de cultures n'est pas diversifié peut être plus enclin à adopter une technologie de réduction des risques.

Cependant, un exploitant ayant une aversion au risque peut à la fois être mieux diversifié et être plus susceptible d'adopter une technologie réduisant les risques. Si la nouvelle technologie réduit le risque de rendement, la probabilité d'adoption augmentera (Just et Zilberman, 1983). Les équipements d'irrigation réduisent la dépendance à l'égard de la variabilité des précipitations, ce qui réduit le risque. Les résultats empiriques de (Koundouri et al; 2006 et Torkamani et Shajari.2008, Salazar *et al.*, 2016) montrent qu'il y a un effet positif et significatif du risque de production sur les décisions d'adoption, arguant que la nouvelle technologie d'irrigation est un intrant qui réduit le risque de production.

Les caractéristiques du capital humain

Le rôle du capital humain dans l'adoption des technologies a été également cité dans la littérature. L'hypothèse est que l'apprentissage et l'accumulation de connaissances joue un rôle clé dans le processus d'adoption-innovation. Par exemple, la diffusion des nouvelles technologies en agriculture est directement liée au temps consacré à l'apprentissage. Si la vitesse de diffu-

sion des connaissances est accélérée, les technologies se répandront dans un court laps de temps.

Les connaissances (le capital humain) des irrigants jouent un rôle important pour expliquer leur comportement et leurs décisions d'investissements (Feder *et al.*, 1985). On pense que cet effet découle des connaissances et de l'expérience accumulée sur les systèmes de production agricole au fil des années d'observation et d'expérimentation de diverses cultures des systèmes agricoles, acquises au fil des années d'observation et d'expérimentation de diverses technologies.

Différents types de connaissances sont organisées dans les exploitations agricoles : des connaissances d'ingénierie hydraulique pour l'installation des systèmes d'irrigation, des connaissances à propos des caractéristiques des matériels d'irrigation utilisés pour produire, comment utiliser ces matériels, etc. Ces connaissances techniques dépendent du niveau initial de formation et sont constamment améliorées par des contacts avec les fournisseurs de matériel, le contact avec d'autres agriculteurs dans les réseaux associatifs ou coopératifs, le conseil agricole et les stages d'irrigation effectués. Plusieurs recherches ont affirmé que les variables du capital humain tels que l'âge, le niveau d'éducation, la vulgarisation et l'accumulation d'informations sont en corrélation positive avec l'adoption des technologies d'irrigation (Koundouri *et al.*, 2006 ; Genius *et al.*, 2014 ; Olen *et al.*, 2015).

Les risques élevés d'incertitudes pourraient être réduits par l'accumulation de l'expérience et si les innovations sont adoptées par un grand nombre de producteurs en moins de temps (Feder & O' Mara, 1981). Dans les recherches de Rahm & Huffman (1984) et Putler & Zilberman (1988), les impacts des variables du capital humain (âge, scolarité, expérience,) sur l'adoption de la technologie ont été analysés. Ils concluent que les variables du capital humain améliorent l'efficacité de la décision d'adoption. Les études qui ont cherché à identifier l'effet de l'éducation sur l'adoption, dans la plupart des cas, le rapportent aux années de scolarité formelle (Tjornhom, 1995, Feder & Slade, 1984). Les chercheurs ont montré que les caractéristiques individuelles des agriculteurs ont un impact sur l'adoption de technologies, les caractéristiques personnelles des agriculteurs, telles que leur âge, leur éducation et leur expérience, sont étroitement liées au comportement d'adoption (Swanson *et al.*, 1986). En Grèce, par exemple, les jeunes producteurs d'olives ainsi que ceux ayant un niveau d'éducation élevé sont plus susceptibles d'adopter de nouvelles technologies d'irrigation (Koundouri *et al.*, 2006).

Schultz (1964) a démontré que « les changements dans l'environnement technologique augmentent la valeur de la capacité entrepreneuriale des agriculteurs ». La capacité est définie

comme « la capacité de percevoir, d'interpréter et de réagir à de nouveaux événements dans le contexte du risque ». L'éducation peut inciter les usagers à l'économie de l'eau et à une gestion plus efficiente, et leur faire prendre conscience du caractère collectif et rare de la ressource. Les variables du capital humain, comme le niveau de scolarité et les années d'expérience, sont des indicateurs indirects de la capacité d'un agriculteur à acquérir et à utiliser efficacement l'information sur les nouvelles technologies de production agricole.

La complexité croissante de certaines technologies de gestion des ressources peut accroître le besoin de compétences spécialisées (Gladwin, 1979). Les agriculteurs avec des niveaux plus élevés de capital humain sont plus susceptibles d'adopter des technologies complexes. Schultz (1975) a soutenu que l'éducation et l'expérience ont une influence distincte sur l'adaptation au changement. Un certain nombre d'études empiriques sur l'adoption ont examiné les relations entre l'adoption de nouvelles technologies agricoles et l'éducation.

L'éducation, les activités de vulgarisation agricole et d'autres mesures de développement humain jouent un rôle positif dans l'adoption parce qu'il faut des compétences pour faire face au changement et s'adapter aux technologies plus sophistiquées (Welch, 1978). Dans les travaux portant sur l'explication des choix des techniques d'irrigation, on a souvent émis l'hypothèse selon laquelle le niveau d'instruction des agriculteurs a un meilleur rendement explicatif.

En effet, de nombreuses études rapportent que la relation entre l'instruction et l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces est significativement positive. Schuck *et al.* (2005) ont montré une relation positive entre le niveau de scolarité atteint et l'adoption de la technologie d'irrigation par aspersion par les agriculteurs du Colorado. Zhou *et al.* (2008) ont également montré que le niveau d'éducation a un impact sur l'adoption de la technologie économe en eau par les agriculteurs chinois. Karami (2006) a montré qu'il existe une relation positive entre l'éducation et l'adoption de l'irrigation par aspersion par les agriculteurs en Iran. Le niveau d'éducation des agriculteurs joue un rôle vital dans l'adoption de l'irrigation goutte à goutte, les agriculteurs instruits sont plus conscients et prêts à apprendre les nouvelles technologies qui sont utiles pour leurs pratiques culturales en agriculture (Cason & Uhlaner, 1991). La causalité stipule que plus on est instruit plus on est prédisposé à investir dans les technologies d'irrigation plus efficaces.

La grande majorité de ces études montre sans équivoque que l'adoption des technologies d'irrigation économes en eau (en intensité ou en probabilité) est plus sensible à l'instruction des agriculteurs. En général, l'éducation est censée créer une attitude mentale favorable à l'ac-

ceptation de nouvelles pratiques, en particulier les pratiques à forte intensité d'informations et de management (Waller *et al.*, 1998 ; Caswell *et al.*, 2001).

Par ailleurs, l'âge est un autre facteur considéré comme influençant l'adoption, il est considéré comme une caractéristique latente dans les décisions d'adoption. Cependant, la direction de l'effet de l'âge sur l'adoption est controversée. En outre, étant donné que les bénéfices de l'adoption se produisent sur une longue période de temps, alors que les coûts se produisent dans les premières phases, l'âge (temps) de l'agriculteur peut avoir un effet profond sur l'adoption. Les agriculteurs plus âgés ont investi plusieurs années dans une pratique particulière, peuvent ne pas vouloir la mettre en danger en essayant une méthode complètement nouvelle.

Par ailleurs, la perception des agriculteurs selon laquelle le développement d'une technologie et les avantages qui en découlent nécessitent beaucoup de temps pour être réalisés, peut réduire leur intérêt pour la nouvelle technologie en raison de l'âge avancé des agriculteurs et de la possibilité de ne pas vivre assez longtemps pour en profiter (Caswell *et al.*, 2001 ; Khanna, 2001). Les jeunes agriculteurs, plus exposés aux sources d'information et plus instruits, sont également plus susceptibles d'adopter les technologies agricoles les plus récentes.

Les études sur les effets du capital humain sur l'adoption sont liées avec la théorie plutôt que la pratique. Les caractéristiques des producteurs, comme l'âge et l'éducation, sont souvent liés aux décisions d'adoption de l'irrigation (Koundouri *et al.* 2006). L'âge est l'une des caractéristiques des agriculteurs souvent étudiées dans les études empiriques sur l'adoption. La direction de l'impact de cette variable ne peut pas être prédéterminée, mais de nombreuses études empiriques ont révélé une relation négative entre l'adoption des technologies et l'âge du décideur.

Plusieurs travaux rapportent que l'âge influence l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces. Feder & Umali, (1993), tout comme, Abdulai & Huffman, (2005), Koundouri *et al.* (2006) et Wang *et al.*, (2015) trouvent une causalité négative entre l'âge des agriculteurs et l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces. Ces résultats suggèrent que plus on est âgé, moins on est porté à adopter les technologies d'irrigation plus efficaces. Ce résultat est quelque peu nuancé par d'autres études qui ne trouvent pas de causalité significative (Salazar *et al.*, 2016). De manière générale, les études consultées ont intégré dans leur explication des variables indiquant le capital humain. Les variables les plus considérées portent sur le niveau d'instruction et l'âge.

Les revenus des agriculteurs

Le revenu des producteurs est également une variable importante concernant l'adoption de systèmes d'irrigation. Le revenu agricole est considéré comme un facteur clef dans l'adoption, d'abord par son effet sur l'aversion au risque, plus un agriculteur dégage des revenus élevés plus il est prêt à prendre des risques.

De plus, le niveau des revenus conditionne l'investissement et permet aussi de supporter des pertes à court terme lors de la mise en place de la technologie qui nécessite un investissement lourd. Le revenu des ménages est en corrélation positive avec l'adoption des technologies d'irrigation ; Abdulai & Huffman (2005) et Zhou *et al.* (2008) montrent qu'il existe une corrélation positive entre le revenu des ménages et la probabilité que les agriculteurs chinois adoptent des technologies de production de riz économes en eau.

Le revenu agricole a généralement une relation de causalité positive sur l'adoption. Cependant, la variété des indicateurs utilisés dans des études ne permet pas de mettre en évidence la même causalité dans le choix de l'agriculteur. En effet, une exploitation peut avoir un revenu élevé et une rentabilité faible qui elle-même n'est pas forcément liée à la richesse de l'exploitant.

Les revenus non agricoles, en particulier ceux provenant d'activités non agricoles, peuvent stimuler l'adoption de l'irrigation, car ils constituent une source supplémentaire de capital. Cependant, la probabilité d'adoption diminue lorsque le revenu non agricole devient la principale source de revenus (Namara *et al.*, 2007).

Tableau 30. Les résultats empiriques sur l'adoption et la diffusion de l'irrigation économe en eau

Localisation	L'étude	Culture choisie	Facteurs déterminants d'adoption
Californie	Caswell & Zilberman (1985) Moreno & Sunding (2003)	Vigne, fruits à noyau, noix, pistache, amande.	Coûts de l'eau ; utilisation des eaux souterraines ; production de fruits à noyaux ; différences de situations géographiques. Prix de l'eau ; service, région; pente du terrain ; perméabilité du sol ; taille; source d'approvisionnement en eau, type de culture
Israël	Dinar & Yaron (1992)	Les agrumes	Coûts de l'eau ; effet de rendement ; subventions pour l'équipement
Hawaii	Shrestha & Gopalakrishnan (1993)	La canne à sucre	Effet du rendement ; coûts de l'eau ; qualité des terres ; taille.
Inde	Namara <i>et al.</i> (2007)	Graines oléagineuses, coton, céréales, fruits,	Éducation ; statut social ; disponibilité de liquidités ; accès aux eaux souterraines ; production de cultures à haute valeur ajoutée.
Tunisie	Foltz (2003)	Toutes les cultures	Accès au crédit ; accès à l'information ; production de fraises
Kenya	Kulecho & Weatherhead (2006)	Cultures maraîchères	Expérience de l'agriculteur ; éducation ; accès à l'eau ; accès à l'information et au soutien technique.
Grèce	Koundouri <i>et al.</i> (2006) Genius <i>et al.</i> (2014)	Toutes les cultures Oliviers	Risques de production ; qualité des terres ; éducation ; âge ; accès à l'information. Accès à l'information (canaux formels et informels) ; coûts de l'eau ; prix des cultures ; éducation ; qualité des terres.
France	Richefort (2008)	Canne à sucre	Surface par actif, Besoin en eau, Intensification, Diversification, Autre activité, Association, l'effet d'imitation,
Espagne	Alcon <i>et al.</i> (2011)	Légumes, agrumes, arbres fruitiers	Coûts de l'eau, disponibilité du crédit, accès à l'information, éducation, possibilité d'essai technologique.
Chili	Hunecke <i>et al.</i> (2017)		Le capital humain (niveau d'éducation,) ; le capital physique (taille des exploitations) ; l'expérience, capital social (taille des réseaux, réseaux formels, réseaux informels), confiance (confiance générale, confiance dans les institutions, confiance dans les communautés)
China	Zhang <i>et al.</i> (2019)		Éducation ; taille de l'exploitation ; démonstration à la ferme ; coopérative ; formation, eaux souterraines ; accès à l'information ; associations d'utilisation de l'eau, zone sujette à la sécheresse, agriculteurs voisins, subventions publiques. L'âge, la spécialisation de la production et le coût ont un effet négatif

Le rôle du revenu non agricole dans la détermination de l'utilisation des technologies d'irrigation peut être analysé sous deux angles. Premièrement, il peut indiquer un revenu supplémentaire pour financer les dépenses d'investissement. De toute évidence, ce raisonnement dépend du montant du revenu non agricole gagné et de son utilisation dans l'exploitation agricole. Deuxièmement, les revenus non agricoles pourraient refléter le besoin d'un revenu supplémentaire pour les frais de subsistance de ménage agricole et les dépenses essentielles de production agricole autres que l'investissement dans les technologies d'irrigation, et maintenir des pratiques d'irrigation traditionnelles. Pour faire une distinction claire entre les deux, il est nécessaire d'obtenir des renseignements sur la ou les raisons du travail hors exploitation agricole.

Pour donner un aperçu global des résultats de ces recherches, le Tableau 30 caractérise les facteurs influençant l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces. L'accent est mis sur les évidences empiriques apportées par des études réalisées dans les pays développés. À l'évidence, une forte disparité caractérise ses travaux et leurs estimations.

4. Conclusion

La revue de la littérature économique dans le domaine de l'adoption des technologies en agriculture nous a permis de dégager les idées clés liées aux variables influençant l'adoption des technologies et l'innovation. Par ailleurs, la littérature sur l'adoption des technologies agricole la plus pertinente à la présente étude est synthétisée, en se focalisant spécifiquement sur l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces analysées dans le cadre de cette recherche. Par conséquent, la majeure partie de la revue de littérature porte sur l'adoption de la technologie d'irrigation. Dans la plupart des études antérieures, les principaux facteurs qui influencent sur le choix des agriculteurs en matière d'adoption des technologies d'irrigation peuvent être classés comme ceux-ci : les variables environnementales qui influent sur le choix des technologies d'irrigation incluent la rareté physique de l'eau, les caractéristiques du sol et le climat, les variables institutionnelles incluent les efforts de vulgarisation et les projets de démonstration, les subventions ou prêts bancaires et enfin les variables socio-économiques qui sont la taille de l'exploitation agricole, le prix de la production, le choix des cultures, le prix de l'eau, le coût des autres intrants, les revenus agricoles et le niveau de scolarité, l'âge, les risques.

Conclusion de la première partie

La première partie de notre thèse avait pour objectif d'explorer le cadre conceptuel sur l'irrigation et ses enjeux. Plusieurs enseignements pourraient être tirés de cette revue bibliographique. Premièrement, le premier chapitre a fait le tour sur l'état des lieux des ressources en eau en Algérie, avec un accent sur la plaine de Mitidja. Nous pouvons tirer les constats suivants.

La politique algérienne de l'eau est davantage axée sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'une meilleure utilisation des ressources déjà disponibles, ce qui provoque par la suite des exubérances financières irrationnelles. La satisfaction par les volumes mobilisables risque de ne pas être garantie à long terme, compte tenu, des aléas climatiques et de la faiblesse des ressources superficielles et souterraines. Si le déséquilibre entre l'offre et la demande continue à se creuser, une crise aiguë surviendra dans un horizon assez proche, il faut maîtriser cette situation, par une réorientation radicale de la politique actuelle de l'eau, sinon, la nature imposera une solution dont le coût sera certainement exorbitant.

De loin le premier consommateur en eau, l'agriculture irriguée est sollicitée face à une multitude de défis à savoir la garantie de la sécurité alimentaire, le maintien et le développement de la structure du milieu rural. La réponse à toutes ces attentes fait appel à de nombreux intervenants qui ont actionné plusieurs mesures dans le but d'assurer la durabilité de l'agriculture irriguée.

Le deuxième chapitre cerne particulièrement les enjeux de l'irrigation. L'ensemble des concepts et le contenu des connaissances explorées nous enseignent beaucoup sur les aspects de l'économie d'eau. Nous pouvons tirer les constats suivants.

Les technologies d'irrigation économes en eau ont été longtemps considérées comme une méthode efficace pour réduire l'utilisation de l'eau d'irrigation et atténuer les pénuries d'eau régionales. Cependant, les rapports de plus en plus nombreux faisant état d'une pénurie d'eau plus grave et l'application croissante des technologies économes en eau dans le monde ont rendu nécessaire une réévaluation de l'économie d'eau en agriculture.

Ainsi, lors de la conception de politiques de gestion durable de l'utilisation des eaux souterraines agricoles, les décideurs politiques doivent tenir compte de toutes les réponses comportementales possibles à leur politique, y compris les conséquences perverses involontaires qui peuvent survenir.

Comme le soulignent Ward & Pulido-Velazquez (2008), l'utilisation de l'eau est rarement comptabilisée et mesurée avec précision, et les mesures de la disponibilité de l'eau à long terme, tels que les niveaux des nappes phréatiques, sont rarement disponibles. En fait, les définitions précises des droits sur l'eau et l'application de ces droits sont rares dans la plupart des pays du monde.

Concernant le troisième chapitre, il a permis d'explorer beaucoup d'hypothèses émises dans la littérature à propos de l'adoption des systèmes d'irrigation économes en eau. Cette exploration nous a renseigné sur les facteurs déterminants sur le plan théorique. Ainsi, nous pouvons encore tirer quelques constats utiles pour l'étude.

Les résultats des études théoriques montrent que les technologies d'irrigation permettant de conserver l'eau sont plus efficaces pour l'application de l'eau et devraient être plus utilisées que les techniques gravitaires dans les zones à sols sableux, les zones à forte pente, ou dans les zones où la nappe est profonde. L'exposition de la littérature économique dans le domaine de l'adoption des technologies en agriculture nous a permis d'explorer les idées de force qui se rapportent aux variables déterminant l'adoption et l'innovation technologique.

Les variables économiques dans ces travaux se rapportent essentiellement au prix, la rentabilité de la technologie, l'objectif de production et l'écoulement, ainsi que l'influence de certaines spécificités du secteur agricole telles que les potentialités des ressources naturelles. Concernant les variables non économiques, il s'agit plutôt de la structure agraire (structure foncière, accès aux crédits, etc.). L'effet des variables de l'environnement de production a concerné essentiellement les données de structure, telles que l'allocation des terres et l'accès aux facteurs, les contraintes matérielles et technologiques, le climat et le sol ainsi que la disponibilité des facteurs de production et le risque ainsi que les déterminants sociaux tels que l'éducation et l'expérience.

L'évaluation de l'investissement en irrigation, comme tout processus décisionnel, fait référence à des indicateurs technico-économiques. Ces indicateurs permettront par la suite de rationaliser le choix d'adoption et son intensité. Nous avons retrouvé également le rôle des pouvoirs publics qui peut favoriser et orienter la diffusion des nouvelles technologies dans un sens ou dans l'autre, c'est-à-dire stimuler, freiner et diriger la diffusion de ces nouvelles technologies, le rôle de l'accès aux facteurs de production et à l'information, et le paramètre social tel que niveau des exploitants.

PARTIE II. ANALYSE EMPIRIQUE DE L'ADOPTION DES TECHNOLOGIES D'IRRIGATION DANS LA MITIDJA

CHAPITRE 4 : MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE POUR L'ÉTUDE DE L'ADOPTION DES TECHNOLOGIES D'IRRIGATION DANS LA MITIDJA

L'étude approfondie de la littérature dans les chapitres précédents, nous confirme l'ambiguïté dans la mesure du concept d'adoption technique ainsi que dans le choix des déterminants, lesquels sont susceptibles de l'influencer. L'ensemble de ces éléments ont abouti à la formulation de plusieurs hypothèses de recherche relatives aux objectifs fixés lors de l'élaboration de la problématique. C'est pourquoi il importe maintenant de préciser une approche méthodologique qui mène à savoir comment nous pouvons construire une mesure de l'adoption des technologies d'irrigation. Dans cette optique, il existe deux étapes permettant d'étudier en profondeur la façon dont celle-ci définit, mesure et évalue l'adoption. La première étape de la démarche méthodologique consiste à choisir une approche de mesure de l'adoption. Cette étape est destinée à présenter de manière plus précise la méthode choisie afin de mesurer l'adoption et assurer une analyse pertinente des facteurs d'adoption dans les exploitations agricoles de la Mitidja. Par la suite, dans la deuxième étape, il s'agit de spécifier les variables qui vont être utilisées dans l'approche de mesure sélectionnée, et ce, à travers les études théoriques et les travaux empiriques antérieurs. 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.

Enfin, une présentation détaillée est établie de l'ensemble des outils analytiques employés dans notre thèse afin de mieux appréhender les procédures de modélisation utilisées dans les deux chapitres ultérieurs.

1. L'échantillon et résultats préliminaires d'enquête auprès des irrigants

1.1. Population de l'étude et procédure d'échantillonnage

L'étude a été réalisée dans la Tranche 1 du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest, situé dans la Wilaya de Blida. Pour étudier le comportement des agriculteurs-irrigants quant à leur choix d'adopter une technologie d'irrigation, ainsi que les facteurs qui ont influencé ce comportement, un pré-questionnaire a été conçu pour entretenir avec les chefs ou représentants des

exploitations collectives EAC, EAI et fermes privées¹⁸. Une liste nominative détaillée (une base de données exhaustive) de l'ONID et de la D.S.A. de Blida a été utilisée afin de pouvoir procéder notre échantillonnage pour l'étude. Elle comprend au total 473 exploitants-irrigants dans la Tranche 1 de Mitidja Ouest, zone d'étude, où ils occupent une surface de 7.849,32 hectares.

En utilisant une méthode d'échantillonnage aléatoire stratifiée, nous avons divisé la base de données des fermes en strates différentes. Une première stratification a donc consisté à tenir compte du périmètre irrigué auquel appartiennent les exploitations. Une deuxième stratification a consisté à tenir compte des statuts des exploitations agricoles, en cherchant à enquêter les irrigants du périmètre, mais pas seulement, les irrigants supposés être utilisateurs de l'eau de l'O.N.I.D. Puis nous avons procédé à une sélection aléatoire des exploitations pour chaque strate.

Cela nous a permis de disposer d'un nombre suffisant et représentatif d'observations pour chaque groupe par statuts fonciers. Par conséquent, 136 fermes ont été sélectionnées dans le périmètre irrigué de Mitidja Ouest Tranche 1, et les détails de l'échantillon sélectionné dans chaque groupe sont indiqués dans le Tableau 31 ci-dessous. Ainsi qu'on a obtenu un échantillon représentatif, dont 64 qui appartiennent au secteur Sud du périmètre de la Mitidja Ouest Tranche 1 ainsi que 36 qui appartiennent au secteur Ouest et enfin 36 qui appartiennent au secteur Est.

Par un questionnaire structuré (disponible en annexe1), les informations relatives à l'adoption des techniques d'irrigation sont collectées, ainsi que les caractéristiques des exploitations et des agriculteurs. En outre, d'autres informations telles que le nombre de forages, le système de production et les subventions aux équipements d'irrigation sont également recueillies. Les données utilisées dans le cadre de cette étude ont été collectées à partir d'enquêtes de terrain via des entretiens face à face dans la plaine de la Mitidja Ouest (Tranche 1) entre Janvier et Novembre 2020.

¹⁸ En 1987, les domaines agricoles socialistes sont morcelés, leurs terres étant partagées entre de petits collectifs d'anciens salariés de ces domaines, donnant naissance à des exploitations agricoles collectives (EAC) comptant au moins trois membres et des exploitations agricoles individuelles (EAI) disposant de droits d'infrastructure (matériel, bâtiments, cheptel, vergers, agrumes, etc.) à l'exception des terres, celles-ci restent dans le domaine public mais les attributaires des EAC/EAI bénéficient d'un droit de jouissance perpétuel (décret n° 87-19 du 8/12/1987). Les terres privées nationalisées dans le cadre de la révolution agraire sont restituées à leurs propriétaires en 1990 (en vertu du décret 90-25 du 18/11/1990) pour constituer des exploitations agricoles privées. En vertu de la loi foncière de 2010, l'usage perpétuel des terres publiques, qui était accordé aux bénéficiaires en vertu du décret de 1987, a été transformé en une concession de 40 ans renouvelable. Le choix est cependant fait de maintenir ces terres dans le domaine public, en transformant le droit de jouissance perpétuel des attributaires d'EAC et d'EAI en droit de concession de 40 ans (loi 10-03 de 2010). (In : *Journal Officiel de la République Algérienne*, n°. 46 du 18/08/2010, n° 10-03 du 15/08/2010).

Des entretiens, de deux heures et demi environ, ont été réalisés avec l'exploitant dans l'enceinte de son exploitation. L'entretien type se déroulait en deux temps : on cherchait d'abord à retracer avec précision l'évolution du matériel d'irrigation au sein de l'exploitation, depuis l'installation de l'agriculteur jusqu'en 2020, puis on cherchait à renseigner un ensemble de caractéristiques individuelles susceptibles d'expliquer les choix des irrigants en matière de techniques et de pratiques d'irrigation.

L'accès aux coordonnées des irrigants, leur disponibilité en période de travaux ainsi que le temps de transport nécessaire à chaque entretien furent les contraintes majeures de cette enquête, cela a probablement conditionné notre échantillon.

Notre base de sondage concerne donc 28,75% des irrigants exploitants et environ 33% de la surface totale du périmètre. La représentativité de l'échantillon est confortée par sa dispersion géographique, nécessaire pour prendre en compte les trois secteurs du périmètre. La taille souhaitable pour notre échantillon a été fixée à une centaine d'exploitations. L'étalement de l'aménagement du périmètre irrigué sur une période d'une trentaine d'années explique en partie la coexistence de différents équipements.

Tableau 31. La sélection de l'échantillon dans le périmètre irrigué de Mitidja Ouest Tranche 1

<i>Status</i>	<i>Population totale</i>	<i>(%)</i>	<i>Taille de l'échantillon</i>	<i>(%)</i>	<i>Pourcentage de la strate</i>
EAC	376	79.49	114	83.82	30.32
EAI	26	5.50	11	8.09	42.30
Privée	70	14.80	11	8.09	15.71
Ferme pilote	1	0.21	0.00	0.00	0.00
Total	473	100.00	136	100.00	28.75

Les données sont considérées comme représentatives de l'ensemble de la population rurale de toute la zone étudiée. Les définitions et les statistiques descriptives des variables utilisées dans la modélisation de l'adoption sont présentées dans le Tableau 38. En moyenne, les agriculteurs sont âgés de 62,32 ans ; 54,41% d'entre eux sont analphabètes et ont environ dix travailleurs en moyenne par exploitation agricole. La taille moyenne des exploitations était de 22,60 hectares. Le nombre moyen de forages était de 1,15. Seuls 11,76% des agriculteurs ont été membres d'organisations professionnelles agricoles, 27,20% ont eu accès au crédit et 32,35% ont eu accès à des subventions publiques.

1.2. Résultats de l'enquête de terrain auprès des irrigants

1.2.1. Le système de production des exploitations enquêtées

D'une manière générale la disponibilité de l'eau pourrait déterminer les cultures cultivées à l'intérieur des exploitations agricoles et du périmètre. Les assolements cultureux des exploitations agricoles enquêtées intègrent des cultures intensives à forte rentabilité comme les agrumes ou l'arboriculture et le maraîchage ; là où l'eau d'irrigation est rare, ce sont les grandes cultures pluviales qui prédominent. Les associations entre ces trois classes de cultures en l'occurrence arboriculture, maraîchage et grandes cultures sont nécessaires si l'exploitant veut maximiser ses revenus : l'agrumiculture et l'arboriculture fruitière (vergers) étant systématiquement irriguées, il est fréquent de trouver des cultures maraîchères en intercalaire dans certains vergers.

1.2.2. Répartition des superficies cultivées selon les spéculations végétales

La superficie agricole utile de notre échantillon est d'environ 2.802,5 hectares soit 32,85% de la superficie totale du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tranche (1) estimée à 8.600 hectares. En matière d'irrigation, la superficie effectivement irriguée durant la campagne agricole 2019-2020 est de 1.648 hectares pour les exploitations enquêtées soit 58.80% de la SAU totale de l'échantillon. Les résultats du dépouillement de l'enquête montrent une orientation à dominante agrumes-céréales, les seules formes de conversion vers une intensification sont traduites par la présence des agrumes et l'arboriculture fruitière ainsi que des cultures maraîchères. L'arboriculture est surtout constituée par des pommiers, poiriers et pêchers qui sont répartis sur une superficie de l'ordre de 411 hectares.

Les assolements pratiqués sont caractérisés par leur diversification (Tableau 31). La plupart des exploitations pratiquent la polyculture. Les cultures pluviales pratiquées sont les céréales (41,20%). Les cultures irriguées sont les espèces maraichères plein champs et sous serres (5,28%), les agrumes (37,79%), l'arboriculture fruitière (14,67%). La jachère occupe environ 10,45% des terres (1,90 % chez les adoptants des TIEE et 8,54% chez les non adoptants). Cependant, les résultats du Tableau 32 montrent l'existence d'une grande différence entre les superficies moyennes allouées aux cultures pratiquées par les adoptants et les non adoptants. Les systèmes de production des adoptants sont caractérisés par l'importance des cultures maraichères sous serres et de plein champs, en plus d'une tendance vers l'adoption de l'irrigation localisée et de l'aspersion et des faibles superficies réservées aux céréales et à la jachère

par rapport aux non adoptants qui pratiquent beaucoup plus les cultures pluviales notamment les céréales et la jachère.

Tableau 31. Répartition des superficies cultivées selon les spéculations végétales

Spéculations	Superficie (ha)	(%) Superficie
Céréales	1.154,5	41,20
Blé dur	946	33,76
Blé tendre	49	1,75
Orge	159,5	5,69
Agrumes	1.059	37,79
Orangers	726	25,91
Clémentiniers	219	7,81
Mandariniers	114	4,07
Arboriculture fruitière	411	14,67
Pommiers	156	5,57
Poiriers	110	3,93
Pêchers	145	5,17
Vigne de table	30	1,07
Maraîchage	148	5,28
Piment et poivron	25,5	0,91
Tomates	39,5	1,41
Pommes de terre	56	2,00
Laitue	8	0,29
Concombre	7	0,25
Autres	12	0,43
Total	2.802,50	100,00

En matière des superficies moyennes allouées aux agrumes, à l'arboriculture fruitière et à la vigne, on constate bien qu'il n'y a pas une différence significative entre les adoptants et non adoptants.

Tableau 32. Répartition des superficies cultivées selon les spéculations végétales et l'adoption des TIEE

Cultures	Adoptants			Non Adoptants			Valeur moyenne adoptants (ha)	Valeur moyenne non adoptants (ha)
	SAU (Ha)	(%)	Effectif	SAU (Ha)	(%)	Effectif		
Céréales	429.0	34.3	19	725.5	46.7	45	22.5	16.1
Agrumiculture	477.5	38.1	49	581.5	37.4	32	9.7	18.1
Arboriculture	193.0	15.4	28	218.0	14.0	34	6.8	6.4
Vigne	15.0	1.2	4	15.0	0.9	2	3.7	7.5
Maraichages PC	124.0	9.9	26	12.0	0.7	3	4.7	4.0
Maraichages SS	11.9	0.9	8	0.0	0.0	0	1.4	/
Jachère	23.7	1.9	12	132.5	20.0	28	1.9	6.6
Total	1.250.4	100.0	/	1.552	100.0	/	/	/
Moyenne SAU	19.5	/	/	21.5	/	/	/	/

1.2.3. L'activité d'élevage dans les exploitations enquêtées

L'activité d'élevage est insignifiante sur le périmètre irrigué depuis sa création mais nous trouvons quelques exploitants qui pratiquent l'élevage. Cette activité d'élevage marginale peut être expliquée par la situation conflictuelle qui oppose les différents co-exploitants au sein d'une même exploitation notamment les exploitations agricoles où une individualisation informelle a été mise en œuvre de fait. Cela empêche ceux qui veulent investir dans la construction des étables et/ou de poulaillers de le faire (Imache, 2009). Mais, au niveau de l'échantillon, l'élevage représente une source de revenu additionnel intéressante puisque le cheptel au niveau de l'échantillon se compose de 175 ovins et 127 bovins, animaux de race locale (Tableau 33).

Tableau 33. La répartition des exploitants enquêtés par activité d'élevage pratiqué

Type d'élevage	Adoptants		Non Adoptants		Total des agriculteurs	
	Nombre de têtes	Nombre d'exploitants	Nombre de têtes	Nombre d'exploitants	Nombre de têtes	Nombre d'exploitants
Bovin	61	32	66	30	127	62
Ovin	52	21	123	33	175	54
Ruches	60	18	120	13	180	31
Poulaillers	10	4	23	6	33	10

1.2.4. La répartition des bornes individuelles par exploitation agricole enquêtée

La répartition des bornes d'irrigation et des prises hydrantes¹⁹ provenant de l'ancien découpage des ex-DAS ne correspond pas aux nouvelles parcelles des EAC/EAI. En d'autres termes, le non-respect de la maille hydraulique lors du découpage des ex-DAS pose un problème pour l'ONID en termes de la distribution de l'eau ; certains agriculteurs se trouvent sans prises hydrantes sur leurs terrains. Il y a également un problème de passage, de comptage et de régulation de la pression. Les résultats de l'enquête montrent que certains agriculteurs ne disposent pas de bornes d'irrigation ; une fraction d'environ 40% de l'échantillon n'a aucune borne.

Tableau 34. La répartition des bornes d'irrigation

Borne d'irrigation	Nombre de bornes	Pourcentage (%)
Au moins une borne individuelle	82	60,29
Aucune borne individuelle	54	39,71
Total	136	100,00

¹⁹ La borne : elle est placée en fonction du débit ; elle joue un rôle de régulateur de pression (pression constante à la sortie) et de débit (limiteur de débit), elle contient également un compteur et un purgeur. La prise hydrante : c'est à partir d'une telle prise que se fait le prélèvement d'eau pour l'irrigation.

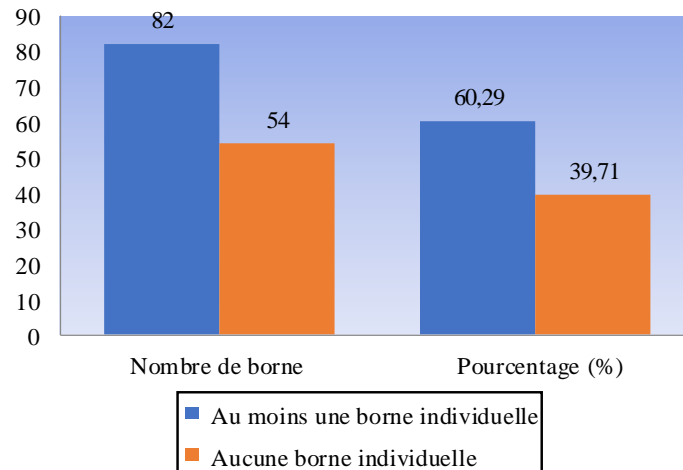


Figure 25. Nombre de bornes d'irrigation individuelles

Lors des opérations de réhabilitation des bornes, l'ONID devrait tenir compte de la situation réelle des modes d'irrigation sur le périmètre. Les bornes utilisées comme bornes gravitaires seront équipées seulement de la vanne et du limiteur de débit, les bornes utilisées pour l'aspersion ou le goutte à goutte seront équipées de la vanne, du limiteur de débit et du régulateur de pression pour la protection du matériel à la parcelle contre les surpressions. Le recours vers les technologies d'irrigation plus efficaces en eau nécessite des réflexions participatives et des aménagements spécifiques tels que des bassins collectifs afin de permettre l'accès à la ressource d'une manière plus fréquente.

1.2.5. Les caractéristiques des technologies d'irrigation

Les facteurs essentiels de l'adoption et la diffusion de technologies d'irrigation économes en eau concernent les caractéristiques de ces technologies, deux facteurs principaux sont identifiés : l'adaptabilité et la complexité des nouvelles technologies d'irrigation plus efficaces.

Le changement de pratiques d'irrigation que peuvent induire l'introduction des technologies d'irrigation économes en eau semble un paramètre important au moment du choix d'équipement des irrigants. En cas de changement technologique, il peut y avoir un coût d'apprentissage important pour la maîtrise d'une nouvelle technologie complexe. Les figures 26 et 27 montrent que chaque technologie d'irrigation nécessite un savoir-faire particulier. Par exemple, il n'est pas réaliste d'installer une technologie d'irrigation au goutte-à-goutte lorsque nous ne disposons que d'un tour d'eau de 5 jours (Wittling & Molle, 2017).

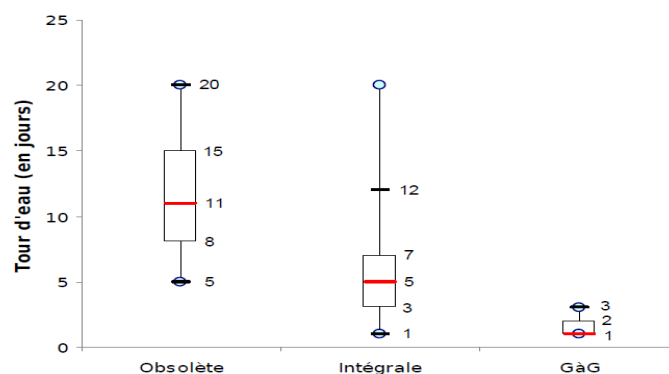


Figure 26. Les tours d'eau selon le type de technologie d'irrigation (Richefort, 2008)

Selon (Bouarfa et *al.*, 2020) La technique d'irrigation de surface ne doit pas être considérée comme obsolète ou inefficace car elle peut être améliorée en utilisant des techniques telles que le nivellement du sol, ce qui peut améliorer son efficacité en termes de travail et d'utilisation de l'eau. Cependant, pour obtenir des résultats optimaux, il est important que la superficie des terres cultivées soit suffisamment grande. Les techniques d'irrigation de surface sont également peu gourmandes en énergie et peuvent être utilisées à intervalles de plusieurs jours voire semaines, ce qui est avantageux pour la gestion collective de l'eau. Cette méthode convient à toutes les formes de culture.

L'irrigation par aspersion est intéressante par sa mobilité puisque le matériel est déplaçable, ce qui diminue son coût à l'hectare, sa capacité à irriguer dans des conditions spécifiques et notamment des topographies difficiles ou dans des sols de faible réserve en eau. Ses performances sont néanmoins affectées par sa sensibilité aux conditions venteuses qui diminuent vite l'efficacité de l'application de l'eau et par les dépenses énergétiques qu'elle génère pour la mise en pression de l'eau.

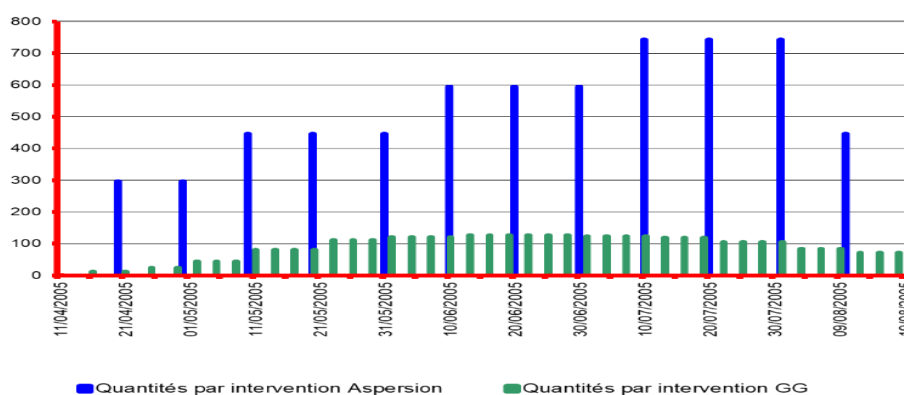


Figure 27. Doses et fréquence des apports en aspersion et en goutte à goutte cas de la tomate plein champ (Chebah, 2011)

Enfin, l'irrigation par micro-irrigation est conçue pour apporter l'eau directement à la racine de la culture à dose faible mais de manière quasi continue, d'apporter l'eau à des fréquences élevées ; son bon usage repose sur un accès sécurisé à l'eau. Elle progresse donc rapidement dans les systèmes individuels où l'accès à l'eau est libre, comme par exemple à partir des ressources souterraines ou de petits stockages au plus proche des irrigants, et sur des cultures qui sont exigeantes en eau comme l'arboriculture ou le maraîchage. Elle est bien adaptée à de grandes superficies irriguées aussi bien qu'à des petites et, est en conséquence, adoptée par différentes catégories d'agriculteurs, y compris les plus modestes. Elle offre en outre l'opportunité d'apporter des fertilisants aux cultures par le biais du système d'irrigation lui-même (fertigation), ce qui augmente l'efficacité de leur assimilation par les cultures et facilite la gestion en combinant les deux actes techniques. Dans le cas des technologies d'irrigation économes en eau, la transition de l'aspersion en couverture mobile vers l'aspersion en couverture intégrale peut s'accompagner d'un changement de pratiques (tours d'eau et doses d'eau) beaucoup moins radical que la transition de l'aspersion et gravitaire vers le goutte-à-goutte.

Concernant l'aspersion, une forte évolution des pratiques, toutefois moins radicale que celle concernant le passage au goutte-à-goutte, apparaît cependant lorsque l'irrigant s'équipe aussi en vannes volumétriques ou programmables. Les besoins en eau d'irrigation constituent une donnée difficilement appréciable, et le nombre d'irrigations à introduire est aussi fonction de la région, de la texture et de la composition du sol. Dans les sols argileux et argilo-limoneux, les irrigations ont lieu tous les 20 jours, les doses unitaires seront équivalentes aux deux tiers des besoins de la culture. Par contre, dans les terres à texture légère (sableuse), la fréquence sera deux fois plus élevée, (tous les 10 jours), et les doses, deux fois plus faibles. Sur les sols à texture moyenne (limoneux-sableuse), les irrigations auront lieu tous les 15 jours. Généralement, les agriculteurs de la Mitidja ouest Tranche 1 pratiquent six (06) irrigations en gravitaire au minimum qui sont nécessaires pour les agrumes mais elles peuvent varier de 7 à 8.

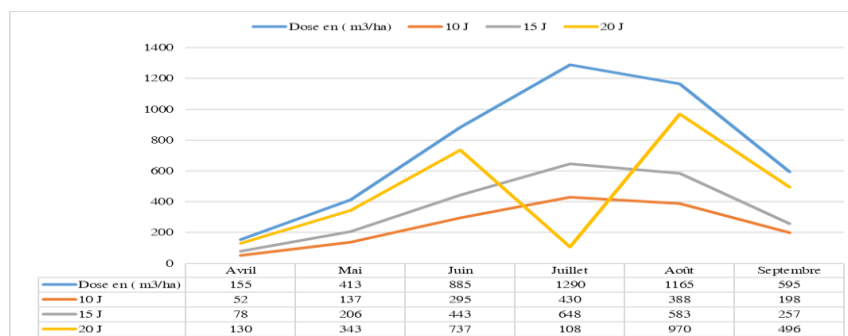


Figure 28. Les apports d'eau selon le tour d'eau pour le cas des agrumes en gravitaire dans la Mitidja (Établi par nous même à partir des données de l'ITAF)

La durée des irrigations varie d'une irrigation à une autre, et elle augmente en s'approchant de l'été, la 4^{ème} et la 5^{ème} irrigation sont les plus longues, elles se trouvent successivement dans le mois de juillet et le mois d'août et les intervalles entre deux irrigations diminuent également en s'approchant de l'été. Cependant, le nombre d'irrigations, en moyenne, est de 5 pour l'arboriculture mais il peut varier de 5 à 7 irrigations. Les irrigations par goutte à goutte se font généralement en moyenne entre 5 à 10 fois par mois. Par ailleurs, les fréquences moyennes d'irrigation sont quatre fois plus élevées en goutte à goutte par rapport au gravitaire pour les agrumes (Figure 29).

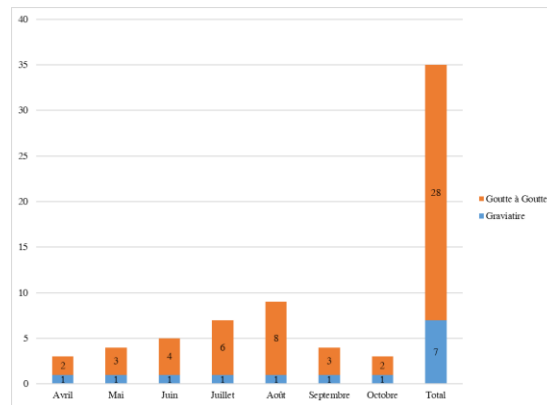


Figure 29. Comparaison des fréquences moyennes d'irrigation pour les agrumes selon le mode d'irrigation (Établi par nous même à partir des données d'enquête)

Il est à noter que la majorité des agriculteurs de la région d'étude n'ont aucune base d'estimation des doses d'irrigation à apporter aux différentes cultures. Il est à signaler également que la zone est en phase de conversion vers l'agriculture intensive, et l'investissement en matériel d'irrigation au goutte à goutte est à son début (c'est l'une des motivations qui a encouragé notre étude). Les agriculteurs de périmètre sont plutôt en phase d'adaptation avec cette nouvelle technologie d'irrigation ; durant le déroulement des enquêtes, plusieurs agriculteurs affirmaient qu'ils ne maîtrisaient pas parfaitement l'irrigation au goutte à goutte surtout lorsqu'il s'agit des données concernant la durée d'irrigation, la pression au niveau des vannes et le dosage des fertilisants.

Le plus souvent, l'eau est apportée sans compter et la terre en reçoit une quantité excessive, sans que l'on se préoccupe du coût réel de l'extraction de l'eau, de sa source et de sa distribution à la ferme, ou de la reconstitution des ressources hydriques, une fois qu'elles seront épuisées ou polluées. Tous les agriculteurs tendent à penser, à tort, que si la quantité d'eau donnée en petite quantité serait non-bénéfique pour la culture, il vaut mieux en donner plus. En irrigation, le mieux est de donner juste ce qu'il faut, c'est-à-dire une quantité d'eau calculée en quantité suffisante pour satisfaire les besoins des cultures et prévenir l'accumulation de sels

dans le sol, ni plus ni moins (Doorenbos & Pruitt, 1997). Appliquer trop peu d'eau c'est, sans conteste, la gaspiller, car elle ne produira pas l'effet souhaité. A l'inverse, la pratique consistant à déverser une quantité excessive d'eau sur la terre peut être encore plus nocive, car elle sature le sol pendant trop longtemps, inhibe l'aération, lessive les nutriments, accroît l'évaporation et la salinisation et, enfin, porte la nappe phréatique à un niveau qui supprime l'activité racinaire et microbienne normale et qui ne peut être drainé et lessivé qu'à grands frais.

La majorité des irrigants enquêtés a recours aux indicateurs visuels pour démarrer ou arrêter une irrigation. Le démarrage de l'irrigation correspond souvent à un contrôle de l'humidité du sol et de l'état de la végétation particulièrement l'enroulement des feuilles. En règle générale, c'est la combinaison de ces deux paramètres qui renseigne l'agriculteur sur la nécessité d'irriguer. Les indicateurs d'arrêt de l'irrigation sont quant à eux différents selon la technique utilisée. Le gravitaire est conduit avec un indicateur d'arrêt de l'irrigation basé sur l'arrivée de l'eau à la fin de la raie.

L'adoption des nouvelles technologies d'irrigation selon la facilité perçue d'utilisation

Dans cette recherche, la facilité perçue d'utilisation de la technologie à adopter sera appréhendée par le pourcentage des exploitants agricoles par rapport au nombre total des exploitants aux réponses des répondants mesurées sur une échelle d'intérêt variant de 1 (Très facile) à 5 (Très difficile), pour qualifier la facilité perçue d'utilisation.

La Figure 30 montre que 40.40% des agriculteurs enquêtés trouvent que la manipulation des TIEE est facile (30,15%), ou très facile (10,29%). D'autres part, 33,08% des exploitants de notre échantillon trouvent la manipulation des technologies d'irrigation est difficile ou très difficile. En plus, 26,47% des exploitants de cette catégorie trouvent que les technologies d'irrigation plus efficaces sont ni facile, ni difficile en matière de manipulation.



Figure 30. Répartition des agriculteurs selon la facilité perçue d'utilisation des TIEE

L'adoption des nouvelles technologies d'irrigation plus efficaces, comme tout choix économique, ressort clairement de l'interaction de plusieurs variables techniques et socio-économiques dont les effets opposés, complémentaires ou ambigus ne peuvent être clairement ressortis sans un arbitrage quantitatif à travers un modèle économétrique d'adoption.

L'adaptabilité des technologies d'irrigation économes en eau

L'adaptabilité des technologies d'irrigation plus efficaces au contexte régional, particulièrement aux besoins des irrigants, tout comme leur complexité, peuvent influencer les décisions technologiques individuelles (Feder *et al.*, 1985).

En effet, les techniques d'irrigation doivent leur existence aux problèmes soulevés quant à la répartition de l'eau. C'est pourquoi plusieurs techniques d'irrigation sont pratiquées dont le choix se fait sur la base de leur degré de compatibilité avec les contraintes de la zone considérée, l'analyse de la distribution de l'eau d'irrigation à l'intérieur du périmètre irrigué de la Mitidja ouest Tr1, a montré que le réseau de distribution est prévu à la demande ; néanmoins, le manque de la ressource contraint l'O.N.I.D. à opérer la distribution sous forme de tours d'eau.

Par ailleurs, l'intensification agricole qui va de pair avec l'introduction ou la reconversion à la micro-irrigation n'est possible que si la ressource en eau est sécurisée, accessible à la demande (Bouarfa *et al.*, 2020). Cependant, outre le manque de la ressource allouée au périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1, il y a le non-respect du type d'irrigation et assolements prévu initialement, puisque le périmètre irrigué est conçu à l'origine pour l'irrigation par aspersion et que les prises hydrantes sont conçues à cet effet. Lors de la conception du programme de reconversion vers le goutte-à-goutte, le schéma général du réseau en place a été maintenu en ne faisant aucune modification dans les diamètres des conduites existantes, ni à la station de pompage, ni l'adaptation des prises hydrantes au système de goutte à goutte.

Il est également plus rationnel de construire des systèmes sous pression dès le départ pour le goutte à goutte, de sorte que les exploitants qui voudraient adopter le goutte-à-goutte puissent ensuite simplement se connecter au système. Néanmoins, trois types d'irrigation sont pratiqués avec la prédominance de la technique gravitaire suivis de loin par la technique de goutte à goutte et de l'aspersion auxquels s'ajoute la répartition des bornes d'irrigation et des prises hydrantes héritées du découpage antérieur des anciens DAS n'est plus adaptée au nouveau découpage des EAC/EAI. En d'autres termes, le fait de ne pas avoir respecté la trame hydraulique lors de la découpe des anciens DAS a entraîné un problème pour l'office, car certains

agriculteurs ne disposent pas de prises hydrantes sur leurs terres. En outre, il y a des problèmes de passage, de comptage et de régulation de la pression.

Tous ces facteurs pourraient influencer l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces. En outre, certains types de matériel d'irrigation semblent mieux adaptés que d'autres à certains types de cultures, à certains types de sols, ainsi qu'au savoir-faire des agriculteurs.

Le type de culture pratiquée : Plusieurs études ont essayé d'analyser l'impact du choix de la culture sur l'adoption des technologies d'irrigation. Caswell & Zilberman (1985) ; Green *et al.*, (1996) ; et Moreno & Sunding (2005) ont étudié le rôle du type de culture dans la sélection de la technologie d'irrigation et ont montré que l'adoption des technologies d'irrigation est fortement dépendante du choix de la culture. Dans notre contexte, les agriculteurs qui pratiquent les cultures maraîchères et l'arboriculture fruitière adoptent la technologie d'irrigation localisée plus que les agriculteurs qui pratiquent les cultures céréalières et fourragères.

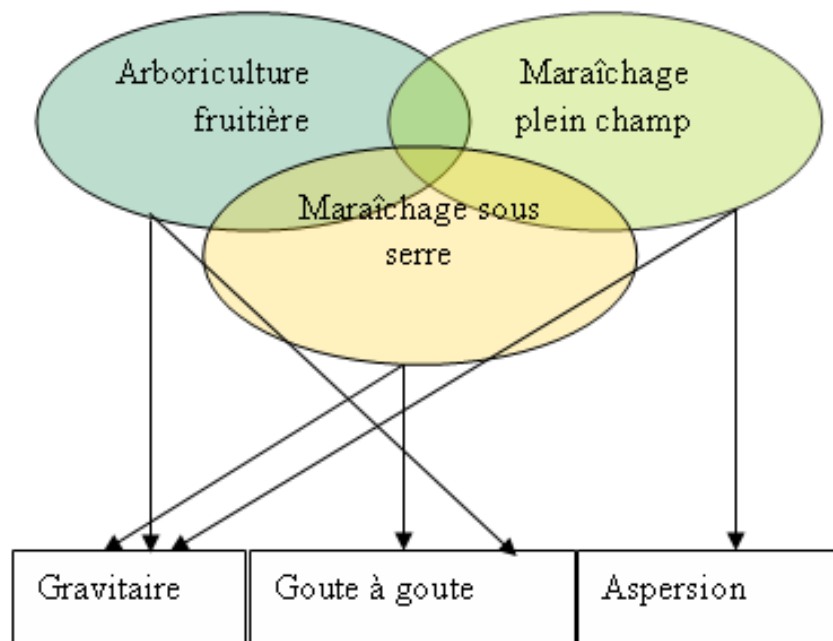


Figure 31. Techniques d'irrigations par type de culture et d'irrigant dans la Mitidja-ouest

Ceci s'observe dans la Mitidja, où l'irrigation par aspersion, qui bénéficie d'une expérience accumulée de plus de trente ans, semble mieux maîtrisée que le goutte-à-goutte pour cultiver les cultures maraîchères de pleins champs, notamment la pomme de terre. Les avantages et inconvénients de l'irrigation par aspersion sont listés dans le Tableau 35. Notons tout d'abord que cette technologie nécessite un niveau de technicité assez faible, ce qui pourrait expliquer sa large diffusion sur le périmètre de la Mitidja. D'autre part, son efficacité est peu élevée, de l'ordre de 75%, du fait d'une grande sensibilité au vent. Notons finalement que le travail asso-

cié à un système d'irrigation par aspersion est contraignant, notamment pour les systèmes en couverture mobile, où l'exploitant doit déplacer lui-même son matériel afin d'irriguer l'ensemble de sa surface cultivée.

Perceptions des avantages et inconvénients

Le paradigme de la perception des adoptants suggère que les attributs perçus de la technologie conditionnent le comportement d'adoption des agriculteurs. Cela signifie que, même avec des informations complètes, les agriculteurs peuvent évaluer subjectivement la technologie différemment des scientifiques (Kivlin & Fliegel, 1967 ; Ashby & Sperling, 1995). Ainsi, la compréhension de la perception qu'ont les agriculteurs d'une technologie donnée est cruciale pour la génération et la diffusion de nouvelles technologies et la diffusion d'informations aux exploitants agricoles.

Tableau 35. Avantages de l'aspersion mobile perçus par les exploitants

Avantages	Grande adaptabilité aux conditions de terrain, adaptation aux parcelles de formes irrégulières
	Faible technicité requise, technique simple et manipulation aisée
	Besoin en entretien restreint
	Rapidement déplaçable pour être utilisé dans d'autre culture
	Grande capacité d'arrosage
	Application intégrée d'eau et les éléments nutritifs – fertigation
Inconvénients	Grande sensibilité au vent
	Travail contraignant pour le déplacement des rampes d'aspersion
	Investissements initiaux élevés
	Augmentation du fungus des feuilles et maladies des fruits et Développement des mauvaises herbes
	Pas de cultures intercalaires
	Nécessite une forte pression de service
	Grande sensibilité au vent

Source : Établi par nous même à partir des données d'enquête

Cette technique d'irrigation par aspersion mobile répond mieux aux exigences en eau des cultures maraichères de plein champ. Elle présente cependant l'inconvénient de nécessiter une utilisation plus intensive de la main-d'œuvre : installation et déplacement des tuyaux d'arrosage toutes les trois à cinq heures à l'intérieur de la parcelle, irriguant 0,2 ha à 0,3 ha chaque fois, déplacement et réinstallation sur une autre parcelle tous les 3 ou 4 jours. Les exploitants étaient donc obligés d'irriguer sans cesse, jour et nuit pendant l'été, s'ils voulaient accroître la surface irriguée.

Les avantages et inconvénients de l'irrigation de l'arboriculture et des cultures maraichères par l'irrigation au goutte-à-goutte sont listés dans le Tableau 36. Notons tout d'abord que cette

technologie nécessite un fort investissement initial de la part des agriculteurs, ce qui pourrait expliquer sa faible diffusion sur le périmètre irrigué de la Mitidja. Ce matériel permet cependant un contrôle précis de la dose d'eau à apporter et peut améliorer l'efficacité d'application des engrais, éléments essentiels de la productivité de l'exploitation.

Tableau 36. Perception des avantages et inconvénients de l'irrigation par goutte à goutte par les exploitants

Avantages	Contrôle précis de la dose d'eau à appliquer
	Économies d'eau et Réduction des coûts de main-d'œuvre
	Diminution de la croissance des mauvaises herbes
	Rendement plus élevé par unité de surface
	Diminution du fungus des feuilles et maladies des fruits
	Pas de brûlure des feuilles
	Insensibilité au vent
Inconvénients	Risques d'obstruction des émetteurs
	Travail technique et régulier
	Entretien régulier de la station de filtration
	Coûts initiaux élevés
	Exposition des tuyaux et goutteurs aux dégâts (animaux)
	Accumulation des sels à la surface du sol
	Inadapté pour les petites parcelles dispersées

Source : Établi par nous même à partir des données d'enquête

La possibilité qu'offre le système de goutte à goutte de réduire le temps de travail, de contrôler le développement des mauvaises herbes et de pratiquer la fertigation (fertilisation dans l'eau d'irrigation), pourraient influencer positivement son adoption. L'apport d'eau de manière continue et localisée, permet de réduire le développement des mauvaises herbes du fait de la localisation de l'irrigation au niveau du système racinaire et de l'absence d'arrosage entre les plantes.

2. Le cadre théorique du changement de technologies d'irrigation

Le modèle exploré trouve son origine dans le modèle de Caswell & Zilberman (1986). Il est développé pour analyser l'adoption de stratégies alternatives par un agriculteur représentatif pour augmenter la capacité des terres à utiliser l'eau. En effet, le modèle décrit un choix de maximisation du profit quant à la quantité de terre à améliorer avec une méthode d'économie d'eau particulière et la quantité d'eau à appliquer sur la terre. En particulier, le modèle est utilisé pour analyser ces choix en deux parties simultanées.

La partie à choix discret du modèle est utilisée pour analyser le choix d'un agriculteur représentatif de la combinaison d'améliorations spécifiques à apporter aux terres. La partie du modèle portant sur le choix continu sert à analyser la superficie des terres qui sont améliorées

conformément à une technologie d'amélioration des terres particulière. Il s'agit d'une extension du modèle de Caswell & Zilberman (1986), qui supposent que les agriculteurs utilisent un intrant majeur, l'eau d'irrigation, pour produire. Outre, les intrants additionnels, la terre, cette analyse introduit également la quantité d'eau de pluie et l'influence de la vulgarisation publique comme variables exogènes, deux contraintes de ressources et une contrainte de crédit. L'inclusion d'une contrainte de crédit est motivée par Sunding & Zilberman (2001).

2.1. Présentation du modèle théorique

2.1.1. Fonction de production

Un agriculteur représentatif utilise deux intrants principaux, l'eau d'irrigation et la terre, pour produire. La quantité d'eau de pluie contribue également à la production des cultures et c'est un substitut parfait à l'eau d'irrigation. L'eau de pluie, cependant, est exogène parce que l'agriculteur ne peut pas la contrôler. La fonction de production est concave, ce qui implique que le produit marginal de deux intrants majeurs n'augmente pas,

$$Q_{ee}'' \leq 0 \quad , \quad Q_{MM}'' \leq 0$$

Et aussi

$$Q_{ee}'' Q_{MM}'' - (Q_{eM}'')^2 \geq 0$$

La fonction de production pour la culture représentative selon la technologie j est donnée par :

$$f_j = AQ\{h_i[a_i(\delta) + RF], M_i\} = AQ(e_i(\delta), M_j) \quad j = (1,2,3,4) \quad [1]$$

L'indice j représente la qualité des sols, $j = 1$ représente aucune irrigation, $j = 2$ représente le nivellement des parcelles, $j = 3$ représente l'utilisation de l'irrigation à la raie ou par planches, et $j = 4$ représente l'irrigation par aspersion ou goutte à goutte.

Au fur et à mesure que l'indice j augmente en valeur, la technologie permet aux agriculteurs et aux cultures de mieux utiliser l'eau d'irrigation ou de pluie, soit les deux. h_j représente l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour la technologie d'irrigation j , et a_i représente la quantité réelle d'eau d'irrigation utilisée par hectare pour la technologie d'irrigation j .

Le paramètre RF représente l'eau de pluie et e_j la quantité réelle d'eau utilisée par hectare pour la technologie j compte tenu de la qualité des sols δ . La qualité des sols affecte la quantité réelle d'eau, qu'il s'agisse d'eau d'irrigation ou d'eau de pluie via les caractéristiques du sol telles que la perméabilité et la capacité de rétention d'eau (Caswell & Zilberman 1986, 1990).

Le deuxième intrant, la terre est représentée par la variable M_j , superficie en hectares pour la technologie j . Le paramètre A reflète d'autres facteurs exogènes, avec un accent particulier sur les services de vulgarisation agricole. L'augmentation de A , service de vulgarisation agricole, peut augmenter la production avec une quantité donnée de deux intrants principaux.

Dans l'équation [1], l'efficacité de l'utilisation de l'eau, désignée par h_j , est la quantité réelle d'eau contribuant à la production agricole, e_j , divisée par la quantité réelle d'eau d'irrigation et de pluie appliquée aux cultures, a_j et RF . L'efficacité de l'utilisation de l'eau de la technologie j dépend seulement de la qualité du sol (Caswell & Zilberman, 1986). Une qualité du sol supérieure δ entraîne une efficacité de l'utilisation de l'eau supérieure, mais à un taux décroissant comme l'indique l'inégalité citée. Une technologie plus avancée a une efficacité d'utilisation de l'eau supérieure. Mathématiquement,

$$h_4(\delta) \geq h_3(\delta) \geq h_2(\delta) \geq h_1(\delta)$$

en supposant aussi $h_1(\delta) = \delta$, la qualité du sol sans aucune amélioration foncière, puisque les trois autres types de technologies sont économes en eau et permettent des améliorations foncières :

$$h_j(\delta) = \frac{e_j(\delta)}{a_j(\delta) + RF} \Leftrightarrow e_j(\delta) = h_j(\delta) * [a_j(\delta) + RF]$$

Où :

$$0 < h_j(\delta) < 1, \quad h_{\delta}' > 0, h_{\delta\delta}'' < 0$$

2.1.2. Fonction de profit

Le profit de l'agriculteur représentatif est décrit par l'équation :

$$\pi = \sum_j pAQ \{h_j[a_j(\delta) + RF], M_j\} - r(\delta)M_j - (K_j + c_j M_j) - w_e \beta(d) a_j(\delta) \quad [2]$$

avec, p représente le prix de l'output, en supposant que l'agriculteur produit un seul output (une culture). On suppose également que l'agriculteur représentatif est un preneur de prix (*Price taker*) tant pour la production que pour les intrants.

La variable r représente le tarif de location à l'hectare de la terre, qui reflète le coût d'opportunité de la terre. Les agriculteurs ne sont pas propriétaires de la terre et ne peuvent pas la vendre, mais ils peuvent louer leur terre à d'autres. Le tarif de location est fonction de la qualité du sol et augmente avec elle. La variable K_j représente le coût fixe tandis que la variable c_j représente le coût par hectare pour chaque amélioration foncière. Le coût fixe et le coût à

l'hectare de chaque technologie sont supposés augmenter avec le niveau d'amélioration foncière j , par conséquent :

$$k_1 = 0 < k_2 < k_3 < k_4 \quad , \quad c_1 = 0 < c_2 < c_3 < c_4$$

Par exemple, l'agriculteur a besoin d'un coût fixe assez élevé pour construire un bassin de stockage d'eau pour utiliser l'irrigation par aspersion. Le coût fixe pour la création de l'irrigation par planche ou à la raie est également nécessaire, mais il est inférieur au coût fixe pour l'irrigation par aspersion ou goutte à goutte et supérieur au coût fixe pour le nivellement du terrain. Nous supposons également que le coût fixe et le coût par hectare de l'absence d'amélioration foncière ($j = 1$) sont nuls.

La variable $\beta(d)$ représente la quantité d'électricité requise par unité d'utilisation réelle d'eau. Le coefficient w_e représente le prix unitaire de l'électricité. En multipliant w_e et $\beta(d)$ et $a_j(\delta)$, le coût de l'électricité pour l'irrigation selon la technologie j est obtenu.

Nous supposons que la variable $\beta(d)$ augmente à mesure que la profondeur de la nappe phréatique augmente, $\beta_d' > 0$. Notez que si seulement la quantité effective d'eau $e_j(\delta)$ contribue à la production, les agriculteurs paient la facture pour la quantité réelle d'eau $a_j(\delta)$ appliquée. L'eau que les cultures n'utilisent pas s'évapore ou retourne dans l'aquifère. La quantité effective d'eau est la quantité réelle d'eau pondérée par l'efficacité de l'irrigation.

2.1.3. Contraintes de ressources

Un agriculteur représentatif est confronté à deux contraintes de ressources : l'eau d'irrigation disponible et la terre.

$$0 \leq \sum_j a_j \leq \bar{a} \quad [4]$$

$$(5) \quad 0 \leq \sum_j M_j \leq \bar{M} \quad [5]$$

Dans l'inégalité [4] et [5], \bar{a} et \bar{M} représentent respectivement la quantité totale d'eau d'irrigation et la dotation en terres d'un agriculteur représentatif, a_j et M_j représentent respectivement la quantité d'eau d'irrigation et la superficie en hectare de terre allouée à l'amélioration foncière. Il est à noter que pour les agriculteurs sans eau d'irrigation, une valeur de $\bar{a} = 0$. Dans ces exploitations, les agriculteurs sont totalement dépendants de l'eau de pluie.

3.2.4. Contrainte de crédit

Un agriculteur représentatif peut également être confronté à une contrainte de crédit :

$$\sum_j k_j + c_j M_j \leq NAG + \sum_j T_j \quad [6]$$

Le côté gauche de l'inégalité [6] représente l'utilisation des fonds pour l'adoption d'améliorations foncières, tandis que le côté droit est la source des fonds, à savoir les subventions gouvernementales ou des crédits pour la technologie d'économie d'eau T_j et le revenu non agricole de l'agriculteur NAG . Un agriculteur représentatif n'a pas accès au crédit par hypothèse. Bien que cette hypothèse semble forte, elle est proche de la réalité en Algérie. Les agriculteurs obtiennent rarement des crédits auprès des banques puisqu'ils ne peuvent rien donner en garantie. Le plus grand actif géré par les agriculteurs, la terre, est la propriété légale de l'État et non de chaque agriculteur, de sorte que les agriculteurs exploitant des terres du domaine privé de l'Etat, surtout quand ils ont procédé à un partage informel de l'EAC (situation la plus courante dans le périmètre étudié) ne peuvent utiliser la terre comme garantie en Algérie. Par conséquent, un agriculteur représentatif est confronté à une contrainte de crédit. Par exemple, lorsque la source de financement est très limitée, les agriculteurs sont peu susceptibles d'adopter des améliorations foncières qui nécessitent un investissement initial important.

3.2.5. Maximisation du profit sous contraintes

Les agriculteurs maximisent leurs profits sous des contraintes liées à l'eau d'irrigation, aux terres et au crédit. Le problème de maximisation du profit pour un agriculteur représentatif est le suivant :

$$\underset{a_j, M_j}{Max} \pi = \sum_j pAQ\{h_j[a_j(\delta) + RF], M_j\} - r(\delta)M_j - (K_j + c_j M_j) - w_e * \beta(d) * a_j(\delta) \quad [7]$$

Sous contraintes :

$$0 \leq \sum_j a_j \leq \bar{a}$$

$$0 \leq \sum_j M_j \leq \bar{M}$$

$$\sum_j k_j + c_j M_j \leq NAG + \sum_j T_j$$

$$\forall j = (1,2,3,4)$$

Ainsi, l'équation [7] et son ensemble de contraintes peuvent être réécrits sous la forme :

$$L = \sum_j pAQ\{h_j[a_j(\delta) + RF], M_j\} - r(\delta)M_j - (K_j + c_jM_j) - w_\epsilon * \beta(d) * a_j(\delta) + \lambda_w(\bar{a} - \sum_j a_j) + \lambda_m(\bar{M} - \sum_j M_j) + \lambda_c(NAG + \sum_j T_j) - \sum_j (k_j + c_jM_j) \quad \forall j = (1,2,3,4) \quad [8]$$

Les solutions optimales de l'équation (8) doivent satisfaire aux conditions de Kuhn-Tucker suivantes (Chiang, 1984) :

$$\frac{\partial L}{\partial a_j} = pAQ'_{\epsilon_j} h_j(\delta) - w_\epsilon * \beta(d) - \lambda_w \leq 0, \forall a_j \geq 0, \text{ et, } \frac{\partial L}{\partial a_j} * a_j = 0 \quad [9]$$

$$\frac{\partial L}{\partial M_j} = pAQ'_{M_j} - r(\delta) - (1 + \lambda_c)c_j - \lambda_m \leq 0, \forall M_j \geq 0, \text{ et, } \frac{\partial L}{\partial M_j} * M_j = 0 \quad [10]$$

$$\forall j = (1,2,3,4)$$

Dans un processus de décision de choix, le but de la décision est de trouver une meilleure solution parmi les alternatives possibles pour satisfaire les objectifs. En réalité, il existe deux types de choix, le premier type est le choix continu, dans ce cas on choisit une combinaison de la quantité d'alternatives possibles où les quantités pour chaque alternative peuvent varier continuellement. Le deuxième type est le choix discontinu (discret) où on choisit seulement une seule alternative parmi plusieurs.

2.2. Enseignement de la littérature et principales hypothèses

Le développement des techniques d'irrigation modernes doit avoir pour objectif d'utiliser au mieux l'eau, en même temps que les autres intrants essentiels, de façon à renforcer la durabilité de la production agricole. La sélection d'une technologie d'irrigation appropriée à une combinaison de conditions physiques et socioéconomiques, quelle qu'elle soit, dépend de facteurs complexes et parfois opposés. Là où le manque d'eau est aigu, l'impératif dominant est à l'évidence d'augmenter l'efficacité et l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Là où les capitaux sont insuffisants, la principale exigence pourrait être de trouver une méthode d'irrigation nécessitant un minimum d'apports en capital ou d'équipements moins coûteux.

Différents facteurs et leurs relations influencent les décisions d'adoption de différentes technologies dans l'espace et dans le temps (Arega, 2009). Il peut s'agir notamment des contraintes liées au crédit, à la terre et à la main-d'œuvre, à l'aversion pour le risque associé à l'incertitude quant à l'impact des nouvelles technologies sur les rendements et les prix, aux

connaissances limitées, à l'absence de marchés pour les produits des agriculteurs et de régimes fonciers (Feder *et al.*, 1985).

Les travaux empiriques qui portent sur le cas des exploitations agricoles reconnaissent un autre éventail assez large de facteurs susceptibles d'influencer la mise en œuvre de technologies d'irrigation plus efficaces. Les conclusions les plus récurrentes reconnaissent le rôle positif sur l'innovation des facteurs tels que l'investissement, le soutien financier public, la structuration en coopératives ou association ou encore les sources d'information, l'éducation, l'expérience et d'autres caractéristiques socio-économiques ainsi que les caractéristiques structurelles de l'exploitation telles que la qualité du sol, la taille des exploitations et le climat. Différentes études ont été menées pour déterminer la direction et l'ampleur de l'influence de différents facteurs sur la décision des agriculteurs d'adopter des technologies agricoles (Feder *et al.*, 1985 ; Feder & Umali, 1993 ; Sunding & Zilberman, 2001 ; van Oorschot *et al.*, 2018).

Bien que certains facteurs puissent avoir une applicabilité générale, il n'est pas usuel de développer un modèle conceptuel universel qui rende compte du processus d'adoption des technologies dans tous les environnements. La nature dynamique des facteurs et le caractère distinctif de l'environnement socio-économique font qu'il est difficile de généraliser la relation de cause à effet entre les facteurs déterminants et l'adoption de technologies. L'adoption des innovations agricoles résulte d'un processus complexe caractérisé par l'interdépendance de plusieurs facteurs liés non seulement à la disponibilité de l'innovation, à son accessibilité et à son potentiel économique, mais aussi aux caractéristiques spécifiques de l'exploitation agricole et à son environnement socio-économique, technique et institutionnel (Namegabe, 2006).

Les variables utilisées dans le cadre de notre analyse sont regroupées selon trois catégories de facteurs : les variables environnementales, institutionnelles et socio-économiques peuvent être classées comme les principaux facteurs influençant le choix des technologies d'économie d'eau par les agriculteurs. Les variables environnementales qui influencent le choix d'une TIEE incluent la rareté physique de l'eau, les caractéristiques du sol et le climat. Les variables institutionnelles incluent les efforts de vulgarisation agricole, les subventions ou financements étatiques pour l'adoption de nouvelles technologies, et les projets de démonstration (Wang, 2008). Les variables socio-économiques analysées dans les études précédentes incluent la taille de l'exploitation, le prix de la production, le choix des cultures, le prix de l'eau, le coût des autres intrants, le revenu du ménage, le revenu non agricole et le niveau d'éducation. Le cadre conceptuel est présenté dans la Figure 32.

Comme expliqué ci-dessus, la décision d'adopter une technologie d'irrigation dépend de plusieurs facteurs, dont les caractéristiques du ménage agricole, les caractéristiques de la technologie proposée, la perception et le comportement de l'agriculteur face au risque. Dans cette étude, nous avons émis l'hypothèse que les facteurs les plus importants affectant l'adoption d'une TIEE au niveau de l'exploitation sont les suivants : i) L'utilisation par les agriculteurs d'une technologie d'irrigation plus efficiente est considérée comme une variable dépendante ; ii) les principales variables explicatives qui sont censées affecter la décision des agriculteurs d'adopter une technologie d'irrigation plus efficiente sont considérées sur la base de la littérature empirique dans de nombreux contextes. Les études empiriques précédentes ont montré que de nombreux facteurs liés aux caractéristiques des ménages agricoles, aux facteurs physiques et aux conditions socio-économiques sont censés affecter l'adoption de différentes technologies d'irrigation. On a émis l'hypothèse que la décision des agriculteurs d'adopter une technologie d'irrigation plus efficiente est influencée par un certain nombre de variables.

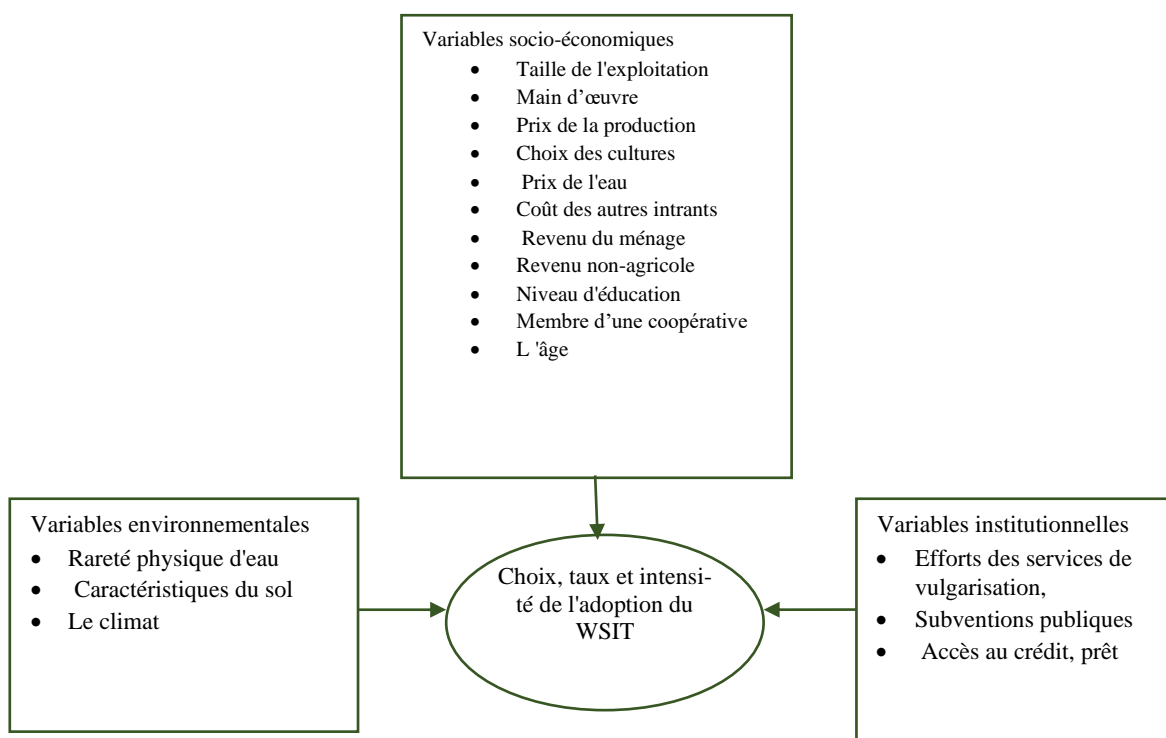


Figure 32. Cadre conceptuel pour les facteurs affectant l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces dans les exploitations agricoles

En analyse économétrique, on peut utiliser les caractéristiques des adoptants et de leurs exploitations comme variables explicatives de la probabilité qu'un agriculteur adopte l'irrigation au goutte-à-goutte et/ou l'aspersion. À la lumière des évidences théoriques et empiriques discutées précédemment, les hypothèses de la présente recherche ont été élaborées. Les préférences révélées par les comportements ou exprimées relativement à la préservation des eaux sont susceptibles d'être influencées par *i*) les attributs sociodémographiques des agriculteurs, *ii*) les caractéristiques économiques de leur exploitation agricole, *iii*) leur degré d'adhésion aux institutions érigées dans la profession agricole.

Il convient de noter le degré de simultanéité des caractéristiques et des causes hypothétiques. Savoir, par exemple, que les agriculteurs les plus riches²⁰ sont plus susceptibles d'adopter l'irrigation au goutte-à-goutte, nous aide à réduire les possibilités, mais nous ne pouvons pas discerner si l'accès au capital ou l'aversion au risque sont les principales contraintes des non-adoptants. En estimant la probabilité d'adoption par les agriculteurs en fonction de leurs caractéristiques, on peut toutefois tester certaines des hypothèses énoncées ci-dessous et fournir des recommandations politiques susceptibles de faciliter la diffusion des technologies. Pour récapituler les hypothèses postulées dans cette recherche, le tableau 37 reprend les signes des causalités anticipées et les évidences apportées à ce sujet par les recherches publiées.

Tableau 37. Les hypothèses sur le changement dans la probabilité d'adoption d'une TIEE

<i>Contrainte à l'adoption</i>	<i>Rareté de la ressource</i>	<i>Capital/accès au crédit</i>	<i>Coût d'apprentissage à propos de la technologie</i>	<i>Aversion pour le risque des technologies réduisant les risques</i>	<i>Aversion pour le risque des technologies augmentant les risques</i>
<i>Cause hypothétique</i>					
Taille de la ferme(Richesse)		+	+	-	+
Diversification de portefeuille cultures				+/-	+
Le coût des technologies d'irrigation				-	-
Main d'œuvre agricole	+			-	+
Subvention publique	+			+	+
Éducation			+		
Age				-	-
Ratio forage	+				
Sécurité sur la tenure foncière	+	+			
Connaissance, information sur les TIEE			+	+	+

²⁰ La taille de l'exploitation est un indicateur de richesse de l'agriculteur et il est intuitif que l'effet de la SAU sur l'adoption soit le même que celui de la richesse (Roussy *et al.*,2015).

Hypothèse de la rareté de la ressource : La rareté des dotations en ressources naturelles conduit à une augmentation du *shadow price* de la ressource, ce qui incite les agriculteurs à adopter une technologie de conservation de la ressource. L'hypothèse de rareté de la ressource suggère que les nouvelles technologies se diffuseront de manière appropriée à leur rythme, en fonction des prix relatifs des ressources dans la région. Les adoptants précoces d'une nouvelle technologie seront ceux qui ont les contraintes de ressources les plus sévères, tandis que ceux ayant des stocks de ressources abondantes/peu coûteux adopteront plus tard, voire pas du tout. L'une des implications de l'hypothèse de la rareté de la ressource est qu'une fois qu'une technologie devient profitable, elle devrait être adoptée immédiatement et simultanément par les agriculteurs ayant des coûts similaires de la ressource.

Dans la plupart des cas, l'hypothèse de rareté des ressources est en conflit direct avec la courbe S de l'adoption dans le temps. Seuls les agriculteurs confrontés à des vecteurs de prix différents pour leurs ressources pourraient voir une courbe en S si la rareté de la ressource était la force motrice. En fait, bon nombre de cas décrits dans la littérature montrent une lente diffusion de la technologie parmi les agriculteurs confrontés à des vecteurs de prix similaires. L'incapacité de l'hypothèse de la rareté des ressources à tenir compte des tendances observées en matière d'adoption des technologies a donné lieu à une série d'hypothèses alternatives décrivant la lente diffusion de la technologie. Parmi celles-ci, citons principalement : l'hypothèse de contrainte de capital, l'hypothèse de coût d'apprentissage, l'hypothèse d'aversion pour le risque et l'hypothèse d'insécurité sur la tenure foncière.

Hypothèse de contrainte de capital : La rareté de capital, due à des contraintes de crédit ou à un manque de garantie, implique que les agriculteurs ne peuvent pas procéder ou entreprendre à un lissage inter-temporel de la consommation, ce qui a un effet négatif sur leur capacité à réaliser des investissements à long terme. L'hypothèse de la contrainte de capital suggère que les nouvelles technologies se diffuseront le plus rapidement parmi ceux qui ont le meilleur accès au capital pour pouvoir financer la nouvelle technologie. Ainsi, les agriculteurs ayant le meilleur accès au capital seront les premiers à adopter, tandis que leurs homologues pauvres en capital peuvent ne pas adopter la nouvelle technologie. Les politiques appropriées pour accélérer l'adoption de la technologie découlant de l'hypothèse de la contrainte de capital incluent : un meilleur accès au crédit agricole, une réduction des coûts d'investissement d'une technologie et l'octroi de crédits d'investissement aux agriculteurs pour la nouvelle technologie.

Hypothèse du coût d'apprentissage : Une diffusion lente des connaissances sur une nouvelle technologie implique que les agriculteurs ne connaissent pas les avantages de la nouvelle technologie et par conséquent, ils sont peu disposés ou réticents à adopter une technologie inconnue. L'hypothèse des coûts d'apprentissage suggère que les technologies se diffuseront le plus rapidement dans les régions où l'information sur la technologie est plus facilement accessible et disponible et plus facile à évaluer par les utilisateurs potentiels. Par conséquent, les agriculteurs des zones fortement exposées aux services de vulgarisation, avec de meilleurs niveaux d'éducation et un degré élevé d'adoption par leurs voisins seront probablement les premiers à adopter les nouvelles technologies. À cela s'ajoute le degré d'adaptation de la technologie aux conditions locales auxquelles sont confrontés les agriculteurs. De cette manière, le coût de l'information associé à une technologie donnée est soumis à la gestion des agriculteurs. L'expérience de l'agriculteur, son éducation ou l'accès à d'autres agriculteurs qui possèdent ces attributs peuvent être des facteurs clés de sa capacité à gérer les coûts de l'information.

Hypothèse de l'aversion pour le risque : L'aversion pour le risque implique que les agriculteurs n'investiront pas dans de nouvelles technologies inconnues qui pourraient créer potentiellement une plus grande variance dans la production et les revenus. Ce dernier point fait consensus auprès de plusieurs chercheurs qui ont montré l'existence d'un lien direct entre la décision d'adoption d'une nouvelle technologie et le niveau de risque rattaché à cette décision, notamment en raison des coûts élevés que l'implantation de ces nouvelles technologies occasionne.

Cette décision est d'autant plus critique à prendre pour les entreprises que l'atteinte des résultats escomptés n'est pas toujours garantie. L'hypothèse de l'aversion pour le risque présente en fait deux facettes (aspects) : premièrement, les agriculteurs ont une aversion pour le risque face à une technologie inconnue, c'est-à-dire les agriculteurs sont peu enclins à prendre des risques face à une technologie inconnue ; deuxièmement, les agriculteurs qui ont une aversion pour le risque seraient davantage incités (découragés) à adopter une technologie qui réduit (augmente) le risque. Certaines technologies agricoles augmentent le risque de production (par exemple, les engrais, certaines nouvelles variétés de semences), tandis que d'autres réduisent les risques de production (par exemple l'utilisation de pesticides et/ou d'herbicides).

Les TIEE ont le potentiel de réduire le risque de production. Quand on la compare par rapport à l'agriculture pluviale en raison de sa dépendance vis à vis de précipitations variables, l'irrigation au goutte à goutte et l'aspersion, comme avec la plupart des technologies

d'irrigation, réduira le risque de production. Pour les considérations de réduction des risques, les contraintes de capital peuvent les emporter de sorte que les agriculteurs pauvres qui ont le plus grand besoin de réduction des risques, seront ceux qui ont le plus de contraintes de capital. Pour une technologie de réduction des risques, on s'attendrait à voir parmi les premiers utilisateurs d'une nouvelle technologie ceux qui sont les plus exposés au risque et ceux qui sont les plus sûrs que la technologie pourra fonctionner dans leur exploitation.

Hypothèse d'insécurité sur la tenure foncière : Les agriculteurs dont la tenure de leurs terres est instable et incertaine c'est-à-dire que la tenure foncière n'est pas sécurisée ne seront pas en mesure de faire des types d'investissements à long terme nécessaires à l'adoption de la technologie. Si un agriculteur peut être expulsé de la terre qu'il exploite, il n'a aucune raison d'investir dans quoi que ce soit qui pourrait rapporter ses fruits à long terme ou pourrait être fixé à la terre.

3. Cadre opératoire de l'analyse économétrique dans l'étude

L'opérationnalisation du cadre conceptuel développé sera maintenant exposée. Pour ce faire seront explicités les outils de mesure utilisés pour les concepts retenus. Plus spécifiquement, les outils de mesure pour capter la variable qui renvoie à l'adoption des technologies d'irrigation, les différents types de technologies qui seront considérés et les déterminants qui influent l'adoption de nouvelles technologies seront décrits.

3.1. Le choix des variables

3.1.1. Les variables indépendantes à inclure

Vu la complexité du phénomène observé dans notre étude, il est préférable de point de vue empirique d'utiliser plusieurs variables indépendantes afin de pouvoir bien appréhender le sujet d'étude. Pour cela, nous préconisons l'usage de trois variables indépendantes de différentes natures. Le Tableau 38 résume les caractéristiques de chacune des variables.

Le choix binaire de l'adoption des technologies d'irrigation

Nous utilisons une variable dépendante qui renvoie à l'adoption ou non de technologies d'irrigation par les exploitations agricoles à travers une variable dichotomique (binaire). Pour chaque technologie d'irrigation, la variable dichotomique prend la valeur 1 si l'exploitant déclare utiliser présentement cette technologie et prend la valeur 0 s'il ne l'utilise pas présentement. Cette variable est codée dans notre base par le symbole *ADOPT*.

Ainsi, pour les trois technologies d'irrigation retenues dans la présente recherche, la question précise qui a été posée aux exploitants est la suivante : « Pour chacune des technologies

d'irrigation énumérées ci-après, veuillez indiquer si vous utilisez présentement cette technologie dans votre exploitation ». A la question de lister les techniques d'irrigation, les techniques citées par les agriculteurs sont le gravitaire, le goutte-à-goutte et l'aspersion. Ils considèrent que ce sont les seules techniques qu'on peut pratiquer dans la région.

Le taux d'adoption des technologies d'irrigation

Nous exprimons aussi notre phénomène observé par une variable de type censuré. Elle est définie comme étant un ratio de la surface irriguée sous une TIEE par rapport à la surface exploitée. Cette variable dépendante est exprimée en pourcentages. Elle est codée dans notre base par le symbole *TAUX*.

Cette variable dépendante est déduite par les résultats sur deux questions directes posées sur la superficie effective de l'exploitation (effectivement mise en culture) et la superficie effectivement irriguée par une des technologies en sujet (goutte-à-goutte et aspersion). On obtient le rapport immédiatement, en le multipliant par 100 afin de le reconvertir en pourcentage.

L'intensité d'adoption des technologies d'irrigation

Nous utilisons aussi une troisième variable dépendante d'une nature différente. Il s'agit d'une variable qui va exprimer l'intensité de l'adoption. L'intensité de l'adoption dans notre cas prend la valeur de la superficie irriguée sous TIEE, mesurée en hectares. Elle est déduite directement par une question directe sur la superficie irriguée par l'une des TIEE (utilisée dans la variable *TAUX*). Elle est codée dans notre base par le symbole *INTENS*.

Le Tableau 38 présente les trois variables dépendantes utilisées dans notre étude. Il s'avère que la moyenne du choix binaire de l'adoption (*ADOPT*) exprime la fraction des exploitants utilisant les TIEE dans notre échantillon. Elle représente 47,1% avec un écart-type de 0,5. Le taux d'adoption (*TAUX*), étant une variable censurée, elle présente le pourcentage de la superficie en TIEE, ayant une moyenne de 29,1% c'est-à-dire que les exploitants utilisent en moyenne 29,1% de leur superficie exploitée pour l'irrigation par une TIEE (avec un écart-type de 0,37). Tandis que la variable *INTENS*, elle prend la valeur de 3,27 ha comme moyenne des superficies effectivement sous les TIEE (avec un écart-type de 4,57).

Tableau 38. Définition et statistiques descriptives des variables dépendantes utilisées

<i>Variables Indépendantes</i>	<i>Nature</i>	<i>Symbol</i>	<i>Définition</i>	<i>Moy.</i>	<i>E.T.</i>
Choix d'adoption	Binaire	<i>ADOPT</i>	Prend la valeur 1 si l'exploitant adopte la technologie d'irrigation économe en eau, et 0 pour la non-adoption.	0,471	0,501
Taux d'adoption	Censurées	<i>TAUX</i>	Un ratio de la surface irriguée sous TIEE par rapport à la surface exploitée (exprimé en pourcentage)	0,291	0,370
Intensité d'adoption	Comptage	<i>INTENS</i>	Prend la valeur de la superficie irriguée sous WSIT (en hectares)	3,279	4,578

3.1.2. Les variables explicatives à inclure

Le choix des variables explicatives n'est pas fortuit ni le résultat d'un screening fait à l'aveuglette de plusieurs variables. Il est basé sur la connaissance des technologies d'irrigation et les possibles facteurs documentés. Ainsi, toutes les variables explicatives étudiées ne seront pas toutes nécessairement incluses dans l'analyse multivariée. Ne seront introduites dans les régressions que les variables qui pourraient avoir un lien direct avec l'innovation. Le Tableau 39 présente l'ensemble des variables explicatives utilisées et leurs caractéristiques.

Taille de la ferme

La taille de l'exploitation est la principale variable documentée qui a une relation empirique avec les décisions des agriculteurs de mettre en œuvre ou non une technologie d'irrigation. Elle est une variable quantitative qui exprime la superficie exploitée par l'irrigant au sein de sa ferme, mesurée en hectares. Son symbole pour le codage dans notre base de données est *SIZE*.

La diversification de l'exploitation

Pour mesurer la diversification au sein des exploitations, l'indice de Herfindahl-Hirschman (IHH) est utilisé. Cet indice correspond à la somme de toutes les parts au carré de chacune des cultures par rapport à l'ensemble des cultures pratiquées, et il est calculé par la formule :

$$IHH = \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i}{X} \right)^2$$

Dans cette formule, x_i est la proportion de la surface cultivée consacrée à la culture i , X est le total de la surface cultivée, N est le nombre total de cultures. Si cet indice a été choisi, parmi de nombreux autres indices de concentration, pour mesurer la diversification au sein des exploitations agricoles, c'est en raison de sa simplicité d'utilisation, de son adaptabilité à divers types de diversification des exploitations agricoles (en particulier la diversification par produit ou culture), et parce qu'il présente la plupart des caractéristiques d'un bon indice de concentration (Scarffe, 2018).

L'indice de Herfindahl-Hirschman attribue aussi plus de poids aux cultures représentant des parts plus grandes, en calculant les parts au carré avant de les additionner. Il s'agit d'une caractéristique importante de la mesure de la concentration, car le niveau de concentration dépend à la fois du nombre de cultures et de la distribution des parts que ces dernières représentent.

L'indice choisi a des limites précises et la gamme des valeurs varie entre une limite inférieure de presque zéro, $1/N$ (qui indique une diversification parfaite), et un maximum de 1 (qui représente une concentration parfaite des exploitations agricoles, soit en une seule culture, de faibles valeurs de l'IHH indiquent un ensemble diversifié de cultures, tandis que des valeurs élevées révèlent un degré élevé de concentration (de cultures) ou, de façon équivalente, un portefeuille d'exploitation agricole moins diversifié. Son symbole pour le codage dans notre base de données est *DIVERS*.

Main d'œuvre agricole

La main d'œuvre agricole utilisée au sein des exploitations est une variable qui contient l'information sur le nombre de travailleurs (permanents ou saisonniers) qui œuvrent pendant une année (saison) au sein de l'exploitation de l'irrigant enquêté. Elle est obtenue par une question directe à l'exploitant sur l'effectif de la main d'œuvre qu'il utilise. Son symbole pour le codage dans notre base de données est *WORK*.

Accès au crédit

L'accès au crédit est une variable binaire qui prend la valeur 1 si l'exploitant a l'accès au crédit auprès d'une des institutions de prêts, ou 0 pour aucun accès possible dans son historique. Elle est obtenue par une question directe à l'exploitant s'il avait un accès au moins une fois pendant son activité au sein de l'exploitation. Son symbole pour le codage dans la base est *CREDIT*.

Investissements

L'investissement de l'irrigant enquêté au sein de son exploitation est une variable binaire. Elle est obtenue par une question directe à l'exploitant en posant la question si le coût de l'investissement est une raison pour ne pas investir ou équiper l'ensemble de la surface agricole sous l'équipement économe en eau. Elle prend la valeur 1 s'il répondait oui, ou 0 s'il répondait non. Son symbole pour le codage dans notre base de données est *INVEST*.

Age de l'irrigant

L'âge de l'exploitant est une variable quantitative qui exprime l'âge de l'irrigant enquêté. Il est, en tant que *proxy* de l'expérience et du risque, l'une des variables le plus souvent étudiées. Elle est obtenue par une question directe à l'exploitant sur son âge en années (ou l'année de naissance). Son symbole pour le codage dans notre base de données est *AGE*.

Niveau d'éducation de l'irrigant

Le niveau d'instruction de l'irrigant enquêté est une variable multinomiale ordonnée qui prend 4 valeurs. Elle prend la valeur 0 pour aucun niveau d'instruction (analphabète), 1 pour le niveau primaire, 2 pour le niveau de moyen, 3 pour le lycée, 4 pour le niveau universitaire (peu importe la nature de formation). Elle est obtenue par une question directe à l'exploitant sur son niveau d'instruction. Son symbole pour le codage dans notre base de données est *EDUC*.

Sources d'information

Les sources d'information pour un irrigant enquêté sont quantifiées par une variable binaire, en guise de simplification. Elle prend la valeur de 1 si l'information provient de services de vulgarisation tels que la Direction des services agricoles, la Chambre d'Agriculture, l'O.N.I.D. et les instituts techniques ou d'autres sources privées telles que les sociétés privées de conseil agricole ou de fourniture d'intrants, et 0 si l'information provient d'autres exploitants. Elle est obtenue par une question directe à l'exploitant sur ses sources d'information. Son symbole pour le codage dans notre base de données est *INFO*.

Membres d'une OPA

L'adhésion à une OPA est quantifiée à travers une variable binaire, où elle prend la valeur de 1 pour l'appartenance à une association d'usagers de l'eau, à une coopérative agricole ou à l'union nationale des agriculteurs algériens, et 0 pour les non-membres. Elle est obtenue par une question directe à l'exploitant s'il est un adhérent. Son symbole pour le codage est *ADHER*.

Tableau 39. Définition et statistiques descriptives des variables du modèle d'adoption

<i>Variables</i>	<i>Nature</i>	<i>Symboles</i>	<i>Définitions</i>	<i>Moy.</i>	<i>E.T.</i>
Taille de la ferme	Continue	<i>SIZE</i>	Total des superficies exploitées en hectares	22.91	15.37
Diversification	Continue	<i>DIVERS</i>	Indice d'Herfindahl pour la diversification au sein des exploitations agricoles	0.04	0.07
Main d'œuvre	Continue	<i>WORK</i>	Le nombre de travailleurs dans les exploitations agricoles	10.16	3.51
Accès au crédit	Binaire	<i>CREDIT</i>	Prend la valeur 1 si l'exploitant a l'accès au crédit, 0 pour aucun accès	0.27	0.44
Investissements	Binaire	<i>INVEST</i>	Prend la valeur 1 si le coût de l'investissement est une raison pour ne pas investir ou équiper l'ensemble de la surface agricole sous l'équipement économe en eau, 0 sinon	0.47	0.49
Age	Continue	<i>AGE</i>	Âge de l'exploitant en années	62.32	10.09
Niveau d'éducation	Multinomiale	<i>EDUC</i>	Le niveau d'éducation de l'exploitant mesuré sur une échelle multinomiale qui prend les valeurs : 0 pour aucun, 1 pour primaire, 2 pour moyen, 3 pour lycée, 4 pour universitaire.	0.78	1.10
Sources d'information	Binaire	<i>INFO</i>	Prend la valeur 1 si l'information provient d'un service de vulgarisation, 0 si l'information provient d'autres exploitants	0.27	0.45
Membres d'OPA	Binaire	<i>ADHER</i>	Prend la valeur 1 pour les membres d'une OPA, 0 pour les non-membres	0.11	0.32
Subvention publique	Binaire	<i>SUBV</i>	Prend la valeur 1 si l'exploitant a été financé en partie par des subventions publiques pour la technologie d'irrigation ; 0 sinon	0.32	0.46
Ratio de forages	Binaire	<i>FORAG</i>	Ratio entre le nombre de forages et la surface de l'exploitation.	0.08	0.07

Subvention publique

La subvention du gouvernement par ces multiples aspects est quantifiée par une variable binaire. Elle prend la valeur de 1 si l'exploitant a été financé en partie par des subventions publiques pour la technologie d'irrigation ; 0 sinon. Elle est obtenue par une question directe à l'exploitant sur son accès aux différents types de subventions du gouvernement. Son symbole pour le codage dans notre base de données est *SUBV*.

Ratio de forages

Afin de refléter la rareté de l'eau, un ratio est envisagé et qui est exprimé par le rapport entre le nombre de forages au sein de l'exploitation de l'irrigant enquêté et sa superficie exploitée (informations déjà recueillies). Son symbole pour le codage est *FORAG*.

3.2. Les modèles utilisés de choix individuel

3.2.1. Le modèle Logit binomial

Les modèles économiques qui prédisent la probabilité de choisir une alternative plutôt qu'une autre sont appelés modèles à « choix discret » ou à « variables dépendantes limitées ». Ces modèles fonctionnent avec un nombre limité d'alternatives discrètes et cherchent à décrire le comportement de choix en termes de probabilité. Dans le cas de notre modèle, on suppose que la variable à expliquer (l'adoption d'une technologie d'irrigation donnée) peut prendre deux modalités : pas d'adoption (toujours en technique d'irrigation gravitaire), adoption d'une technologie d'irrigation (Aspersion et/ou goutte-à-goutte).

Principe de base

D'un point de vue empirique, cette approche requiert un modèle à choix discret tel que le modèle Logit ou encore Probit (Amemiya, 1981). Les résultats de ces deux modèles sont similaires, à l'exception du fait que les erreurs suivent, par hypothèse, une distribution normale dans le modèle Probit et une distribution logistique dans le modèle Logit Whitehead & Thompson (1993). Selon Hanemann (1984), il est justifié de supposer une distribution logistique des erreurs pour utiliser une modélisation de type Logit expliquant le choix en terme de probabilité. Les travaux empiriques utilisent davantage le modèle Logit pour expliquer l'adoption des technologies (Hanemann, 1984).

Les modèles d'utilité aléatoires supposent, comme dans la théorie économique néoclassique, qu'un agriculteur a une capacité de discrimination parfaite. L'analyste, cependant, est supposé avoir des informations incomplètes et, l'incertitude doit donc être prise en compte. L'approche de l'utilité aléatoire, formalisée par Manski (1977), est plus conforme à la théorie du consommateur. On suppose toujours que l'individu choisit l'alternative ayant l'utilité la plus élevée. Cependant, les utilités ne sont pas connues par l'analyste avec certitude et sont donc traitées comme des variables aléatoires.

De ce point de vue, la probabilité de choix de l'alternative i est égale à la probabilité que l'utilité de l'alternative i , U_{in} , soit supérieure ou égale à celle de toutes les autres alternatives dans l'ensemble de choix. Ceci peut s'écrire comme suit :

$$P(i|C_n) = P[U_{in} \geq U_{jn}] \quad j \in C_n$$

Les modèles de choix discrets, appelés également utilité aléatoire, constituent un vaste domaine de recherche proposant maintes applications économiques qui complètent la compré-

hension des choix (Stolyarova, 2016). Manski (1977) identifie quatre différentes sources d'incertitude : les attributs alternatifs non observés, les attributs individuels non observés et les erreurs de mesure, et les variables indirectes ou instrumentales. En toute généralité, on suppose que l'utilité, qui est une variable aléatoire, se laisse écrire sous la forme suivante :

$$U = V + \varepsilon$$

Où V est la partie déterministe et ε la partie aléatoire, ainsi les modèles vont devoir estimer la fonction d'utilité de chaque alternative à disposition de l'individu. Dans ce contexte, nous suivons une approche en termes de fonction d'utilité : on suppose que chaque type de matériel induit pour l'agriculteur un niveau de satisfaction qui détermine le choix de cet agriculteur. L'analyse de la décision d'adoption des technologies repose sur le principe de rationalité des agents économiques et sur l'hypothèse de maximisation de l'utilité. Le comportement rationnel de l'exploitant le conduit à préférer une technologie d'irrigation qui lui procure plus d'utilité. Autrement dit, l'agriculteur rationnel va choisir l'alternative qui lui procure plus de satisfaction. L'agriculteur i choisit la modalité j si :

$$U_{ij} = \text{Max}\{U_{i0}, U_{i1}, \dots, U_{ij}\}$$

où U_{ij} représente l'utilité de l'agriculteur i avec la modalité j . On suppose que l'utilité que retire un agriculteur i de la modalité j n'est pas la même que celle que retirerait un autre agriculteur i' de cette même modalité : cette utilité qui peut aussi être assimilée à une profitabilité est susceptible de varier en fonction de caractéristiques x_i propres à chaque agriculteur. Le modèle empirique que nous estimons prend la forme générale suivante :

$$U_{ij} = \beta_j x_i + \varepsilon_{ij}$$

Le paramètre β_j représente les caractéristiques spécifiques à la modalité j (les coefficients β_j peuvent varier entre les différentes modalités) mais sont communes à tous les agriculteurs et ε_{ij} un terme d'erreur pour l'agriculteur i avec la modalité j .

Les irrigants sont supposés prendre des décisions en matière d'adoption en fonction d'un objectif de maximisation de l'utilité. Supposons que l'irrigant souhaite irriguer un certain champ et a un choix binaire entre deux méthodes d'irrigation : (1) l'irrigation gravitaire ; et (2) l'irrigation par goutte à goutte. Nous désignons un indice pour chaque technologie j de sorte que $j = 1$ pour l'irrigation gravitaire et $j = 2$ pour l'irrigation par goutte à goutte, et nous désignons une fonction d'utilité qui classe les préférences de l'irrigant pour ces méthodes d'irrigation comme suit :

$$U_{ij} = U(R_{ij}, A_{ij})$$

Où U_{ij} représente l'utilité de l'irrigant d'adopter la méthode d'irrigation j sur la parcelle i ; R_{ij} est un vecteur de moments qui décrit la distribution des rendements nets de la méthode d'irrigation j sur le champ i , y compris les coûts d'adoption ; et A_{ij} est un vecteur qui décrit d'autres attributs associés à la méthode d'irrigation j .

Les variables R_{ij} et A_{ij} sont non observables et non disponibles, mais une relation linéaire peut être postulée entre l'utilité dérivée de la méthode d'irrigation j et les vecteurs des caractéristiques physiques et de l'irrigant comme suit :

$$U_{ij} = \beta'_{j0} + \beta'_{j1} C_i + \beta'_{j2} Q_i + \beta'_{j3} S_i + \epsilon_{ij} \quad i = 1, \dots, I \quad ; \quad j = 1, 2$$

où U_{ij} représente l'utilité de l'irrigant d'adopter la méthode d'irrigation j sur la parcelle i ; C_i représente un vecteur des caractéristiques physiques associées au champ i (Par exemple : le type de sol, la pente, etc.) ; Q_i étant un vecteur des caractéristiques de l'irrigant et de l'exploitation (par exemple : l'âge, scolarité, nombre de puits sur la ferme, etc.) qui affectent le choix de la technologie sur la parcelle i ; S_i = un vecteur de sources d'information (par exemple : les fournisseurs d'eau d'irrigation, les entreprises de consulting privées, etc.) qui influencent sur le choix de la technologie dans la parcelle i ; ϵ_{ij} est un terme d'erreur distribué aléatoirement et de moyenne nulle qui représente des caractéristiques inobservables ; et $\beta'_{j0}, \beta'_{j1}, \beta'_{j2}, \beta'_{j3}$ des vecteurs de paramètres à estimer.

Pour la simplicité de la présentation, on met X_i qui représente les vecteurs C_i, Q_i et S_i , et β_j représente les vecteurs $\beta'_{j0}, \beta'_{j1}, \beta'_{j2}$ et β'_{j3} dans l'équation (1) de manière à ce que :

$$U_{ij} = X'_i \beta_j + \epsilon_{ij}$$

L'irrigant choisira la méthode d'irrigation qui lui procure la plus grande utilité. Ainsi, l'irrigant choisira l'irrigation par goutte à goutte ($j = 2$) plutôt que l'irrigation par gravitaire ($j = 1$) sur la parcelle i si $U_{i1} < U_{i2}$. La probabilité de choisir l'irrigation par goutte à goutte sur la parcelle i est la suivante :

$$\begin{aligned} P_{i2} &= P(U_{i1} < U_{i2}) = P(X'_i \beta_1 + \epsilon_{i1} < X'_i \beta_2 + \epsilon_{i2}) = P(\epsilon_{i1} - \epsilon_{i2}) < X'_i (\beta_2 - \beta_1) \\ &= \alpha_i < X'_i (\beta_2 - \beta_1) = F[X'_i (\beta_2 - \beta_1)] \end{aligned}$$

Où α_i représente la différence de $(\epsilon_{i1} - \epsilon_{i2})$ et $F[X'_i(\beta_2 - \beta_1)]$ représente la fonction de distribution cumulative de α_i évaluée à $X'_i(\beta_2 - \beta_1)$

L'estimation de F dépend de la distribution de α_i . Les deux distributions les plus couramment utilisées pour F sont la normale cumulative et la logistique cumulative. Si la distribution normale cumulative est choisie, le modèle Probit binomial est utilisé, et si la logistique cumulative est choisie, le modèle Logit binomial est utilisé.

Dans le modèle Logit, la fonction de distribution cumulative pour P_{i2} est la suivante :

$$P_{i2} = F[X'_i(\beta_2 - \beta_1)] = \frac{1}{1 + e^{-[X'_i(\beta_2 - \beta_1)]}}$$

Cette équation est la fonction de distribution logistique cumulative.

Le modèle Logit binomial peut être dérivé de cette équation de la manière suivante. On multiplie d'abord les deux côtés par $1 + e^{-[X'_i(\beta_2 - \beta_1)]}$. On divise les deux côtés par P_{i2} et on soustrait 1. On obtient :

$$e^{-[X'_i(\beta_2 - \beta_1)]} = \frac{1}{P_{i2}} - 1 = \frac{1 - P_{i2}}{P_{i2}} = \frac{P_{i1}}{P_{i2}}$$

Par définition,

$$e^{-[X'_i(\beta_2 - \beta_1)]} = \frac{1}{e^{[X'_i(\beta_2 - \beta_1)]}}$$

donc :

$$\frac{P_{i1}}{P_{i2}} = \frac{1}{e^{[X'_i(\beta_2 - \beta_1)]}}$$

En inversant les deux côtés et en prenant des logarithmes naturels, on obtient :

$$\ln\left(\frac{P_{i2}}{P_{i1}}\right) = X'_i(\beta_2 - \beta_1)$$

où $\ln(P_{i2}/P_{i1})$ représente le logarithme naturel du rapport de cotes observé du choix de l'irrigation goutte à goutte par rapport à l'irrigation gravitaire. Cette dernière équation est le modèle Logit binomial que nous allons utiliser dans cette étude.

L'estimation du modèle Logit

L'estimation consiste à chercher les meilleurs paramètres de notre modèle qui nous permettent d'expliquer avec le moins d'erreurs le phénomène qu'on veut expliquer. Par modèle di-

chotomique, on entend un modèle statistique dans lequel la variable expliquée ne peut prendre que deux modalités (variable dichotomique). Il s'agit alors généralement d'expliquer la survenue ou la non survenue d'un événement. Dans le cas le plus classique d'un modèle de choix à deux modalités, l'estimation des coefficients du modèle Logit est basée sur la méthode du maximum de vraisemblance. Si des données sont disponibles au niveau micro, des procédures non linéaires d'estimation des paramètres sont requises (Gujarati, 2003). Soit $(Y_1, X_1) \dots (Y_n, X_n)$ un échantillon aléatoire de la distribution Logit conditionnelle. Selon Hurlin (2003), la régression du modèle Logit caractérisant l'adoption par un échantillon de producteurs est spécifiée comme suit :

$$P_i = F(\alpha + X_i \beta) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + X_i \beta)}}$$

où l'indice i indique la $i^{\text{ème}}$ observation dans l'échantillon, P_i est la probabilité qu'un individu face un choix donné Y_i , e est la base du logarithme népérien, X_i est un vecteur des variables exogènes est une constante et β_i sont des coefficients associés à chaque variable explicative X_i à estimer. On pose,

$$\forall i \in [1, N]: Y_i = \begin{cases} 1 & \text{si l'adoption s'est réalisée pour le producteur } i \\ 0 & \text{si l'adoption ne s'est pas réalisée pour le producteur } i \end{cases}$$

On remarque ici le choix du codage $[0,1]$ qui est traditionnellement retenu pour les modèles dichotomiques. En effet, celui-ci permet de définir la probabilité de survenue de l'évènement comme l'espérance de la variable codée Y_i , puisque :

$$E(Y_i) = P(Y_i = 1|X) = P(Y_i = 0|X) = \text{Prob}(Y_i = 1) = P_i$$

Alors la probabilité P_i d'adoption de la technologie de l'irrigation localisée est donnée par :

$$P_i = \text{Prob}(Y_i = 1) = \text{Prob}(Y_i^* > 0) = \text{Prob}(\beta' X_i + \varepsilon_i > 0) = \text{Prob}(\varepsilon_i > -\beta' X_i)$$

La loi de ε_i détermine la distribution de F est le type de modèle. En supposant une distribution symétrique de ε_i comme c'est le cas pour la loi logistique, on obtient :

$$P_i = \text{Prob}(\varepsilon_i < \beta' X_i) = F(\beta' X_i)$$

Le modèle dichotomique Logit admet pour variable expliquée non pas un codage quantitatif associé à la réalisation d'un évènement (comme dans le cas de la spécification linéaire) mais la probabilité d'apparition de cet évènement, conditionnellement aux variables exogènes.

Il y a plusieurs manières d'estimer les paramètres. On peut citer la méthode des moments généralisée, celle du score ou encore celle du maximum de vraisemblance. Cette dernière qui sera présentée ici est la plus populaire en choix discrets. Dans le cas du modèle dichotomique, la construction de la vraisemblance est extrêmement simple. En effet, à l'événement $Y_i = 1$ est associée la probabilité $P_i = F(X_i \beta)$ et à l'événement $Y_i = 0$ correspond la probabilité $1 - P_i = 1 - F(X_i \beta)$. Ceci permet de considérer les valeurs observées Y_i comme les réalisations d'un processus binomial avec une probabilité de $F(X_i \beta)$.

La vraisemblance des échantillons associés aux modèles dichotomiques s'écrit donc comme la vraisemblance d'échantillons associés à des modèles binomiaux. La seule particularité étant que les probabilités P_i varient avec l'individu puisqu'elles dépendent des caractéristiques X_i . Ainsi la vraisemblance associée à la probabilité Y_i s'écrit sous la forme :

$$L(Y_i, \beta) = P_i^{Y_i} (1 - P_i)^{1 - Y_i}$$

Dès lors, la vraisemblance associée à l'échantillon de taille N , noté $Y = (Y_1, \dots, Y_N)$ s'écrit de la façon suivante :

$$L(Y, \beta) = \prod_{i=1}^N P_i^{Y_i} (1 - P_i)^{1 - Y_i} = \prod_{i=1}^N [F(X_i \beta)]^{Y_i} [1 - F(X_i \beta)]^{1 - Y_i}$$

De cette définition, on déduit alors la Log-vraisemblance comme suit :

$$\log L(Y, \beta) = \sum_{i=1}^N Y_i \log[F(X_i \beta)] + (1 - Y_i) \log[1 - F(X_i \beta)]$$

Les effets marginaux du modèle Logit

De façon générale dans les modèles Probit et Logit, les seules informations interprétables sont les signes et les valeurs relatives des coefficients. Le signe d'un coefficient indique si la variable associée a une influence sur la probabilité $P(Y = 1)$ à la hausse ou à la baisse. Mais dans la pratique on se sert des effets marginaux pour étudier l'effet d'une variable sur les probabilités. Pour les modèles Logit, les coefficients estimés n'ont pas d'interprétation économique directe, car l'analyse économique porte sur les changements marginaux, les effets marginaux et les décisions marginales.

Les mesures qui sont familières aux économistes sont les effets marginaux et les élasticités. Pour permettre une analyse économique significative, les effets marginaux sont calculés pour

l'analyse de la décision d'adoption de la technologie agricole dans cette étude. L'effet marginal d'une variable explicative sur la probabilité d'adoption dans un modèle Logit n'est pas égal au coefficient estimé. L'effet marginal, MP_k , de la $k^{\text{ième}}$ variable est calculé comme suit :

$$MP_k = \frac{\partial P_i}{\partial x_{ik}} = \beta_k P_i (1 - P_i)$$

Ou bien

$$\frac{\partial P(y = 1|x)}{\partial x_i} = F'(\beta'X)\beta_i > 0$$

Contrairement aux effets marginaux estimés à partir d'un modèle linéaire, les dérivées partielles du modèle Logit non linéaire varient avec les valeurs des x . Les études utilisant des modèles Logit et Probit présentent souvent les probabilités marginales estimées calculées aux moyennes des variables explicatives.

Dans cette étude, les probabilités marginales peuvent être interprétées comme l'effet marginal de chaque variable explicative, qui se rapproche de la variation de la probabilité d'adoption aux moyennes des variables explicatives. Cependant, les formules d'effet marginal ne s'appliquent pas à la détermination de l'ampleur de l'effet partiel du changement d'une variable binaire de zéro à un. L'effet partiel du changement d'une variable dummy de zéro à un. Le calcul des effets marginaux pour une variable dummy est différent et est donné par : $P(Y = 1|X_K, X_*) = 1 - P(Y = 1|X_K, X_*)$. La sortie Stata rapporte les effets marginaux pour toutes les variables explicatives dummy en effectuant les calculs $(P|1) - (P|0)$.

Le modèle de choix binaire donne un aperçu simple de qui adopte une technologie particulière en fonction des variables observées. Le modèle de choix binaire ne permet pas d'obtenir des informations sur le "degré d'adoption" d'une technologie. Nous sommes intéressés non seulement par le fait qu'un agriculteur adopte ou non la technologie, mais aussi par le degré d'utilisation de celle-ci. Cela suggère que notre modèle économétrique devrait être capable de décrire à la fois le choix de l'adoption et le degré d'adoption. La section suivante décrit les modèles Tobit et Poisson qui prennent en compte à la fois la décision d'adopter et le degré d'adoption.

3.2.2. Le modèle Tobit

Une partie des travaux ne se contentent pas de l'analyse de la décision d'adoption mais s'intéressent également à l'intensité de l'adoption (Adesina & Zinnah 1993, Noltze *et al.*

2012). Ceci est particulièrement adapté aux situations d'adoption d'innovations. Le modèle Tobit, développé initialement par Tobin (1958), permet donc de mesurer non seulement la probabilité qu'un agriculteur adopte la nouvelle technologie, mais aussi l'intensité d'utilisation de la technologie une fois adoptée. Dans ce cadre les modèles de type Tobit permettent d'analyser la décision d'adoption ainsi que le taux d'adoption.

Le modèle à variable dépendante limitée fait partie des modèles pour lesquels la variable dépendante est continue mais n'est observable que sur un certain intervalle. Ainsi, ce sont des modèles qui se situent à mi-chemin entre les modèles de régression linéaire où la variable endogène est continue et observable et les modèles qualitatifs.

En effet, les modèles à variable dépendante limitée dérivent des modèles à variables qualitatives, dans le sens où l'on doit modéliser la probabilité que la variable dépendante appartienne à l'intervalle pour lequel elle est observable. Ce modèle et ses généralisations sont connus par les économistes sous le nom de modèle Tobit, terme qui a été introduit par Goldberger (1964). Les modèle Tobit se réfèrent de façon générale à des modèles de régressions dans lesquels le domaine de définition de la variable dépendante est contraint sous une forme ou une autre.

Principe de base

Du fait de ces très nombreuses applications, différentes extensions et généralisations ont été proposées pour le Tobit : modèle Tobit généralisé, modèles à seuils stochastiques. C'est pourquoi on a introduit la caractérisation de modèle Tobit simple pour désigner le modèle développé par Tobin et le distinguer des autres extensions. Amemiya (1983) identifie ainsi 5 types de modèle de Tobit, le Tobit simple étant qualifié de modèle Tobit Type I, qui sera explicité ici. Considérons N couples de variables (X_i, Y_i^*) , où la variable Y_i^* , est engendrée par un processus aléatoire tel que :

$$E(Y_i^* | X_i) = \beta X_i$$

où $\beta \in R^k$ est un vecteur de paramètres. On suppose que la variable Y_i^* n'est pas toujours observable : on ne l'observe que si sa valeur est supérieure à un certain seuil C_i . On peut ainsi construire une variable Y_i , qui est égale à Y_i^* lorsque celle-ci est observable et qui vaut C_i par convention lorsque Y_i^* n'est pas observable.

$$Y_i = \begin{cases} Y_i^* & \text{si } Y_i^* > C_i \\ C_i & \text{sinon} \end{cases} \forall i = 1, \dots, N$$

La constante C_i peut être identique pour tous les individus. Deux cas peuvent alors se présenter suivant la nature des observations : 1) Si le vecteur est observable pour tous les individus et cela indépendamment du fait que la variable Y_i^* soit observable ou non, on a un échantillon censuré. Seule la variable Y_i^* est observable sur un intervalle $[C_i, +\infty[$; 2). Si le vecteur X_i est observable uniquement pour les individus pour lesquels la variable Y_i^* est observable, on a un *échantillon tronqué*. On ne dispose d'observations (X_i, Y_i^*) que pour les individus pour lesquels $Y_i^* > C_i$.

Une des caractéristiques essentielles des données de notre échantillon étant que plusieurs observations pour l'adoption sont nulles. En effet, ces observations sont nulles pour tous les agriculteurs n'ayant pas adopté la nouvelle technologie d'économie d'eau. Pour ces individus, on dispose ainsi d'observations sur les autres variables rattachées à l'exploitation agricole mais pas d'observations sur l'adoption : on a un échantillon censuré.

Nous utilisons un modèle Tobit Simple ou modèle Tobit de type I est défini par :

$$Y_i^* = X_i\beta + \varepsilon_i \forall i = 1, \dots, N$$

$$Y_i = \begin{cases} Y_i^* & \text{si } Y_i^* > 0 \\ 0 & \text{si } Y_i^* \leq 0 \end{cases} \quad \forall i = 1, \dots, N$$

avec $X_i = (X_i^1, \dots, X_i^k), \forall i = 1, \dots, N$; vecteur des caractéristiques observables ; $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_k)'$ vecteur de paramètres inconnus ; ε_i perturbations distribuées selon une loi normale $N(0, \sigma_\varepsilon^2)$. On suppose ainsi que les variables Y_i et X_i sont observées pour tous les individus, mais que les variables Y_i^* sont observables uniquement si elles sont positives. L'écriture d'un seuil nul $Y_i^* > 0$ peut être changée en un seuil $Y_i^* > Y_0$ sans que le modèle soit changé. Il suffit pour cela d'absorber dans le vecteur des caractéristiques X_i une constante et de lui associer un coefficient égal à Y_0 . Le cas où les seuils $Y_{i,0}$ diffèrent selon les individus nécessite toutefois de modifier le modèle. Néanmoins, l'application d'une méthode de moindres carrés ordinaires ne permet pas d'estimer de façon convergente le vecteur des paramètres β associés aux variables explicatives.

L'estimation du modèle Tobit

Différentes méthodes d'estimation alternatives ont été proposées. La méthode d'estimation qui est fréquemment utilisée aujourd'hui est celle du maximum de vraisemblance (Goldberger 1981, Olsen 1978). Toutefois cette méthode est relativement exigeante en termes de capacités

de calcul, notamment dans la phase d'optimisation. C'est pourquoi, dans les années 70, du fait des contraintes informatiques, d'autres méthodes d'estimation ont souvent été privilégiées parce qu'elles nécessitaient moins de capacités de calcul : tel est le cas de la méthode d'estimation en deux étapes de Heckman (1976). Heckman (1976), suivant une suggestion de Gronau (1974), propose un estimateur en deux étapes dans un modèle Tobit généralisé à deux équations. Cet estimateur peut aussi être utilisé pour estimer les paramètres d'un modèle Tobit simple ou modèle Tobit de type I.

En effet, les capacités informatiques sont désormais suffisantes pour envisager l'optimisation des fonctions de vraisemblance associées directement aux modèles Tobit et non plus uniquement aux Probit dichotomiques comme dans le cas de la procédure de Heckman (1976). La Log-vraisemblance associée au modèle Tobit simple se définit ainsi :

$$Y_i = \begin{cases} Y_i^* & \text{si } Y_i^* = X_i\beta + \varepsilon_i > 0 \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \forall i = 1, \dots, N$$

Avec $X_i = (X_i^1, \dots, X_i^k)$, $\forall i = 1, \dots, N$ et $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_k)' \in \mathfrak{R}^k$, et ε_i : Perturbations distribuées selon une loi $N(0, \sigma_\varepsilon^2)$. Considérons un échantillon de N observations, noté $Y = (Y_1, \dots, Y_N)$. La vraisemblance de ce modèle est définie par :

$$L(Y, \beta, \sigma_\varepsilon^2) = \prod_{i:Y_i=0} \left[1 - \Phi\left(\frac{X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right) \right] \prod_{i:Y_i>0} \left(\frac{1}{\sigma_\varepsilon}\right) \phi\left(\frac{Y_i - X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right) \quad (5.1)$$

En effet, on sait que si l'on définit une variable dichotomique Z_i Probit telle que :

$$Z_i = \begin{cases} Y_i^* & \text{si } Y_i^* = X_i\beta + \varepsilon_i \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \forall i = 1, \dots, N$$

Alors, la probabilité que la variable Y_i prenne des valeurs positives :

$$Prob(Z_i = 1) = Prob\left(\frac{\varepsilon_i}{\sigma_\varepsilon} < \frac{X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right) = \Phi\left(\frac{X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right)$$

La probabilité que la variable Y_i prenne une valeur nulle :

$$Prob(Y_i = 0) = Prob(Z_i = 0) = 1 - \Phi\left(\frac{X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right)$$

On sait que si $Y_i > 0$ on a par définition $Y_i = Y_i^* = X_i\beta + \varepsilon_i$ où les perturbations ε_i sont distribuées selon une loi normale, on en déduit que les variables Y_i sont distribuées selon une

loi normale $N(X_i\beta, \sigma_\varepsilon^2)$. Ainsi, la loi marginale d'une observation positive est définie par la quantité :

$$\frac{1}{\sigma_\varepsilon\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Y_i - X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right)^2\right] = \left(\frac{1}{\sigma_\varepsilon}\right) \phi\left(\frac{Y_i - X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right)$$

où $\phi(\cdot)$ désigne la fonction de densité associée à loi normale centrée réduite. La log-vraisemblance associée à un échantillon $Y = (Y_1, \dots, Y_N)$ dans un modèle Tobit simple s'écrit :

$$\log L(Y, \beta, \sigma_\varepsilon^2) = \sum_{i:Y_i=0} \log\left[1 - \Phi\left(\frac{X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right)\right] - \frac{N_1}{2} \log(\sigma_\varepsilon^2) - \frac{1}{2\sigma_\varepsilon^2} \sum_{i:Y_i>0} (Y_i - X_i\beta)^2$$

avec N_1 nombre d'observations pour lesquels le Log-vraisemblance est définie par :

$$\begin{aligned} \log L(Y, \beta, \sigma_\varepsilon^2) &= \sum_{i:Y_i=0} \log\left[1 - \Phi\left(\frac{X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right)\right] + \sum_{i:Y_i>0} \log\left[\left(\frac{1}{\sigma_\varepsilon}\right) \phi\left(\frac{Y_i - X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right)\right] \\ &= \sum_{i:Y_i=0} \log\left[1 - \Phi\left(\frac{X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right)\right] - \sum_{i:Y_i>0} \log(\sigma_\varepsilon) + \sum_{i:Y_i>0} \log\left[\phi\left(\frac{Y_i - X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right)\right] \\ &= \sum_{i:Y_i=0} \log\left[1 - \Phi\left(\frac{X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right)\right] - N_1 \log(\sigma_\varepsilon) + \sum_{i:Y_i>0} \log\left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Y_i - X_i\beta)^2}{2\sigma_\varepsilon^2}}\right] \\ &= \sum_{i:Y_i=0} \log\left[1 - \Phi\left(\frac{X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right)\right] - N_1 \log(\sigma_\varepsilon) - \frac{1}{2\sigma_\varepsilon^2} \sum_{i:Y_i>0} (Y_i - X_i\beta)^2 - \frac{N_1}{2} \log(2\pi) \end{aligned}$$

En éliminant les termes constants on a :

$$\log L(Y, \beta, \sigma_\varepsilon^2) = \sum_{i:Y_i=0} \log\left[1 - \Phi\left(\frac{X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right)\right] - N_1 \log(\sigma_\varepsilon) - \frac{1}{2\sigma_\varepsilon^2} \sum_{i:Y_i>0} (Y_i - X_i\beta)^2$$

Sachant que :

$$N_1 \log(\sigma_\varepsilon) = \left(\frac{N_1}{2}\right) \log(\sigma_\varepsilon^2)$$

On a alors la Log-vraisemblance s'écrit sous la forme :

$$\log L(Y, \beta, \sigma_\varepsilon^2) = \sum_{i:Y_i=0} \log\left[1 - \Phi\left(\frac{X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right)\right] - \left(\frac{N_1}{2}\right) \log(\sigma_\varepsilon^2) - \frac{1}{2\sigma_\varepsilon^2} \sum_{i:Y_i>0} (Y_i - X_i\beta)^2$$

Les effets marginaux du modèle Tobit

Les effets marginaux dans un modèle de régression censurée correspondent à la déformation des prévisions sur une variable continue engendrée par une variation d'une unité d'une des variables explicatives. Il y a alors plusieurs prévisions possibles dans le cas du modèle Tobit suivant, que l'on s'intéresse à la variable censurée Y_i ou à la variable latente Y_i^* . En effet, trois cas peuvent apparaître :

1. Soit l'on considère la prévision sur la variable latente représentée par l'espérance conditionnelle :

$$E(Y_i^*|X_i) = X_i\beta \quad \forall i = 1, \dots, N$$

2. Soit l'on considère la prévision sur la variable dépendante représentée par l'espérance conditionnelle :

$$E(Y_i^*|X_i) = \phi\left(\frac{X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right)X_i\beta + \sigma_\varepsilon\phi\left(\frac{X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right) \quad \forall i = 1, \dots, N$$

3. Soit l'on considère la prévision sur la variable dépendante censurée représentée par l'espérance conditionnelle :

$$E(Y_i|X_i, Y_i > 0) = E(Y_i^*|X_i, Y_i^* > 0) = X_i\beta + \sigma_\varepsilon\lambda\left(\frac{X_i\beta}{\sigma_\varepsilon}\right) \quad \forall i = 1, \dots, N$$

3.2.3. Le modèle de régression de Poisson/Binomial

Pourquoi utiliser des modèles spécifiques pour traiter les données de comptage ? Le nombre d'évènements relatifs à un nombre de parcelles ou surfaces équipées par les technologies d'irrigation est souvent très faible pour une majorité d'individus et à l'inverse, il peut être très élevé pour une minorité. Cela implique une distribution fortement asymétrique. Les modèles statistiques pour analyser des données ayant ce type de distribution doivent donc être adaptés en conséquence et ne peuvent suivre les modèles de régression linéaire classique par moindres carrés (Rivest, 2012). L'étude des évènements reliés à l'adoption des innovations peut s'observer de deux façons, soit en termes d'occurrence par unité de temps ou soit par un taux. Ce type de données est appelé en anglais, les *count data* traduit en français dans cette étude par données de comptage.

En général, l'observation des données se fait par rapport à une région spatiale ou à un intervalle de temps précis. Par définition, une donnée comptée est une donnée discrète non négative (0 à ∞) (Hilbe, 2007). Il s'agit dans notre cas de figure du nombre d'hectares équipés en

économie d'eau ou encore le taux d'équipement par exploitant dans la Mitidja. Tous les modèles basés sur des données de comptage visent à déterminer les facteurs qui influencent, à la hausse ou à la baisse, le nombre d'évènements ou le taux calculé.

Au niveau statistique, les données de comptage ne peuvent être traitées comme des variables continues. En effet, la plupart des tests statistiques couramment utilisés comme la régression par moindres carrés et certains modèles multiniveaux sont basés sur le postulat de la normalité (loi gaussienne) de la distribution des données observées. Également, une donnée de comptage est en soi intrinsèquement hétéroscédastique (variance inégale) et asymétrique positive (Hilbe, 2007). Par contre, comme mentionne Atkins and Gallop (2010), beaucoup de chercheurs passent outre ces postulats et compte sur un nombre de cas suffisants pour pallier aux problèmes de non-normalité dans l'étude des évènements. Cependant, l'estimation des erreurs types, sans égard à la taille de l'échantillon, peut s'avérer inexacte et biaiser les tests de signification statistique. Il est alors nécessaire de tenir compte de cette particularité en utilisant, généralement, des modèles statistiques basés sur la loi de Poisson ou également appelés la loi des évènements rares.

De nombreuses études sur l'adoption ont utilisé des modèles de Poisson pour déterminer l'intensité de l'adoption des technologies. Par exemple, Azumah *et al.* (2017) et Mensah-Bonsu *et al.* (2017) ont utilisé le modèle de Poisson pour expliquer l'intensité d'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique et des pratiques de management des terres et de l'eau respectivement ; Jordán & Speelman (2020) ont utilisé le modèle de Poisson pour expliquer l'adoption des technologies d'irrigation et la diversité sous-jacente en termes d'intensité d'adoption ; Mahama *et al.* (2020) ont également utilisé le modèle de Poisson pour estimer les déterminants de l'intensité d'adoption des technologies de production durable de soja.

Principe de base

Les modèles de base de données de comptage sont les modèles de Poisson et binomial négatif. Ce dernier est le choix standard parmi ces modèles en raison de l'hypothèse d'équi dispersion qui caractérise la distribution de Poisson. La régression de Poisson permet de modaliser les comptages distribués selon une loi de Poisson en fonction de variables explicatives quantitatives ou qualitatives. La distribution de Poisson est l'hypothèse de base de plusieurs modélisations des données de comptage en économétrie. La régression de Poisson découle du modèle suivant :

$$P(Y = Y_i | X_i) = \frac{e^{(-\mu_i)} \mu_i^Y}{Y_i!}, \quad Y = 0, 1, \dots \quad i = 1, \dots, N$$

$$\mu_i = e^{X_i \beta}$$

Où P est la probabilité, Y_i est une variable de comptage observée (un nombre d'événements) pour l'individu i , X_i est un vecteur de K variables explicatives linéairement indépendantes observées pour l'individu i , et β est un vecteur de paramètres de dimension appropriée $K \times 1$. La forme de la fonction exponentielle assure la non-négativité du paramètre de la moyenne μ .

On vérifie aisément que dans la loi de Poisson, l'espérance est égale à la variance. La moyenne et la variance conditionnelles du modèle de Poisson sont égales au paramètre μ_i :

$$E(Y_i | X_i) = Var(Y_i | X_i) = \mu_i$$

Cette hypothèse d'équi-dispersion est très restrictive. Mais dans la pratique, du fait d'une abondance de valeurs nulles et de la présence de quelques valeurs extrêmes, la variance est supérieure à la moyenne. Dans ce cas, on parle d'une sur-dispersion de la variable Y . Cette situation implique une sous-estimation des écarts types et on rejette trop souvent l'hypothèse nulle de non significativité des coefficients du modèle. D'où l'idée d'utiliser un modèle de comptage alternatif, basé sur la loi binomiale négative, qui prend en compte cette sur-dispersion par l'introduction d'un paramètre supplémentaire qui permet, en outre, de capter l'hétérogénéité inobservée de la variable endogène (qui peut impliquer la sur-dispersion observée). La forme que prend la distribution est exposée dans le graphique suivant :

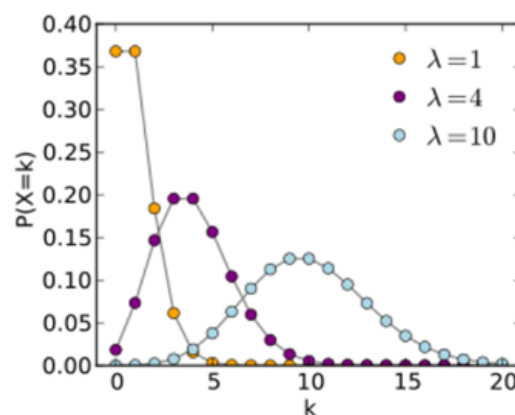


Figure 33. La distribution de Poisson

Une des particularités de la distribution de Poisson se rapporte à sa moyenne. Plus celle-ci augmente plus la distribution se rapproche de la normalité comme le démontre le graphique précédent. Plus le lambda (λ) est élevé, plus la distribution tend vers la normalité. Par contre,

les évènements étudiés considérés comme des données de comptage ont, la plupart du temps, une moyenne faible se caractérisant par une distribution asymétrique avec beaucoup plus de valeurs faibles qu'élèves.

Tous les modèles statistiques possèdent une série de postulats à respecter ; le modèle de Poisson ne fait pas exception (Atkins & Gallop, 2010 ; Hilbe, 2007). Premièrement, l'absence du phénomène (soit la valeur zéro) doit être possible dans la distribution. Également, le nombre de zéro ne doit pas être excessif et dépasser la probabilité suggérée par la Loi de Poisson. Un nombre très important de zéro justifie le choix de modèles modifié en zéro. Les valeurs doivent être des nombres absolus, entiers et positifs. La distribution peut se subdiviser en deux parties bien distinctes, la fréquence de la valeur zéro et les fréquences associées aux autres valeurs (1 à ∞). Au niveau des mesures de tendance centrale et de dispersion, la moyenne influence fortement la forme de la distribution de la variable dépendante, plus elle est élevée, plus la distribution tend vers une distribution normale. De plus, l'écart-type doit être égal à la moyenne, si la variance est plus élevée que la moyenne, il y a présence de sur-dispersion ce qui justifie le modèle d'analyse suivant la distribution binomiale négative exposée dans la section suivante.

L'utilisation des modèles basés sur la loi de Poisson suppose une variance égale à la moyenne. En réalité, une des propriétés couramment observées dans les données de comptage est une variance supérieure à la moyenne. Il existe des individus dans l'échantillon avec un nombre élevé d'occurrences alors que la grande majorité des autres se retrouve à une fréquence observée de 0 ou 1. Ces résultats produisent alors une variance plus élevée conditionnellement à une moyenne faible. C'est pourquoi le modèle de Poisson est peu adapté dans la plupart des cas. La loi binomiale négative devient alors incontournable.

La loi binomiale négative est aussi une distribution de probabilité discrète. Cette loi se traduit comme étant une expérience qui consiste en une série de tirages indépendants, donnant une probabilité p de « succès » et une probabilité d'« échec » de $(1 - p)$ (Hilbe, 2007). Celle-ci se poursuit jusqu'à l'obtention d'un nombre donné n de « succès ». Il en résulte que la variable aléatoire représentant le nombre d'« échecs » suit une loi binomiale négative. L'équation de la loi binomiale négative est la suivante :

$$P(\gamma_i | \mu_i) = \frac{\Gamma(\gamma_i + v_i)}{\gamma_i! \Gamma(v_i)} \left(\frac{v_i}{v_i + \mu_i} \right)^{v_i} \left(\frac{\mu_i}{v_i + \mu_i} \right)^{\gamma_i}$$

où μ_i est la moyenne à estimer et v_i est le paramètre de surdispersion. À la différence de la loi de Poisson, il y a deux paramètres à estimer lors de la modélisation soit la moyenne et la surdispersion. L'ajout de ce dernier paramètre supplémentaire permet d'ajuster la variance du modèle indépendamment de la moyenne. L'espérance et la variance s'expriment ainsi :

$$E(Y_i|X_i) = \lambda_i = e^{X_i \beta}, \text{Var}(Y_i|X_i) = \lambda_i(1 + \alpha \lambda_i)$$

La variance est donc différente de l'espérance et le paramètre α traduit une sur-dispersion (ou une sous-dispersion) des données. Si $\alpha = 0$ le modèle binomial se réduit au modèle de Poisson. Si $\alpha > 0$, le modèle de Poisson est rejeté au profit du modèle négatif binomial. La surdispersion peut être testée soit par le ratio $D / (n - p)$, où D désigne la déviance, n le nombre d'observations et p le nombre de paramètres dans le modèle, soit par le ratio $X^2 / (n - p)$, où X^2 correspond à la statistique du chi-deux de Pearson. La déviance est définie comme 2 fois la différence entre le maximum possible de la log vraisemblance et le maximum atteint sur le modèle estimé (Mc Cullagh & Nelder, 1989). Le X^2 de Pearson correspond à la somme des carrés des écarts à la moyenne. Si ces ratios sont supérieurs à 1, les données présentent une sur-dispersion (et une sous-dispersion si ces ratios sont inférieurs à 1).

La Figure 34 représente le graphique de la forme d'une distribution binomiale en comparaison avec la distribution de type ZIP et ZINB.

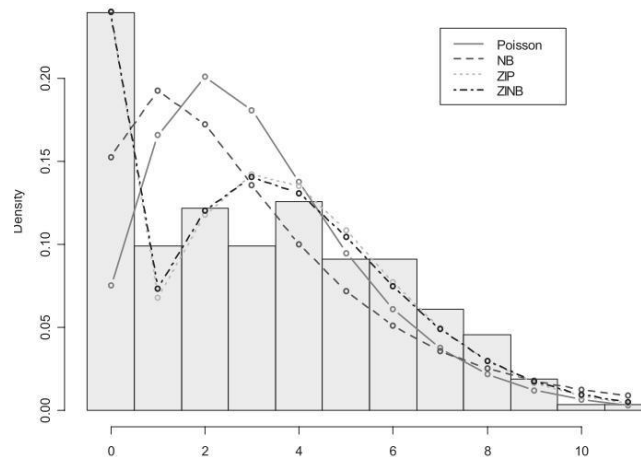


Figure 34. Les formes de distributions NB, ZIP et ZINB (Atkins, & Gallop, 2007)

Il est possible d'observer que la distribution binomiale négative possède des valeurs plus élevées que la distribution de Poisson. L'asymétrie est moins prononcée avec une moyenne plus élevée, mais toujours avec une variance supérieure, phénomène appelé la sur-dispersion.

Pour obtenir les valeurs des paramètres, la méthode du maximum de vraisemblance est utilisée, car elle fournit des estimateurs consistants et asymptotiquement efficaces. Cette méthode consiste à adopter comme valeurs des paramètres celles pour lesquelles la fonction de vraisemblance est maximisée ou, de manière équivalente, son logarithme. la fonction de vraisemblance n'est rien d'autre que la fonction de probabilité jointe qui se déduit de chaque modèle et que, en général, on peut exprimer par : $\prod_{i=1}^N P(Y = y_i)$, Son logarithme est donné par :

$$\sum_{i=1}^N \ln P(Y = y_i)$$

La fonction log-vraisemblance du modèle est donnée par l'équation suivante :

$$\ln L(\beta|Y_i) = \sum_{i=1}^N [-\mu_i + Y_i(X_i\beta) - \ln\Gamma(1 + Y_i)]$$

où Γ est la fonction de Gamma. Les paramètres sont choisis de façon à maximiser la valeur de la fonction log-vraisemblance. Les conditions de premier ordre sont:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta_j} = \sum_{i=1}^N (Y_i - e^{X_i\beta}) X_i = 0, \quad j = 1, 2, \dots, K$$

Dans le cas du modèle de Poisson, l'estimateur du maximum de vraisemblance pour le paramètre β est obtenu en maximisant la fonction :

$$L(\beta) = \sum_{i=1}^N y_i X_i \beta - e^{X_i \beta} - \ln(y_i!)$$

Une fois les paramètres connus, les effets marginaux du modèle Poisson sont calculés ainsi :

$$\frac{\partial(Y_i|X_i)}{\partial \beta_j} = \mu_i \beta$$

Le modèle de régression de Poisson est trop restrictif pour les données de comptage, ce qui a incité les économètres à recourir à des modèles alternatifs comme le modèle binomial négatif, qui permet la sur-dispersion.

Pour le modèle binomial négatif, il faut aussi estimer le paramètre α . Dans ce cas, le logarithme de la fonction de vraisemblance dont il faut traiter la maximisation est donné par :

$$L(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^N y_i \ln(\alpha) + y_i X_i \beta - \left(y_i + \frac{1}{\alpha}\right) \ln(1 + \alpha e^{X_i \beta}) + \ln \Gamma\left(y_i + \frac{1}{\alpha}\right) - \ln(y_i!) - \ln \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)$$

La statistique de Wald a été utilisée pour tester l'hypothèse nulle selon laquelle tous les coefficients étaient simultanément égaux à zéro. Les résultats de ce test montrent que le modèle est globalement significatif au seuil de 1%. Le test d'ajustement de Hosmer-Leshow est utilisé, ainsi que la courbe ROC qui se construit de manière empirique en calculant la sensibilité puis la spécificité d'un test pour différents niveaux de seuils de discrimination.

Dans le cas du modèle Logit, la réponse à cette question est donnée par la valeur des pseudos R^2 (coefficient de détermination) qui quantifie la contribution des variables explicatives dans l'explication de la variable expliquée.

3.3. Théorie et principes des préférences déclarées

La théorie du choix rationnel s'intéresse principalement à l'analyse des préférences des acteurs. Selon cette théorie, les comportements que l'on observe dans le monde réel sont le résultat de l'interaction entre les contraintes productives, principalement d'ordre technologique, et les préférences des individus qui demandent ces biens en fonction de leurs moyens et de leurs compétences. Ainsi, les préférences sont considérées comme un élément clé dans l'analyse des processus décisionnels et des choix sociaux relatifs à l'allocation de ressources rares et utiles.

Tversky et *al.*, (1988) soutiennent que les préférences jouent un rôle crucial dans l'analyse des mécanismes de prise de décision. Selon ces auteurs, la relation entre les préférences et les choix d'actions et d'options est l'élément clé de la théorie de la décision, permettant ainsi de mesurer l'utilité et la valeur. Ils considèrent que les comportements observables reflètent les préférences des acteurs, qui sont supposés être rationnels et agir de manière raisonnée pour maximiser leur satisfaction et leur bien-être individuel.

La théorie du choix rationnel établit une connexion entre le niveau d'utilité d'un individu et son bien-être global. Le niveau d'utilité est à son tour prédéterminé par la satisfaction des préférences. Les fondements de cette théorie sont repris succinctement dans ce qui suit. Dans cette optique, la théorie classique a lié la cohérence interne des préférences à la vérification de trois principaux axiomes (Varian, 1992). Le premier connu sous l'appellation de l'axiome des préférences complètes signifie que les individus « savent toujours ce qu'ils veulent ». Le deuxième, baptisé axiome de réflexivité, mentionne que chaque choix est toujours aussi désirable

que lui-même ou encore « les préférences sont stables ». Enfin, le troisième, appelé axiome de transitivité, renseigne sur la capacité des individus à comparer les bénéfices de leurs choix de manière toujours logique. Les divers travaux montrent que les décisions individuelles sont supposées obéir à des préférences ordinales plutôt que cardinales (Varian, 1992). Varian (1992) définit les préférences révélées en terme de choix observables : «Un choix X est révélé préféré à un choix alternatif Y, signifie seulement que X a été choisi alors que Y était accessible, "préféré" signifie que le consommateur classe X au-dessus de Y.» Seuls les choix manifestés sous forme de comportements mesurables sont ainsi considérés. Les méthodes de préférences déclarées se distinguent par le fait qu'elles peuvent contribuer à révéler des choix que les autres méthodes ne permettent pas de révéler.

Les préférences peuvent être regroupées en deux types, selon qu'elles sont analysées avant l'adoption (préférences déclarées) ou après (préférences révélées) (Alriksson & Öberg 2008). Les méthodes de préférences déclarées (évaluation contingente, évaluation conjointe ...) qui permettent une évaluation a priori de l'adoption, sont plus adaptées pour évaluer le potentiel de mise en œuvre de conduites agroécologiques au sein de systèmes de production majoritairement intensifs. Elles permettent d'évaluer le potentiel d'adoption de l'innovation ainsi que de pondérer les déterminants influant sur le choix d'adoption.

Dans les sections précédentes, nous avons supposé que les paramètres de préférence étaient une variable aléatoire non observée avec une moyenne de zéro et un écart-type de $2\pi/\sqrt{3}$. Nous avons ensuite utilisé des observations sur leur comportement et des informations sur leurs caractéristiques pour obtenir leur préférence technologique. En utilisant des observations du comportement des agriculteurs et des informations sur leurs caractéristiques, on a interprété un ensemble de préférences et une motivation à leurs actions. Cela impose une interprétation de la motivation des agriculteurs à partir des corrélations du comportement et des caractéristiques des agriculteurs qui peut attribuer trop de motivation aux caractéristiques plutôt qu'aux préférences déclarées des individus. Ce n'est que si les caractéristiques (par exemple, la richesse, le niveau d'éducation) déterminent entièrement ou sont fortement corrélées avec les préférences que l'on n'a pas ce problème d'identification erronée des types d'individus qui pourraient adopter.

4. Conclusion

Ce chapitre a été consacré aux modèles d'analyse et à la méthodologie. Cette approche méthodologique a permis de mettre le point sur les méthodes statistiques et économétriques à appliquer à des problèmes de l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces, ainsi que nous avons déterminé et justifié nos stratégies d'analyse statistique. À partir de ces méthodes statistiques dégagées à appliquer, nous avons décrit l'opérationnalisation de ces concepts et hypothèses émises. Ensuite, nous avons identifié les variables et décrit les procédures de mesure. C'est ici qu'intervient la modélisation. Compte tenu de la nature du phénomène à étudier, nous avons appliqué différents modèles. C'est la méthodologie proprement dite par laquelle, nous pourrions déterminer les facteurs essentiels expliquant l'adoption de l'irrigation moderne dans le périmètre irrigué étudié et l'élaboration des stratégies et mesures dans l'optique de promouvoir ces technologies.

CHAPITRE 5 : ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DE L'ADOPTION DES TECHNOLOGIES D'IRRIGATION DANS LA MITIDJA

Ce chapitre est consacré à la présentation et à l'analyse préliminaire des résultats de la recherche. Cette recherche, rappelons-le, poursuit un double objectif qui consiste d'une part à vérifier la présence des facteurs clés de l'innovation dans les exploitations agricoles et d'autre part à déterminer les facteurs critiques qui influencent son succès. Pour ce faire, dans un premier temps, nous allons procéder à une analyse descriptive et comparative des exploitations agricoles étudiées en fonction des variables du cadre conceptuel, et ce, afin de faire un état de la situation actuelle des exploitations agricoles du périmètre irrigué de la Mitidja Tr1 au regard de l'innovation. Par la suite, nous vérifierons les hypothèses de recherche.

1. Adoption des technologies d'irrigation par les exploitants enquêtés de la Mitidja

La Figure 35 présente l'utilisation des différentes techniques d'irrigation au niveau des exploitations enquêtées sur le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tranche 1.

Nous constatons que la technique d'irrigation gravitaire est dominante et pratiquée par 85,29% des exploitants. Par contre, 64,71% des exploitants utilisent les technologies d'irrigation modernes telles que l'aspersion 17,65% et le goutte à goutte 47,06%. Toutefois, il est à signaler que ce système est mal maîtrisé par la plupart d'entre eux. Cela confirme d'abord que les deux types de matériel effectivement présents au sein des exploitations sont l'aspersion et le goutte-à-goutte. La dominance de gravitaire est confirmée.

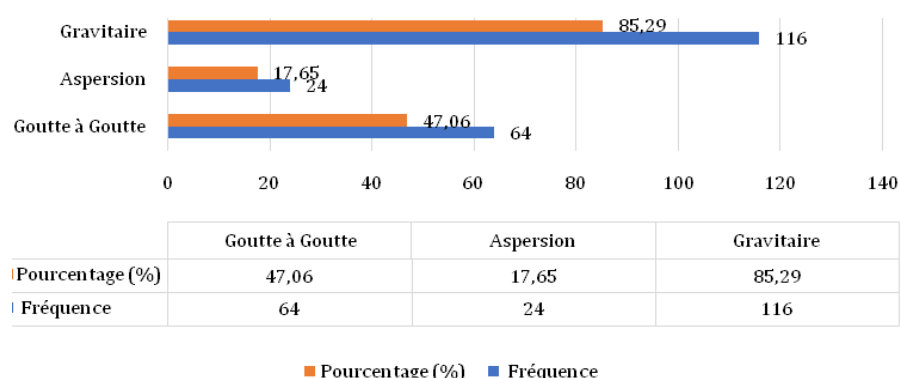


Figure 35. Fréquence d'utilisation des techniques d'irrigation par les exploitants enquêtés.

Les exploitations du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1 utilisent cinq types de techniques d'irrigation selon leur combinaison ou non (Figure 36). 72 et 14 exploitations agricoles, soient 52,90% et 10,30% respectivement utilisent la technique gravitaire et l'irrigation

localisée de manière exclusive. Le reste des exploitations soit 36,74%, pratiquent un système d'irrigation mixte. En effet, au sein des 50 exploitations restantes (36,74%), les trois systèmes d'irrigation identifiés sont combinés de façon binaire à savoir le gravitaire et goutte à goutte ou goutte à goutte et aspersion qui représentent respectivement 19,11% et 4,4% et enfin une combinaison ternaire : Gravitaire, Goutte à Goutte et Aspersion qui représente 13,23%. Cette pratique de l'irrigation est enregistrée au niveau des exploitations qui sont diversifiées et mettent en place plusieurs types de cultures.

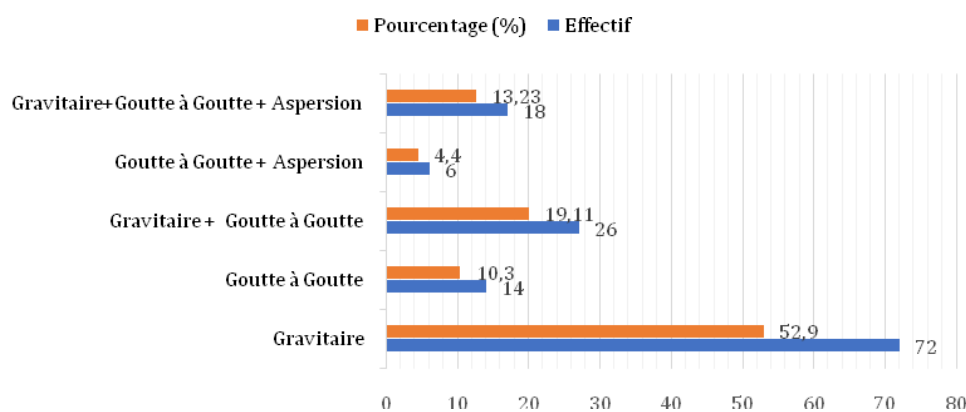


Figure 36. Répartition des techniques d'irrigation pratiquée par les exploitations enquêtées.

1.1. Répartition des superficies des exploitations enquêtées par technique d'irrigation

D'après le Tableau 40, nous constatons une proportion importante en termes de superficies qui est équipée en technique gravitaire 72 % soit une superficie de 1 187 hectares irrigués avec cette technique obsolète. La technique d'irrigation dominante sur le périmètre est donc, le gravitaire, elle concerne 85.29% des exploitations. Le reste des exploitations étaient équipées de matériel relativement moderne (aspersion en couverture mobile ou goutte à goutte).

Tableau 40. Répartition des superficies irriguées selon la technique d'irrigation et les cultures pratiquées (en ha)

Cultures	Irrigation localisée (ha)	(%)	Irrigation par aspersion	(%)	Irrigation gravitaire	(%)	Surface Totale (ha)
Agrumes	228	8,14	0	0	831	29,65	1.059
Arboriculture	104	3,71	0	0	307	10,95	411
Vigne	0	0,00	0	0	30	1,07	30
Maraîchage	12 ²¹	0,43	117	4,17	19	0,68	148
Céréales	0	0,00	0	0	0	0,00	1.154.50
Total	344	12,27	117	4,17	1.187	42,36	2.802.50

²¹ Les cultures sous serres.

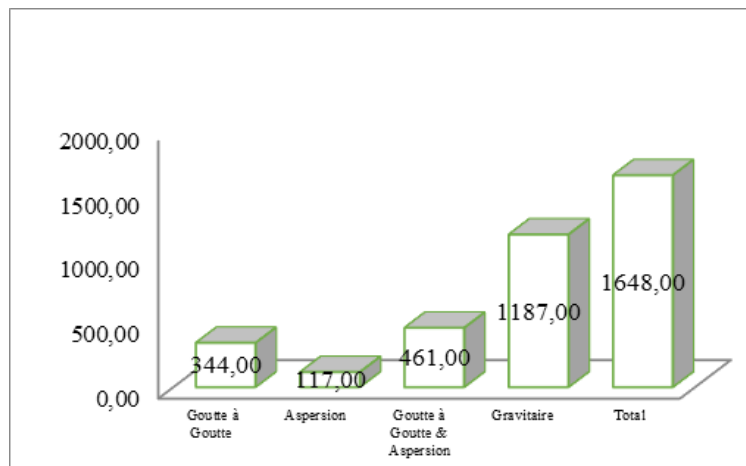


Figure 37. Répartition des superficies des exploitations enquêtées par technique d'irrigation

Le Tableau 40 et Figure 37 montre que l'irrigation gravitaire est encore largement dominante, avec 72% des superficies irriguées et 42,36% des superficies totales des exploitations enquêtées alors même que 41,20% de la superficie totale de l'échantillon irrigable est constitué de cultures en pluvial par manque d'eau et probablement pour la garantie des prix par l'État. La non-généralisation des techniques d'irrigation économes en eau peut être expliquée en partie par les systèmes de production mis en place. La technologie d'irrigation au goutte à goutte se pratique pour toutes les cultures sauf pour les céréales.

De la même manière, la technique de l'aspersion se pratique pour toutes les cultures sauf pour l'arboriculture et la vigne (Tableau 40). L'agrumiculture et l'arboriculture et ainsi que la vigne restent largement irriguées gravitairement : 29,65%, 11% et 1% pour l'agrumiculture, l'arboriculture, et la vigne respectivement. L'irrigation localisée n'est utilisée que pour les agrumes (8,14%), l'arboriculture (3,71%) et les cultures sous serres (0,43%). En revanche, l'aspersion est utilisée exclusivement pour les cultures maraichères de plein champ (4,17%).

1.2. Moyens de production des exploitations agricoles

Pour ce qui est du matériel agricole, les exploitations enquêtées sont en général peu équipées. La totalité ne possède pas de matériels agricoles puisqu'il s'agit d'exploitations de petites et moyennes tailles. En effet, l'acquisition des matériels ainsi que les intrants de production posent énormément de problèmes, d'autant plus que ces derniers se vendent à des prix souvent très élevés. En général, les exploitants de la région d'étude ont recours à la location du matériel agricole pour la préparation du sol, la fertilisation, ..., etc.

Tableau 41. Équipements et matériels des agriculteurs

<i>Équipement et Matériel agricole</i>	<i>Adoptants</i>		<i>Non adoptant</i>		<i>Échantillon total</i>	
	<i>Effectif</i>	<i>(%)</i>	<i>Effectif</i>	<i>(%)</i>	<i>Effectif</i>	<i>(%)</i>
1 Tracteur	12	18,75	4	5,41	16	11,76
2 Tracteurs	7	10,94	2	2,70	9	6,62
3 Tracteurs	4	6,25	1	1,35	5	3,68
Botteleuses	11	17,19	9	12,16	20	14,71
Pulvérisateurs	23	35,94	12	16,22	35	25,74
Charrue à disques	22	34,38	10	13,51	32	23,53
Cover-Crop	13	20,31	13	17,57	26	19,12
Moissonneuse batteuse	8	12,50	2	2,70	10	7,35

Le taux de mécanisation des agriculteurs reste globalement faible. Il est plus important chez les adoptants en comparaison avec les non adoptants. Il est plus important chez les adoptants des technologies d'irrigation plus efficaces en comparaison avec les non adoptants. Chez ses derniers, seulement sept exploitants disposent au moins d'un tracteur et deux exploitants possèdent une moissonneuse batteuse. Par contre, 18,75% et 12,50% des adoptants possèdent respectivement au moins un tracteur et une moissonneuse batteuse (Tableau 41).

2. Les facteurs empiriques de choix des technologies d'irrigation

Pour dresser le portrait général de l'ensemble des exploitations et des exploitants enquêtés, plusieurs variables ont été retenues. Ces dernières ont été sélectionnées et construites sur la base des données disponibles et collectées et ont chacune fait l'objet de traitements statistiques spécifiques permettant d'avoir une compréhension synthétique de leur distribution. Comme précédemment indiqué, l'étude porte sur le choix des technologies d'irrigation dans le périmètre de la Mitidja Ouest Tr1 et l'enquête a touché un échantillon représentatif de cent trente-six exploitations agricoles de tailles différentes. Toutes les exploitations de l'échantillon sont soumises aux mêmes conditions climatiques et topographiques.

Nous allons maintenant confronter les résultats de notre enquête réalisée sur les irrigants du périmètre de la Mitidja Ouest Tr1 avec une revue de la littérature empirique. Nous dégageons ainsi les déterminants de choix des technologies d'irrigation plus efficaces par les exploitations agricoles du périmètre. Ces facteurs explicatifs sont déclinés en trois catégories : les caractéristiques des irrigants, les caractéristiques du contexte d'adoption des irrigants et les caractéristiques des technologies d'irrigation efficaces en eau.

2.1. Facteurs socio-économiques

La première catégorie des facteurs explicatifs du choix des technologies d'irrigation économes en eau par les agriculteurs concerne les caractéristiques des irrigants et de leurs exploitations. Sept facteurs clés sont identifiés : la taille de l'exploitation, l'âge et le niveau d'éducation, la diversification, les contraintes budgétaires, le mode d'accès d'eau, ainsi que la main d'œuvre.

2.1.1. La taille de la ferme

La taille de la ferme est l'un des premiers facteurs mis en lumière dans la littérature pour comprendre les décisions individuelles d'adoption de technologies d'irrigation. En effet, nous avons retenu une classification arbitraire en trois classes, en l'occurrence les grandes exploitations qui disposent d'une superficie supérieure ou égale à 20 hectares, les exploitations de taille moyenne d'une superficie variant entre 5 et 20 hectares et les petites exploitations avec des superficies inférieures à 5 hectares.

L'objectif de cette classification était de vérifier l'hypothèse selon laquelle l'adoption de techniques économes en eau est corrélée à la taille des exploitations. Ainsi, notre échantillon (Tableau 42) est composé de 9,56% de petites exploitations, 47,06% de moyens et 43,38% de grandes exploitations. La dominance des exploitations de taille moyenne dans l'échantillon reflète l'importance de cette catégorie d'agriculteurs dans le périmètre. Elles n'exploitent cependant, que 28,59% de la SAU de l'ensemble de la population enquêtée. La catégorie des exploitations de grande taille représentée par 43,38% des enquêtés, exploite environ 43% de la SAU totale des enquêtés et, enfin, les petites exploitations exploitent 1,65% de la surface agricole utile totale.

Tableau 42. Classification des exploitations selon leur taille

Taille de la SAU (ha)	Adoptants				Non Adoptants				Échantillon Total			
	SAU (ha)	(%)	Eff.	(%)	SAU (ha)	(%)	Eff.	(%)	SAU (ha)	(%)	Eff..	(%)
]0- 5]	32,5	2,6	9	14,06	13,85	0,89	4	5,56	46,35	1,65	13	9,56
]5- 20]	359,42	28,74	30	46,88	442	28,47	34	47,23	801,42	28,59	64	47,06
>20	858,5	68,67	25	39,06	1.096,15	70,63	34	47,22	1.954,65	69,75	59	43,38
SAU Moy.	19,54				21,56							
Total	1.250,42	100	64	100	1.552	100	72	100	2.802,42	100	136	

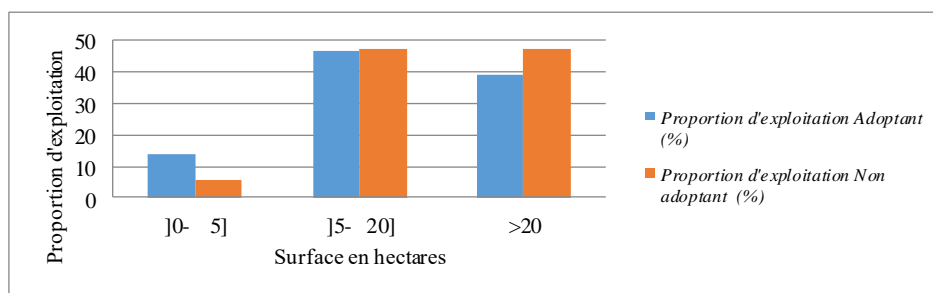


Figure 38. L'adoption des technologies d'irrigation selon la surface

Cependant, la taille de l'exploitation peut avoir des effets différents sur le taux d'adoption. Ces effets sont fonction des caractéristiques des technologies et du cadre institutionnel. Plus concrètement, le lien entre la taille de l'exploitation et le taux d'adoption dépend des coûts fixes de l'adoption, des préférences en matière de risque, des connaissances, des contraintes budgétaires, du temps de travail nécessaire, ... etc.

L'effet de la taille de l'exploitation sur le taux d'adoption semble donc ambigu et devrait dépendre d'autres facteurs, tels que le nombre total d'actifs sur l'exploitation, définissant ainsi un facteur d'économie de travail réalisable par l'adoption d'une nouvelle technologie. La Figure 38 montre que dans le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1 plus la surface augmente par rapport à la catégorie des exploitations de petite taille, plus les irrigants adoptent une technologie d'irrigation plus efficiente (Aspersion et/ou goutte-à-goutte).

L'échantillon ne nous a pas permis de vérifier cette hypothèse, car tous les agriculteurs quasiment pratiquent le gravitaire. Des entretiens que nous avons eus avec les agriculteurs sur le terrain, il ressort des données du Tableau 42 et de la Figure 38 qu'il n'existe pas de seuil de superficie pour adopter ces technologies.

Le taux de l'adoption en termes de superficies équipées par des technologies d'irrigation varie considérablement d'une exploitation à une autre et ceci est en étroite liaison avec la SAU ; dans les exploitations de grande taille, il sera évident d'enregistrer des taux d'adoption relativement faibles de l'ordre de 24.08 % par rapport aux petites et moyennes exploitations qui représentent un taux moyen d'équipement de l'ordre de 55.45 et 28.84% respectivement (Tableau 43). Toutefois, ce taux a atteint 100% dans certaines exploitations pour notre échantillon, le taux d'équipement moyen enregistré dans l'échantillon étant de 29%.

Ce taux d'adoption est dû essentiellement ; (i) à l'état du matériel de pompage qui ne permet pas d'atteindre la pression adéquate pour le bon fonctionnement des goutteurs et asperseurs ; (ii) à la pénurie en eau (et au rabattement excessif de la nappe), qui laisse les agriculteurs sur leurs gardes quant à la superficie irriguée ainsi que (iii) le coût moyen d'équipement d'un

hectare en système économe qui reste élevé. Le niveau élevé de ce coût explique le sous équipement en matériel d'irrigation (acquisition rare de toutes les composantes techniques, et faible qualité du matériel acquit). Ce sous équipement induit une faible efficacité du matériel d'irrigation.

Tableau 43. Taux de l'adoption des technologies d'irrigation par les exploitations enquêtées

Taille de la SAU (ha)	Taux d'adoption moyen (%)
]0- 5]	55.45
]5- 20]	28.84
>20	24.08

L'effet de la taille sur le comportement d'adoption des technologies d'irrigation

Les tableaux suivants présentent les résultats des différents tests statistiques du croisement de la variable taille de l'exploitation agricole et l'adoption des TIEE. Il apparaît clairement que la taille n'affecte pas la décision d'adoption des TIEE en raison de la valeur élevée de p-value ($p = 0.214$).

Tableau 44. Relation entre l'application des technologies et la taille de l'exploitation agricole, (résidus standardisés ajustés, $N = 136$; $p = 0, 214$)

		Taille de l'exploitation en hectares			Total
		5 hectares ≤	5-20 hectares	20 hectares >	
Adoption	Oui	1.7	0.0	-1,0	64
	Non	-1.7	0.0	1.0	72
Total	Effectif	13	64	59	136

Tableau 45. Tests du khi-deux entre l'adoption de TIEE et la taille de l'exploitation

	Valeur	ddl	Sig. approx. (bilatérale)
khi-deux de Pearson	3,086 ^a	2	0,214
Rapport de vraisemblance	3,131	2	0,209
Association linéaire par linéaire	2,251	1	0,134
N d'observations valides	136		

a. 0 cellules (0,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5.
L'effectif théorique minimum est de 6,12.

Tableau 46. Tests de normalité entre l'adoption de TIEE et la taille de l'exploitation

ADOPT	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.	Statistiques	ddl	Sig.
0	0,083	72	0,200*	0,934	72	0,001
1	0,147	64	0,002	0,833	64	0,000

*. Il s'agit de la borne inférieure de la vraie signification. a. Correction de signification de Lilliefors

Tableau 47. Statistiques descriptives de la taille de l'exploitation

	N	Moyenne	E-T	Min.	Max.	Percentiles		
						25e	50e	75e
Taille	136	20,518	14,215	2,00	85,00	10,000	18,000	27,875
Wst_adopt	136	0,470	0,500	0,00	1,00	0,000	0,000	1,000

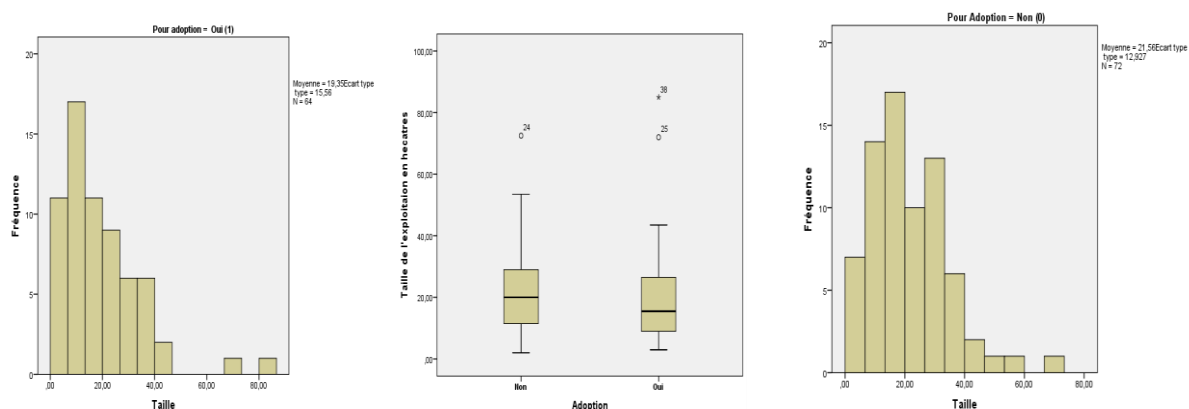


Figure 39. Histogrammes de l'adoption de TIEE et la taille de l'exploitation

Tableau 48. Tests non paramétriques pour l'adoption de TIEE et la taille de l'exploitation

Tests statistiques ^a	Taille
U de Mann-Whitney	1941,500
W de Wilcoxon	4021,500
Z	-1,581
Sig. asymptotique (bilatérale)	,114

Nous nous sommes alors penchés sur le profil des agriculteurs enquêtés, un aspect aussi important de notre étude.

2.1.2. L'âge de l'exploitant

Dans les exploitations agricoles de la Mitidja Ouest Tranche I, l'âge des agriculteurs est très variable. Le plus jeune des irrigants a 39 ans et le plus âgé a 78 ans ; cependant le calcul de l'âge moyen donne un âge de 62,32 ans, mais cette moyenne présente une variabilité importante, l'écart type de la variable âge est de 10,09 ans.

L'analyse de la répartition de l'ensemble des irrigants des exploitations enquêtées par groupe d'âge donne d'une manière générale une population relativement âgée comme le montrent le Tableau 49 et Figure 40. En effet, 86,80% ont plus de 50 ans dont 58,10% ont plus de 60 ans. Les exploitants jeunes ayant entre 39 et 50 ans ne représentent que 13,80%. On note cependant, l'absence des agriculteurs dans les classes de moins de 30 ans, de 30 à 39 ans. L'âge moyen des adoptants et non adoptants est de 55 et 69 ans respectivement.

Tableau 49. La répartition des exploitants enquêtés par classe d'âge

L'âge	Adoptants		Non adoptant		Échantillon total	
	Effectif	(%)	Effectif	(%)	Effectif	(%)
≤ 50	18.00	28.12	0.00	0.00	18	13.20
]50-55]	17.00	26.56	2.00	2.70	19	14.00
]55-60]	17.00	26.56	3.00	4.05	20	14.70
]60-65]	7.00	10.93	22.00	29.72	29	21.30
≥ 65	5.00	7.81	45.00	60.81	50	36.80
Total	64	100.00	72	100.00	136	100.00
Valeur moyenne	54.968		68.861		62.323	

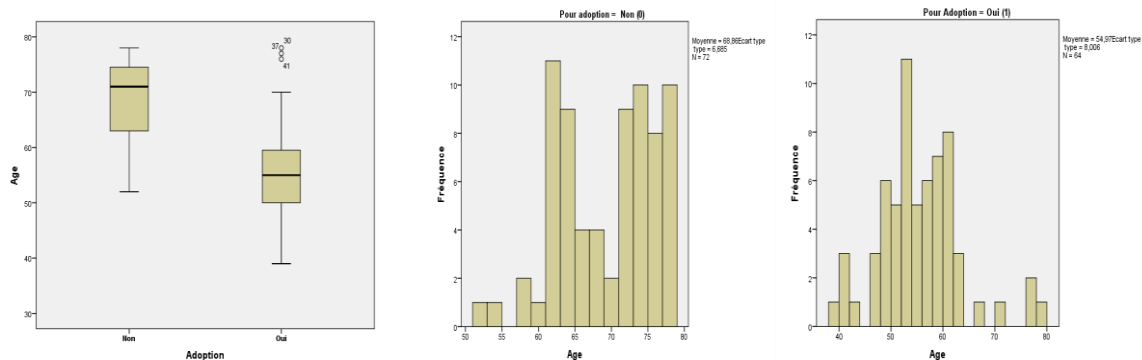


Figure 40. Comparaison de moyennes de l'âge selon l'adoption des technologies d'irrigation

Le Tableau 49 fait ressortir que la tranche dominante est celle des plus de 65 ans, qui ont acquis un savoir-faire suite à une longue expérience, avec 36.80% des agriculteurs dans les exploitations enquêtées. Elle est suivie de la tranche 60 à 65 ans avec 21.30%. Quant à la tranche des agriculteurs relativement moins âgés, représentés par le groupe d'âges de 55 à 60 ans, elle représente 14.7%. La présence des jeunes agriculteurs est faible avec un taux de 13.20% pour la tranche des moins de 50 ans ; quant aux agriculteurs âgés, du groupe de 50 à 55 ans, elle représente 14%.

L'effet de l'âge sur l'adoption des technologies d'irrigation

Le test de Mann-Whitney (avec un seul critère de classification (absence/présence des technologies d'irrigation économes en eau) effectué sur la moyenne des âges des deux catégories s'est révélé hautement significatif ; ce qui signifierait que l'âge est un facteur discriminant en matière d'adoption ou non des technologies d'irrigation économes en eau.

Tableau 50. Tests de normalité entre l'adoption de TIEE et l'âge de l'exploitant

Adoption	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.	Statistiques	ddl	Sig.
Non Adoption	0,139	72	0,001	0,937	72	0,001
Adoption	0,101	64	0,176	0,950	64	0,012

a. Correction de signification de Lilliefors

Tableau 51. Statistiques descriptives sur l'âge de l'exploitant

	N	Moy.	E-T	Min.	Max.	Percentiles		
						25e	50e	75e
<i>Age</i>	136	62,32	10,092	39	78	55,00	62,00	71,00
<i>Adopt.</i>	136	,4706	,50098	,00	1,00	,0000	,0000	1,0000

Tableau 52. Tests non paramétriques pour l'adoption de TIEE et l'âge de l'exploitant

	Age
U de Mann-Whitney	405,500
W de Wilcoxon	2485,500
Z	-8,284
Sig. asymptotique (bilatérale)	,000

2.1.3. Le niveau d'instruction des exploitants

L'agriculture algérienne demeure une activité des populations non ou peu instruites : 65% des chefs d'exploitation sont sans instruction, 83% d'entre eux ayant plus de 60 ans ; 29% des exploitants ont un niveau d'instruction primaire ou moyen. Ceux qui ont le niveau secondaire constituent 5% du total. Le niveau supérieur ne représente que 1% (R.G.A, 2001).

Certes, l'âge est un indicateur important grâce à l'expérience et au savoir-faire acquis dans la pratique des cultures irriguées. Néanmoins, le niveau d'instruction et de formation agricole demeure un indicateur aussi important dans l'analyse socioéconomique des unités de production puisqu'il influe sur les résultats et les rendements de la production. D'une manière générale, la répartition des agriculteurs des 136 exploitants enquêtés par niveau d'instruction souligne que le niveau d'instruction des agriculteurs est très faible, caractérisé par la prédominance des analphabètes comme le montrent le Tableau 53 et la Figure 41 qui suivent.

Tableau 53. Répartition des agriculteurs enquêtés selon le niveau d'instruction

<i>Education</i>	<i>Fréquence</i>	<i>Pourcentage (%)</i>	<i>Pourcentage cumulé (%)</i>
Analphabète	74	54.41	54.41
Primaire	37	27.21	81.62
Collège(Moyen)	11	8.09	89.71
Secondaire	8	5.88	95.59
Supérieur	6	4.41	100.00
Total	136	100.00	

L'influence du niveau d'éducation sur l'adoption de nouvelles techniques reste une hypothèse. Le niveau élevé d'analphabétisme dans l'échantillon (54.41% ne sont jamais allés à l'école) n'a pas pu être associé à la pratique de techniques modernes d'irrigation. Tout au plus peut-on supposer que les agriculteurs analphabètes sont défavorisés dans l'accès à

l'information, non seulement sur les techniques mais aussi sur les opportunités d'y accéder (procédures de financement).

En effet, comme il peut être lu à travers ces statistiques, les résultats de l'enquête exprimés dans le tableau ci-dessus donnent une population majoritairement analphabète avec un fort taux des sans instruction soit, 54.41% suivie par la tranche des agriculteurs de niveau primaire et moyen avec respectivement 27.21% et 8.09%. A l'autre extrémité, les agriculteurs de niveau supérieur ne représentent qu'un faible taux, soit 4.41% et 5.88% pour le niveau secondaire.

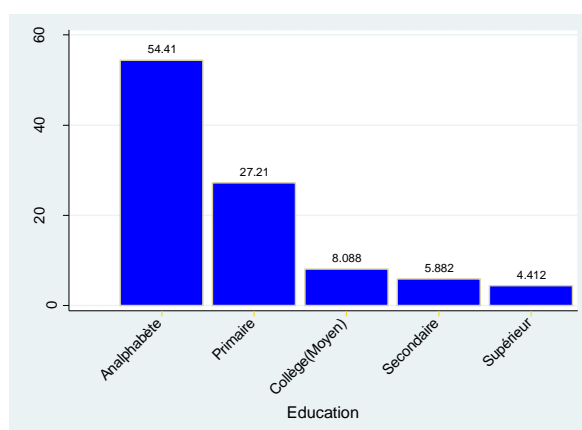


Figure 41. Répartition des agriculteurs des exploitations enquêtées par niveau d'instruction

Tableau 54. Répartition des exploitants enquêtés par niveau d'instruction et adoption TIEE

Education	Adoptants		Non adoptant		Echantillon total	
	<i>Effectif</i>	<i>(%)</i>	<i>Effectif</i>	<i>(%)</i>	<i>Effectif</i>	<i>(%)</i>
Analphabète	2	3.13	72	97.30	74	54.41
Primaire	37	57.81	0.00	0.00	37	27.21
Collège	11	17.19	0.00	0.00	11	8.09
Secondaire	8	12.50	0.00	0.00	8	5.88
Supérieur	6	9.38	0.00	0.00	6	4.41
Total	64	100.00	72	100.00	136	100.00
Test de χ^2	<i>Significatif</i>					

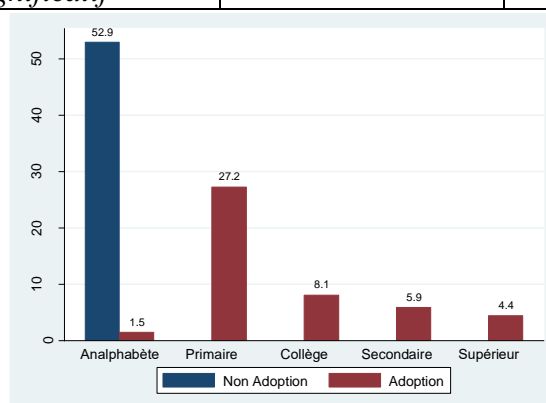


Figure 42. Répartition des agriculteurs des exploitations enquêtées et l'adoption des TIEE

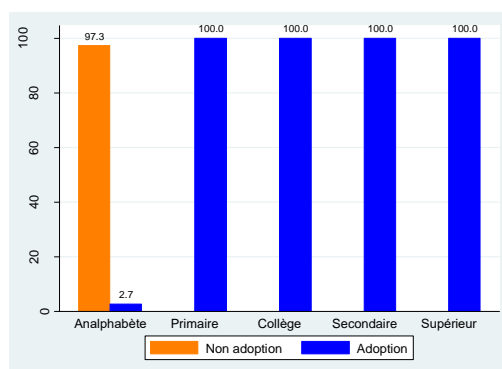


Figure 43. L'adoption intra-classe des TIEE par classe de niveau d'instruction

L'effet du niveau de l'éducation sur l'adoption des TIEE

Les résultats contenus dans le Tableau 55 révèlent un degré de signification du test χ^2 de Pearson (0.000) largement inférieur au seuil de signification du test (0.05). Les deux variables varient dépendamment l'une de l'autre. Dans ce cas, la connaissance de la valeur prise par l'une des deux variables sur un exploitant agricole apporte une information sur la valeur prise par l'autre variable sur cet exploitant.

Tableau 55. Tests du khi-deux entre l'adoption et le niveau d'éducation de l'exploitant

	Valeur	ddl	Sig. approx. (bilatérale)
khi-deux de Pearson	128,189 ^a	4	0,000
Rapport de vraisemblance	169,676	4	0,000
Association linéaire par linéaire	77,574	1	0,000
N d'observations valides	136		

a. 4 cellules (40,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de 2,82.

Nous pouvons donc, affirmer que les niveaux d'adoption respective des technologies d'irrigation par des chefs d'exploitation analphabètes, de niveau primaire, de niveau collégial, de niveau secondaire, et de niveau universitaire, sont significativement différents les uns des autres. Par conséquent, l'éducation du chef d'exploitation a une influence significative sur l'adoption des technologies d'irrigation économes en eau.

Tableau 56. Résidus standardisés ajustés entre l'adoption des TIEE et le niveau d'éducation

	Niveau d'éducation de l'exploitant agricole					Total
	Sans scolarisation	Primaire	Moyen	Secondaire	Universitaire	
Oui	-11,3	7,6	3,7	3,1	2,7	64
Non	11,3	-7,6	-3,7	-3,1	-2,7	72
Effectif	74	37	11	8	6	136

Résidus Standardisés Ajustés, N = 136 ; p = 0,000

Il apparaît que le niveau d'instruction influe sur l'adoption de l'irrigation localisée et asper-sion ainsi que le tableau ci-dessous montre que le niveau d'instruction peut avoir une in-

fluence positive sur le comportement des agriculteurs quant à l'adoption de TIEE. Il apparaît que ceux qui ont un niveau et moyen secondaire et supérieur ont une probabilité d'adoption de TIEE est de plus élevées que ceux de niveau primaire et analphabète. Le niveau d'instruction est un facteur qui plaide en faveur de l'adoption de l'irrigation plus efficiente, car la Tableau 57 montre une tendance ascendante de nombre d'adoptants avec l'accroissement du niveau d'instruction des enquêtés.

Tableau 57. Le degré d'association et la corrélation entre l'adoption des TIEE et l'éducation

Mesures symétriques	Valeur	Erreur standard asymptotique ^a	T ^b	Signification
Phi	0,971			0,000
V de Cramer	0,971			0,000
Tau-b de Kendall	0,870	0,023	40,617	0,000
Tau-c de Kendall	0,965	0,024	40,617	0,000
Corrélation de Spearman	0,926	0,021	28,400	0,000 ^c
R de Pearson	0,758	0,024	13,454	0,000 ^c
N d'observations valides	136			

a. L'hypothèse nulle n'étant pas considérée.

b. Utilisation de l'erreur asymptotique standard en envisageant l'hypothèse nulle.

c. Basé sur une approximation normale.

Tableau 58. Statistiques descriptives de niveau d'éducation de l'exploitant

	N	Moy.	E-T	Min.	Max.	Percentiles		
						25e	50e	75e
Educs	136	,79	1,105	0	4	,00	,00	1,00
Adopt_TIEE	136	,4706	,50098	,00	1,00	,0000	,0000	1,0000

Tableau 59. Tests non paramétriques Mann-Whitney entre l'adoption des TIEE et l'éducation

	Educs
U de Mann-Whitney	72,000
W de Wilcoxon	2700,000
Z	-10,760
Sig. asymptotique (bilatérale)	,000

2.1.4. Diversification dans l'exploitation

Les résultats des tests statistiques de khi deux montrent qu'il n'y a pas une association entre le niveau de diversification et l'adoption des TIEE en raison de la p value 0.6 qui dépasse largement le seuil de 0.05 (Tableau 62). Par ailleurs, le test de Mann-Whitney (Tableau 66) montre clairement que le niveau de diversification n'est pas un facteur discriminant entre les deux groupes, adoptants et non adoptant.

Tableau 60. Résultats du croisement entre l'adoption de TIEE et la diversification au sein de l'exploitation (ADOPT*Divers)

	Niveau de diversification		Total
	$IHH \leq 0,05$	$0,05 < Ratio \leq 1$	
Non	56	16	72
Oui	52	12	64
Total	108	28	136

Tableau 61. Résidus standardisés entre l'adoption de TIEE et la diversification

	Les niveaux de diversification IHH		Total
	$IHH \leq 0,05$	$0,05 < IHH \leq 1$	
Oui	-0.5	0.5	64
Non	0.5	-0.5	72
Effectif	108	28	136

Résidus standardisés ajustés, N = 136 ; p = 0,617

Tableau 62. Tests du khi-deux entre l'adoption de TIEE et la diversification

	Valeur	ddl	Sig. (bilatérale)	Sig. exacte (bilatérale)	Sig. exacte (unilatérale)
khi-deux de Pearson	0,250 ^a	1	0,617		
Correction pour continuité ^b	0,083	1	0,774		
Rapport de vraisemblance	0,251	1	0,617		
Test exact de Fisher				0,675	0,388
Association linéaire par linéaire	0,248	1	0,618		
N d'observations valides	136				

a. 0 cellules (0,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de 13,18.

b. Calculée uniquement pour une table 2x2

Tableau 63. Force d'association et la corrélation entre l'adoption de TIEE et la diversification

Mesures symétriques	Valeur	Erreur standard asymptotique ^a	T ^b	Signification
Phi	-,043			,617
V de Cramer	,043			,617
Tau-b de Kendall	-,043	,085	-,502	,616
Tau-c de Kendall	-,035	,069	-,502	,616
N d'observations valides	136			

a. L'hypothèse nulle n'étant pas considérée.

b. Utilisation de l'erreur asymptotique standard en envisageant l'hypothèse nulle.

Tableau 64 : Tests de normalité entre l'adoption de TIEE et la diversification

Adoption	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.	Statistiques	ddl	Sig.
Non Adoption	,259	72	,000	,548	72	,000
Adoption	,327	64	,000	,414	64	,000

a. Correction de signification de Lilliefors

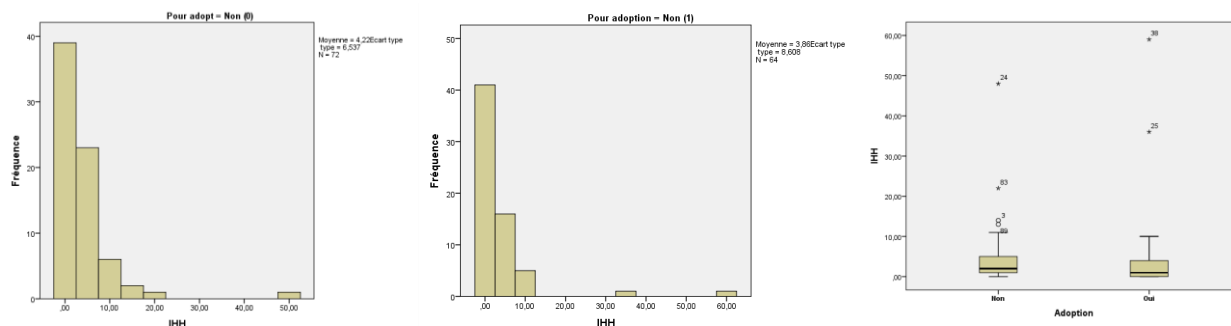


Figure 44. Histogrammes de l'adoption de TIEE et la diversification

Tableau 65. Statistiques descriptives de la variable de diversification

	N	Moy.	E-T	Min.	Max.	Percentiles		
						25e	50e	75e
IHH	136	4,0515	7,55554	,00	59,00	1,0000	2,0000	5,0000
Wst_adopt	136	,4706	,50098	,00	1,00	,0000	,0000	1,0000

Tableau 66. Test non paramétrique de Mann-Whitney entre l'adoption de TIEE et la diversification

	IHH
U de Mann-Whitney	1909,000
W de Wilcoxon	3989,000
Z	-1,746
Sig. asymptotique (bilatérale)	,081

2.1.5. Les contraintes budgétaires : Le coût des équipements d'irrigation

S'il est un facteur à prendre en considération dans l'adoption de systèmes d'irrigation, c'est le coût fixe qui peut représenter un investissement coûteux pour certains producteurs. Pour le vérifier, nous avons procédé à l'évaluation technico-économique d'un réseau d'irrigation en goutte à goutte et aspersion. Pour l'estimation du projet de reconversion de l'irrigation gravitaire à l'irrigation localisée, nous n'avons pas inclus le coût des bassins d'accumulation, sachant que pour chaque tranche de 5 ha, il est construit un bassin de 100 m³ qui coûte environ 500.000 DA. Selon les services de l'O.N.I.D., le coût de l'installation de goutte à goutte dépend de la qualité du matériel et aussi de l'assolement à irriguer (l'arboriculture ou maraîchage) ; le prix à l'hectare varie de 180.000 DA à 250.000 DA pour l'arboriculture fruitière. Pour mettre en place un réseau d'irrigation localisée (goutte à goutte), il est donné ci-après le coût d'investissement, avec station de tête et réseau de conduites à goutteurs incorporés pour une parcelle d'agrumes d'un hectare avec une densité de plantation d'environ 1.000 arbres par hectare sans la construction du bassin d'accumulation ni la station de pompage ; un bassin d'accumulation de 100 m³ revient à plus de 550.000 DA. Selon les prix pratiqués sur le marché, le coût d'investissement est évalué à 952.300DA par hectare (Tableau 67).

Tableau 67. Estimation de l'équipement en micro-irrigation d'un hectare en arboriculture

Équipement	Quantité par (ha)	Prix unitaire en (DA)	Prix global en DA
Conduites à goutteurs incorporés (ml)	4000	50	200.000
Raccords (divers)	220	100	22.000
Conduite (P), ø 70mm, en m	100	210	21.000
Manomètres	2	1200	2.400
Compteur	1	2800	2.800
Vanne ø 70	1	2600	2.600
Groupe motopompe	1	150.000	150.000
Station de filtration	1	270.000	270.000
Pompe doseuse (30 m ³ /h)	1	160.000	160.000
Bacs à engrais (50 l)	3	5.500	16.500
Installation / ha	1	105.000	105.000
Total			952.300

Le coût de réalisation d'un forage varie de 1.800.000 à 2.000.000 DA avec une durée vie de 30 ans. Le coût d'achat d'un moteur varie selon le nombre de cylindres ; le prix du moteur à 6 cylindres est de 750.000 DA avec une durée de vie de 10 ans. Le prix du moteur à 4 cylindres est de 550.000 DA avec une durée de vie de 10 ans. Le prix d'achat d'une motopompe varie de 90.000 à 150.000 DA selon la marque.

Tableau 68. Estimation de l'équipement en micro-irrigation pour un hectare de serre

Équipement	Quantité par serre	Prix unitaire en (DA)	Prix global en DA (serre)	Prix global en DA (ha)
Goutteurs (2 l/h)	8.000	25	25.000	625.000
Rampe ø 13 mm, en m	400	20	8.000	200.000
Conduite ø 17 mm, en m	8	30	240	6.000
Conduite (p), ø 21 mm, en m	4	30	120	3.000
Bouchons	8	12	96	2.400
Départ de rampes	8	16	128	3.200
Jonction 17/21	1	15	15	375
Jonction 21/70 mm	1	15	15	375
Vanne 21	1	800	800	20.000
Manomètre	1	1.000	1.000	25.000
Conduite (P), ø 70mm, en m	60	210		12.600
Manomètres	2	1.200		2.400
Compteur	1	2.800		2.800
Vanne ø 70	1	2.600		2.600
Groupe motopompe	1	150.000		150.000
Station de filtration	1	270.000		270.000
Pompe doseuse (30 m ³ /h)	1	160.000		160.000
Bacs à engrais (50 l)	3	5.500		16.500
Total				1.502.250

En fait, l'investissement en technologie d'irrigation au goutte à goutte dépend du choix des organes de distribution, du type de filtration nécessaire et du dispositif choisi pour l'implantation du porte-rampes et des rampes. Pour une même parcelle, ce coût peut varier de 20 à 30% de l'investissement. La station de filtration est un poste onéreux qui doit s'amortir sur au moins 3 à 4 ha. La durée de vie des équipements peut aller d'une campagne d'irrigation (gaine souple « jetable ») à 10 ou 15 ans.

En ce qui concerne la rentabilité d'un investissement en technologie d'irrigation au goutte à goutte, Sivanappan *et al.* (1987) ont montré que la valeur actualisée du rapport Bénéfice/Coût et le taux de rentabilité (TR) sur l'investissement en irrigation goutte à goutte sont nettement plus élevés dans des vergers déjà installés que dans des nouveaux vergers. La perception du rapport Profit/Coût de l'investissement en irrigation localisée sur un verger nouvellement établi n'est pas aussi prometteuse que sur un verger déjà en place, puisque le gain réalisé par l'investissement en irrigation localisée s'accroît pratiquement avec aucun délai quand le verger est déjà en production. Pour équiper un hectare en matériel mobile d'irrigation par aspersion, l'investissement est le suivant (Tableau 69) :

Tableau 69. Coût de l'investissement du matériel d'irrigation par aspersion à l'hectare

Désignation	Caractéristiques	Nbre/ha	Prix Unitaire (DA)	Total (DA)
Asperseurs (y compris la semelle d'aspersion avec crochets \varnothing 72 mm)	Superficie moyenne allouée à 1 asperseur (m ²) : 144 Pression nominale de service : 2 à 4 bars Espacement des asperseurs : 12 m	72	2.500,00	180.000,00
Canne de l'asperseur	\varnothing 1'' (32 mm) longueur 70 cm	72	1.400,00	100.800,00
La rampe secondaire (mm)	72	144	3.500,00	504.000,00
La rampe principale (mm)	108	12	6.000,00	72.000,00
Divers (Raccords, bouchons)	Coude avec crochets et anneau métallique (\varnothing 72 mm)	3	3.000,00	36.000,00
	TE de connection avec crochets et anneau métallique (\varnothing 72 mm)	3		
	Bouchon mâle de fin de ligne avec crochets (\varnothing 72 mm)	3		
	Vanne de ligne avec crochets et anneau métallique (\varnothing 72 mm)	3		
Investissement total à l'hectare en couverture intégrale	892.800,00			
Investissement total à l'hectare en couverture mobile	297.600			

Dans le cas d'un nouveau verger, les gains que procure l'investissement en goutte à goutte sont en relation avec la période de retour de l'investissement global, c'est-à-dire lorsque les plantations entrent en production. Par ailleurs, et selon la Banque Mondiale (2007, cité par Akli, 2015), l'irrigation localisée est coûteuse et n'est pas économiquement efficace si elle est mise en œuvre de manière isolée (c'est-à-dire si chaque agriculteur doit construire un bassin de stockage et acheter et faire fonctionner une pompe ce qui entraîne la perte de terres productives et des pertes par évaporation).

L'hectare en couverture intégrale est équipé comme suit : 1) Les rampes secondaires sont des tubes en alliage léger d'aluminium galvanisé (un tube de longueur de 6 m et diamètre 72 à 80 mm) ; 2) Le nombre d'asperseurs par hectare : la superficie moyenne allouée à 1 asperseur est de l'ordre de 144 m², soit l'équivalent d'un nombre d'asperseurs par ha de 69 à 72 ; 3) Les semelles et les cannes des asperseurs sont en nombre de 72 pour chacun d'entre eux ; 4) La rampe principale est aussi en tubes alliage léger d'aluminium galvanisé de diamètre 108 mm ; 5) Les raccords, bouchons, coudes et autres accessoires sont estimés à 5 à 10% de l'investissement total à l'hectare.

Les coûts d'acquisition et d'installation des technologies d'irrigation plus efficaces peuvent constituer des obstacles à son adoption. Dans la présente recherche, ces deux types de coûts ont été appréhendés par une seule variable reflétant un obstacle à l'adoption des technologies plus efficaces. Ainsi, les coûts d'acquisition et d'installation ont été mesurés par une variable binaire qui prend la valeur 1 si le répondant a déclaré que l'adoption de technologies plus efficaces a été sérieusement retardée ou si l'extension des superficies équipées a été rendue impossible à cause des coûts élevés des technologies, et prend la valeur 0 autrement.

Tableau 70. La répartition des exploitants enquêtés par le coût adoption des TIEE

Coût d'investissement	Adoptants		Non adoptant		Échantillon total	
	Effectif	(%)	Effectif	(%)	Effectif	(%)
Coût élevé de l'investissement	16,00	25,00	50,00	69,44	66,00	48,53
Autres	48,00	75,00	22,00	30,56	70,00	51,47
Total	64,00	100,00	72,00	100,00	136,00	100,00

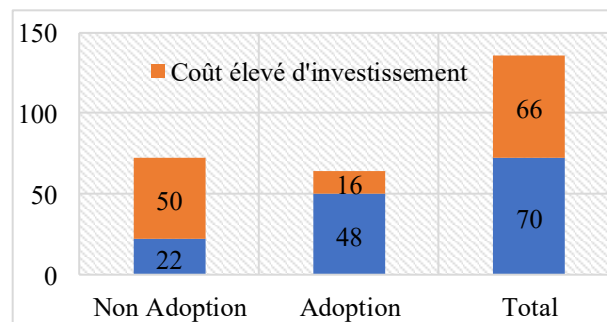


Figure 45. L'appréciation des coûts d'investissement par les exploitants enquêtés

L'effet du coût de l'investissement sur l'adoption des TIEE

Selon les résultats contenus dans les tableaux 71 et 72, nous observons un degré de signification du test de 0,000 qui est largement inférieur au seuil de signification 0,05. On peut donc conclure que la contrainte du coût d'achat et d'installation des technologies d'irrigation plus efficaces a un impact significatif sur leur adoption. Ce résultat peut être justifié par le fait que l'introduction des technologies d'irrigation plus efficaces en particulier l'irrigation localisée est une option coûteuse pour les irrigants et sa valorisation exige une intensification des cultures existantes voire l'introduction de cultures à plus forte valeur ajoutée. Cette reconversion est risquée à double titre sur le plan technique, car il faut maîtriser de nouvelles pratiques d'irrigation voire la conduite de nouvelles cultures et sur le plan financier, car la reconversion exige un investissement important. Enfin, la reconversion amène souvent les agriculteurs à s'insérer dans des marchés moins sécurisés (maraîchage, fruits, ...).

Tableau 71. Tests du khi-deux Pearson entre adoption des TIEE et coût de l'investissement

	Valeur	Ddl	Sig. (bilatérale)	Sig. exacte (bilatérale)	Sig. exacte (unilatérale)
khi-deux de Pearson	15,884 ^a	1	0.000		
Correction pour continuité ^b	14,543	1	0.000		
Rapport de vraisemblance	16,239	1	0.000		
Test exact de Fisher				0.000	0.000
Association linéaire par linéaire	15,767	1	0.000		
N d'observations valides	136				

a. 0 cellules (0,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de 13,18. b. Calculée uniquement pour une table 2x2

On observe dans le Tableau 71, un degré de signification du test (0.000) inférieur au seuil de signification (0.05). On peut donc conclure que l'hypothèse selon laquelle l'appréciation du coût de l'investissement des exploitants agricoles qui sont adoptants n'est pas la même que celle des exploitants qui ne le sont pas (non adoptants) est vérifiée. Par conséquent, l'appréciation du coût élevé des investissements par les exploitants agricoles a un impact significatif sur l'adoption en ce qui concerne les technologies d'irrigation économes en eau

dans les exploitations agricoles de la Mitidja. Ce résultat permet d'affirmer que le fait qu'un exploitant agricole considère que les TIEE comme exorbitantes en matière d'investissement réduit la probabilité d'adoption relative aux TIEE. Les mesures d'associations (Phi et V de Cramer) nous indiquent la force de la relation entre l'appréciation du coût de l'investissement des exploitants et leur réponse à l'adoption des TIEE.

Le tableau 72 montre que le coût de l'investissement peut avoir une influence négative sur le comportement des agriculteurs quant à l'adoption de TIEE. Le coût de l'investissement peut retarder l'adoption de TIEE, en particulier les systèmes d'irrigation au goutte-à-goutte nécessitent des investissements lourds et des équipements hydrauliques spécifiques (bassin, station tête, pompe, réseau goutte à goutte). Ils tendent à devenir plus chers dans leur première phase d'investissement que les systèmes d'irrigation superficielle.

Tableau 72. La corrélation entre le coût de l'investissement et l'adoption des TIEE

<i>Mesures symétriques</i>	<i>Valeur</i>	<i>Erreur standard asymptotique^a</i>	<i>T^b</i>	<i>Signification</i>
Phi	-,342			,000
V de Cramer	,342			,000
Coefficient de contingence	,323			,000
R de Pearson	-,342	,080	-4,210	,000 ^c
Corrélation de Spearman	-,342	,080	-4,210	,000 ^c
N d'observations valides	136			

a. L'hypothèse nulle n'étant pas considérée.

b. Utilisation de l'erreur asymptotique standard en envisageant l'hypothèse nulle.

c. Basé sur une approximation normale.

2.1.6. Mode d'accès à l'eau

Dans le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1, 12.5% des exploitants enquêtés ont révélé qu'ils n'ont pas d'accès à la nappe alors que 93% exploitent les eaux souterraines en plus du réseau collectif d'irrigation. De plus, 87.5% de ces derniers ont creusé des forages (Tableau 73 et Tableau 74). La réalisation et l'électrification de nouveaux forages nécessitent une permission de la part des autorités locales, mais son obtention est devenue plus facile dans la situation actuelle de pénurie d'eau. L'interdiction des forages est contournée par les exploitants sur le terrain, il n'y a aucun contrôle de ces forages de la part des autorités locales.

Tableau 73. Nombre de forages recensés

<i>Forages</i>	<i>Effectif</i>	<i>Pourcentage(%)</i>	<i>Nombre de forages</i>	<i>(%)</i>
Aucun forage	17	12,5	0	0
Un forage	87	64,0	87	55.42
Deux forages	26	19,1	52	33.12
Trois forages	6	4,4	18	11.46
Total	136	100,0	157	100

Les forages, au nombre de 157 sur lesquels comptent 87.5% des exploitations enquêtées se caractérisent par leurs différents niveaux hydrostatiques et profondeurs ainsi que leurs débits.

Tableau 74. Caractéristiques physiques des forages utilisés par les exploitants enquêtés dans l'irrigation de leurs cultures.

Forages	N	Min.	Max.	Moyenne	Ecart type
Profondeur du forage	157	60,00	150,00	90,84	19,75
Niveau de l'eau	157	20,00	95,00	48,89	14,73

Les stations de pompage des exploitations enquêtées sont tous des forages dont le débit varie de 8 à 18 l/s et la profondeur varie de 60 à 150 m. Le diamètre des forages varie entre 9 et 10 cm. La profondeur moyenne des forages la plus élevée est de 150 m et c'est aussi à cette profondeur que le niveau de l'eau est le plus profond (95 m). La majeure partie des besoins en eau d'irrigation est apportée par la nappe de la Mitidja qui se trouve à une profondeur moyenne de près de 49 m.

Tableau 75. Les superficies irriguées par source d'irrigation dans les exploitations enquêtées

Source d'irrigation	Forages	(%)	Surface (ha)	(%)	Total
Surface irriguée (ha)	1.341	81,37	307,00	18,63	1.648,00

L'appréhension du phénomène de l'utilisation de l'eau souterraine est difficilement quantifiable à cause de sa distribution diffuse dans le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1 et sa gestion privée. Il faut connaître trois variables : le nombre de forages par exploitation, le débit de ces forages (en fonction d'un certain nombre de paramètres hydrauliques) et, c'est le plus difficile, leur taux d'utilisation. Les forages, dont la profondeur peut dépasser 100 m, sont de petit diamètre, souvent entre 10 et 15 cm et sont tous des forages dont le débit déclaré moyen varie de 10 à 18 l/s.

Les forages sont le plus souvent partagés entre les membres d'une même exploitation ou entre voisins. Pour ces associations, tous les frais d'investissement coût de creusement, achat de motopompe et coût d'abri et d'entretien sont partagés selon le nombre des associés. La majorité des exploitations agricoles, soit 79% comptent sur les eaux extraites des forages pour l'irrigation de leurs cultures (Tableau 76). Les autres sources d'eau sont faiblement utilisées par l'ensemble des exploitations ; c'est le cas particulièrement des eaux du barrage de El Moustakbel utilisées à titre supplémentaire par les exploitations de la Mitidja et des eaux des rivières se trouvant dans quelques régions enquêtées qui sont utilisées à titre occasionnel (lors des crues).

Tableau 76. Importance de l'origine des eaux utilisées par les exploitations enquêtées dans l'irrigation des cultures

Source d'irrigation	Adoptants		Non adoptant		Echantillon total	
	Effectif	(%)	Effectif	(%)	Effectif	(%)
Souterraine (Forages)	54	39,71	25	18,38	79,00	58,09
Surface (Barrage)	10	7,35	47	34,56	57,00	41,91
Souterraine et surface	34	25,00	59	43,38	93,00	68,38
Test de χ^2	<i>Significatif</i>					

La tendance à l'irrigation individuelle des exploitants induit donc, une augmentation des forages individuels ou collectifs ; les exploitants qui n'ont pas accès à la nappe pour irriguer investissent dans la réalisation de nouveaux forages ou dans le remplacement des anciens forages, bien que cela soit interdit. Aujourd'hui, les exploitants exercent une influence importante sur la nappe souterraine de la Mitidja.

Les pompages pour l'irrigation prélèvent de l'eau pendant 7 à 8 mois sur 12 en moyenne. Lorsque le prélèvement dépasse le taux de recharge, la quantité d'eau diminue, par conséquent la profondeur de l'eau et le rabattement augmentent. Plus le forage est profond, plus le dispositif de pompage est puissant (débit), plus le rabattement de la nappe est important autour de ce point.

Paradoxalement, certains exploitants ont pu bénéficier des subventions de l'État à hauteur de 50% pour la réalisation de forages rentrant dans le cadre du programme du PNDA (Plan National Du Développement Agricole) qui a démarré dans les années 2000. Les prêts du Fonds National de Régulation et de Développement Agricole (FNDRA) et les aides de l'État aux exploitants ont permis le développement massif des motopompes et forages pour prélever l'eau de la nappe.

La multiplication spontanée des forages, certes moins prononcée avant les années 2000, se poursuit jusqu'à maintenant malgré leur interdiction. Le réseau d'irrigation de surface ne fournit qu'une faible proportion d'eau aux irrigants qui, de ce fait, dépendent principalement des eaux souterraines, dont l'accès individuel est soumis à des autorisations très strictes depuis 2002 (Imache *et al.*, 2011).

Cependant, des irrigants continuent encore à creuser des forages individuels sans autorisation²². Partout, dans les secteurs enquêtés, les exploitants nous exposent leur problème capital: la diminution du niveau de l'eau dans les forages. Certains n'hésitent pas à augmenter périodiquement la profondeur de leur forage pour atteindre la nappe. C'est là l'indice d'une nappe exploitée à la limite de ses possibilités du fait de la multiplication anarchique des forages et des conditions climatiques défavorables.

À propos de la gestion des eaux souterraines utilisées par l'agriculture, on peut affirmer sans trop d'exagération que la Direction des Ressources en Eau de Wilaya (DREW) et les autorités compétentes se sont désengagées de la question en faisant fi de la réglementation en vigueur. L'écrasante majorité des forages des exploitants de la Mitidja n'est pas légitimée par une autorisation administrative. L'administration ne peut donc ni exercer de contrôle réel, ni œuvrer à la rationalisation de cet usage. Dans un système où l'eau est fournie gratuitement et non limitée en temps, l'intérêt de l'irrigant est d'en consommer le maximum. Les grandes exploitations sont les mieux équipées en forages. Avec une moyenne de 1,322 forage par exploitation, les grandes exploitations sont nettement mieux dotées que les moyennes et petites exploitations avec 0.109 et 0.615 par exploitation (Tableau 77).

Tableau 77. Nombre de forages par classe d'exploitation

<i>Types</i>	<i>Nombre de forages</i>	<i>Moyenne de nombre de forages par exploitation</i>
Petit 0- 5 ha	8	0.615
Moyen 5-20 ha	71	1.109
Grand Sup 20 ha	78	1.322
Total	157	

Il faut noter que le nombre de forages moyen par classe d'exploitation n'est qu'un calcul fictif qui cache une grande hétérogénéité au sein d'une même exploitation. En effet, le nombre de forages varie d'une exploitation à une autre. L'évolution du nombre de forages dans le temps est un indicateur de changement dans l'irrigation dans le périmètre. Les sécheresses des années 80 , 90 et 2000 et la libéralisation des assolements ont incité les agriculteurs du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1 à avoir recours massivement à l'eau souterraine pour améliorer la disponibilité de l'eau à travers des forages.

Malgré une forte diminution de la dotation en eau de surface dans le périmètre, les agriculteurs ont pu maintenir leurs productions agricoles grâce au recours de la nappe. Le périmètre de la Mitidja Ouest Tr 1 connaît depuis les 30 dernières années une pénurie en eau de surface

²² La Direction des Ressources en Eau de Wilaya (DREW) ex-DHW, officiellement chargée des contrôles, n'a pas fait obstacle à la réalisation des forages ; cependant les exploitants agricoles se réclament de la corruption.

pour l'irrigation incitant les agriculteurs à exploiter les nappes souterraines. L'augmentation remarquable du nombre de forages à partir de l'année 1988 est le signe de changements importants (Figure 47).

Le développement de l'irrigation individuelle par les forages dans le périmètre est lié à l'accentuation du phénomène de la sécheresse et également, dans une grande mesure, à l'émergence de nouveaux besoins d'irrigation permis par la libéralisation des assolements dans le périmètre, libéralisation qui s'est opérée justement à partir des années 1987 auxquels s'ajoute la situation sécuritaire des années 90. Le périmètre de la Mitidja Ouest Tr1 n'a pas été alimenté en eau de 1994 à 1999 en raison d'un attentat terroriste qui a touché la station de distribution du barrage d'El Moustakbel. Les services responsables de la réparation des dégâts n'ont pas pu s'approcher du lieu avant 1999. La Figure 46 montre les volumes d'eau distribués dans le périmètre Mitidja Ouest Tr1.

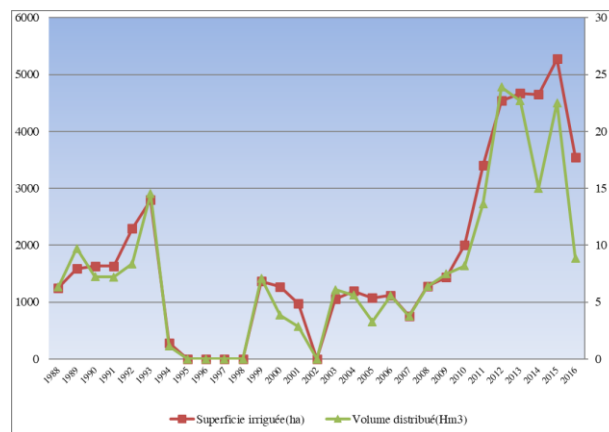


Figure 46. Volumes d'eau d'irrigation distribués et surface irriguée dans le périmètre irrigué de Mitidja Ouest (Établi par l'auteur à partir des données de l'O.N.I.D)

La période pendant laquelle le plus grand nombre de nouveaux forages a été réalisé remonte à 1994-1998 où l'O.P.I.M. n'a pas pu distribuer le moindre m³ d'eau aux agriculteurs à cause de l'attentat terroriste qui a visé la station de distribution du barrage en 1994.

Comme le montre la Figure 46, on observe l'absence de l'irrigation durant la période 1995 jusqu'à 1998 suite aux conditions d'insécurité qu'a connue le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1 et qui a conduit à des dégradations volontaires au niveau du barrage et de la prise qui ont entraîné l'arrêt des lâchers. On observe également un volume distribué nul en 2002, l'O.P.I.M. n'ayant pas distribué d'eau pour le périmètre de la Mitidja Ouest, mais cette fois-ci à cause de la sécheresse exceptionnelle qu'a connue le pays durant cette année ainsi qu'un plan d'urgence engagé par les autorités publiques affectant les eaux du barrage de Bouroumi

uniquement à l'A.E.P. d'Alger. D'une manière générale, la courbe du volume d'eau distribué suit la courbe des superficies irriguées. Cependant, si nous analysons dans le détail, nous observons par exemple durant la période allant de 2000 jusqu'à 2005 que les superficies irriguées ont diminué malgré l'augmentation du volume d'eau distribué. En clair, en 2003 avec 6,1 Hm³ était irriguée 1056 ha, en 2004 avec moins d'eau, soit 5,6 Hm³ est irriguée plus de surface, soit 1197 ha et pour beaucoup moins d'eau, soit 3,8 Hm³ en 2000 et 3,2 Hm³ en 2005, étaient irriguées également plus de surface soient respectivement 1270 et 1075 ha. Nous concluons que la superficie irriguée n'est pas proportionnelle au volume distribué à cause des variations de la dose d'irrigation qui se diminue durant les années du déficit en particulier pour maintenir l'arboriculture en vie. Nous remarquons également une augmentation soutenue des superficies irriguées depuis 2007 mais en réalité cette tendance concerne la Mitidja Ouest puisque depuis 2004, il y a eu la fusion des deux tranches du périmètre irrigué (8600 ha pour la tranche 1 ajoutant 15400 ha pour la tranche 2). En fait, dans la Mitidja Ouest les superficies irriguées restent faibles par rapport à la superficie irrigable en moyenne sur la période allant de 2006 à 2016 la superficie irriguée moyenne n'a jamais dépassé 12 % de la superficie irrigable. De même, dans la Mitidja Ouest Tr1 la superficie irriguée moyenne de 1988 à 2005 n'a jamais dépassé les 10 % de la superficie irrigable.

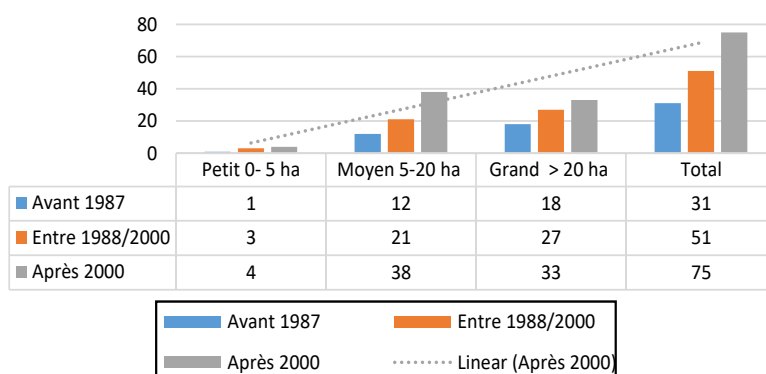


Figure 47. Évolution du nombre de forages dans le temps et par type d'exploitation

L'effet bivarié du mode d'accès à l'eau sur l'adoption des TIEE

La figure ci-dessus montre que les exploitants qui irriguent principalement par l'eau de surface sont moins enclins à adopter les TIEE que les exploitants qui irriguent avec l'eau souterraine. En effet, les irrigants par l'eau souterraine adoptent davantage les TIEE, car ces techniques plus efficaces sont plus dépendantes d'une source sécurisée et accessible à la de-

mande. C'est donc à partir de forages individuels ou collectifs dans les eaux souterraines que les exploitants bénéficient d'un accès sécurisé à l'eau d'irrigation. Malgré les déficits en eau qu'accusent le réseau collectif et les agriculteurs qui se plaignent à la fois de la qualité de service et des barèmes de facturation des volumes d'eau consommés, celui-ci reste tout de même sollicité. Plus de 40% des exploitations souscrivent un contrat d'irrigation auprès de l'office d'irrigation.

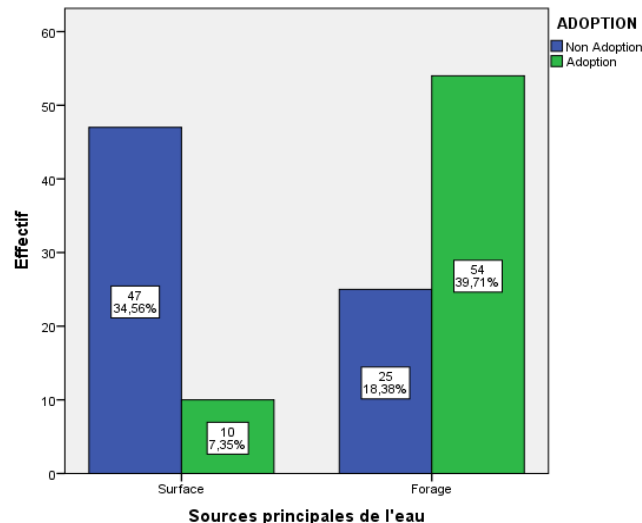


Figure 48. Répartition des exploitations par source d'irrigation

L'individualisation progressive de l'accès à la ressource en eau a, en outre, fortement incité la diffusion des techniques d'irrigation localisée, autrement appelée goutte-à-goutte ou micro-irrigation. Par ailleurs, l'intensification agricole qui va de pair avec l'introduction ou le passage à la micro-irrigation n'est possible que si la ressource en eau est sécurisée, accessible à la demande. Le recours aux forages qui en découle engendre des coûts énergétiques supplémentaires de pompage dans la nappe, voire des coûts de repompage à partir de réservoirs intermédiaires pour alimenter les réseaux sous pression (Bouarfa *et al.*,2020).

Tableau 78 : Tests du khi-deux entre le mode d'accès à l'eau et l'adoption des TIEE

	Valeur	ddl	Sig. (bilatérale)	Sig. exacte (bilatérale)	Sig. exacte (unilatérale)
khi-deux de Pearson	34,311 ^a	1	,000		
Correction pour continuité ^b	32,302	1	,000		
Rapport de vraisemblance	36,504	1	,000		
Test exact de Fisher				,000	,000
Association linéaire par linéaire	34,059	1	,000		
N d'observations valides	136				

a. 0 cellules (0,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de 13,18.

b. Calculée uniquement pour une table 2x2

Tableau 79. La corrélation entre le mode d'accès à l'eau et l'adoption des TIEE

<i>Mesures symétriques</i>	<i>Valeur</i>	<i>Erreur standard asymptotique^a</i>	<i>T^b</i>	<i>Signification</i>
Phi	,502			,000
V de Cramer	,502			,000
Coefficient de contingence	,449			,000
R de Pearson	,502	,072	6,724	,000 ^c
Corrélation de Spearman	,502	,072	6,724	,000 ^c
N d'observations valides	136			

a. L'hypothèse nulle n'étant pas considérée.

b. Utilisation de l'erreur asymptotique standard en envisageant l'hypothèse nulle.

c. Basé sur une approximation normale.

Tableau 80. Résidus standardisés ajustés entre l'adoption des TIEE et le nombre de forages utilisés par l'exploitant agricole

	Nombre de forages utilisés par l'exploitation agricole		Total
	Forages ≤ 1	Forages > 1	
Oui	-2,0	2,0	64
Non	2,0	-2,0	72
Effectif	104	32	136

Résidus standardisés ajustés, N = 136 ; p = 0,000

Tableau 81. Tests du khi-deux entre l'adoption des TIEE et le nombre de forages

	Valeur	ddl	Sig. (bilatérale)	Sig. exacte (bilatérale)	Sig. exacte (unilatérale)
khi-deux de Pearson	4,005 ^a	1	,045		
Correction pour continuité ^b	3,235	1	,072		
Rapport de vraisemblance	4,022	1	,045		
Test exact de Fisher				,067	,036
Association linéaire par linéaire	3,975	1	,046		
N d'observations valides	136				

a. 0 cellules (0,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de 13,18.

b. Calculée uniquement pour une table 2x2

Tableau 82. Tests de normalité entre l'adoption des TIEE et le nombre de forages

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.	Statistiques	ddl	Sig.
Adoption	,395	72	,000	,712	72	,000
Non Adoption	,303	64	,000	,837	64	,000

a. Correction de signification de Lilliefors

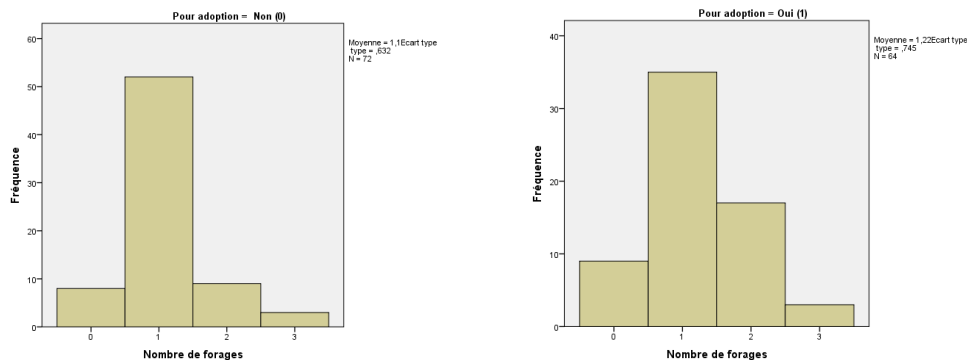


Figure 49. Histogrammes de l'adoption des TIEE et le nombre de forages

Tableau 83. Statistiques descriptives de la variable de nombre de forages

	N	Moy.	E-T	Min.	Max.	Percentiles		
						25e	50e	75e
Forages	136	1,15	,687	0	3	1,00	1,00	1,00
Adopt_TIEE	136	,4706	,50098	0	1	,0000	,000	1,000

Tableau 84. Tests non paramétriques de Mann-Whitney entre l'adoption et nombre de forages

	Forages
U de Mann-Whitney	2074,000
W de Wilcoxon	4702,000
Z	-1,174
Sig. asymptotique (bilatérale)	,240

Tableau 85. Tests de normalité entre l'adoption des TIEE et le ratio de forages

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.	Statistiques	ddl	Sig.
Non Adoption	,210	72	,000	,710	72	,000
Adoption	,116	64	,032	,899	64	,000

a. Correction de signification de Lilliefors

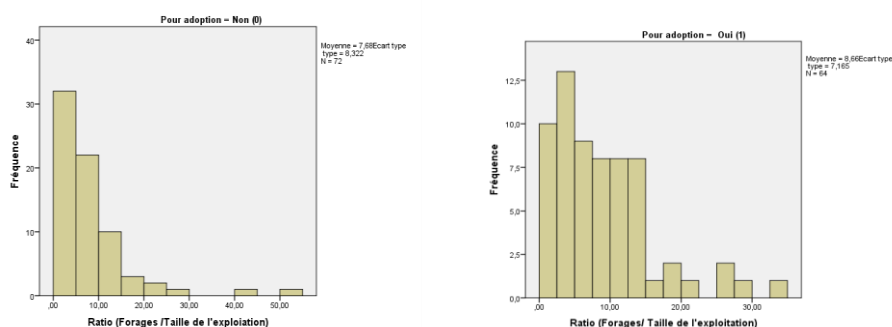


Figure 50. Histogrammes de l'adoption des TIEE et le ratio de forages

Tableau 86. Statistiques descriptives de la variable ratio de forages

	N	Moy.	E-T	Min.	Max.	Percentiles		
						25e	50e	75e
Forage_Ratio	136	8,1398	7,78553	,00	50,00	3,1550	6,5600	10,8325
TIEE_adopt	136	,4706	,50098	,00	1,00	,0000	,0000	1,0000

Tableau 87. Tests non paramétrique Mann-Whitney entre l'adoption et le ratio de forages

	Well_Ratio
U de Mann-Whitney	1976,000
W de Wilcoxon	4604,000
Z	-1,432
Sig. asymptotique (bilatérale)	,152

2.1.7. La main d'œuvre agricole

L'UTH est l'unité de travail correspondant à une activité réalisée au niveau de l'exploitation par un membre de la famille ou une main d'œuvre salariée durant 300 jours ouvrables. La quantification des ressources en travail au niveau de l'exploitation est corrigée par un coefficient de pondération et elle est estimée selon l'âge (Pasco *et al.*, 1983 ; Hassib, 1993 *cité par* El Amrani ,2002).

Tableau 88. Quantité de main d'œuvre disponible (UTH) et Méthode de calcul.

Homme plus 15	Une femme plus de 11	Garçon entre 7 et 15 ans	Fille entre 7 et 11 ans
1 Unité	0.80 unité	$Y = X / 8 - 7 / 8$ (Y étant l'UTH et X étant l'âge en années)	$(Y \text{ UTH}) = 0.2 X$ (année)-1.4

À la lecture du Tableau 89, nous constatons que 39.07% des exploitations agricoles ont entre 11 et 14 travailleurs ; et 25.18% ont 8 à 11 ; 17.87% ont 5 à 8 ; et 13.46 ont 14 à 23 et enfin 4.41% ont moins de 5 unités. La main d'œuvre peut être soit spécialisée dans certaines activités telles que l'irrigation ou la taille des arbres fruitiers, soit polyvalente. Une différence significative existe cependant entre les classes d'unités d'UTH disponibles entre les exploitants des adoptants et des non adoptants. Les chiffres élevés chez les non adoptants pourraient s'expliquer par la recherche d'un plus grand nombre d'unités de travail à valoriser comme source de revenus annexe. En effet, 28,70% des non adoptants emploient plus de 8 unités d'UTH contre 20.84% seulement pour les adoptants (Tableau 89)

Tableau 89. La répartition des exploitations enquêtées selon la quantité du travail disponible

UTH	Adoptants		Non Adoptants		Échantillon Total	
	Effectif	(%)	Effectif	(%)	Effectif	(%)
]0- 5]	46	7,43	15	1,97	61	4,41
]5- 8]	133	21,49	114	14,94	247	17,87
]8- 11]	129	20,84	219	28,70	348	25,18
]11- 14]	221	35,70	319	41,81	540	39,07
]14- 23]	90	14,54	96	12,58	186	13,46
Total	619	100,00	763	100,00	1382	100,00
Valeur moyenne	9,67		10,60		10,16	

L'irrigation gravitaire mobilise beaucoup de main d'œuvre. En effet, selon Bekkar et al.(2007) un hectare d'agrumes nécessite environ 10 hommes jours par an pour l'irrigation, 12 hommes jours pour la confection de cuvettes et 6 hommes jours pour l'épandage d'engrais. Dans la réalité, les pratiques de l'aspersion exigent nécessairement une main d'œuvre importante pour le déplacement des asperseurs, des rampes alors qu'on utilise cette main d'œuvre pour tracer les rigoles et déplacer également les tuyaux dans le cas du gravitaire.

Lorsque l'on considère la taille des exploitations agricoles, telle qu'indiquée par le nombre d'employés, on peut observer grâce au Tableau 90 que 35,3% des exploitations agricoles ont moins de 8 employés, 56,60% ont de 8 à 14 employés, 8,10% ont de 15 à 23 employés. Ces résultats illustrent avec éloquence que notre échantillon est constitué surtout de moyennes exploitations.

Tableau 90. Distribution des exploitations agricole selon l'effectif de la main d'œuvre

<i>Nombre d'employés</i>	<i>Nombre d'exploitations agricoles</i>	<i>Pourcentage (%)</i>	<i>Pourcentage cumulé (%)</i>
De 1 à 8 employés	48	35,3	35,3
De 8 à 14 employés	77	56,6	91,9
De 15 à 23 employés	11	8,1	100,0
Total	136	100,0	

L'effet bivarié de la main d'œuvre sur l'adoption des TIEE

Les résultats bivariés des tableaux suivants entre la main d'œuvre et l'adoption des TIEE montrent bien qu'il n'y a pas une corrélation entre l'effectif de la main d'œuvre dans les exploitations agricoles et l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces puisque la p value du test khi deux (0 .065) dépassent le seuil de 0.05.

Tableau 91. Résidus standardisés ajustés entre l'adoption des TIEE et la main d'œuvre

	UTH			Total
] 0 et 8]]8 et 14]	≥15	
Effectif	19	47	6	72
Résidus ajustés	-2.3	2.2	0.1	
Effectif	29	30	5	64
Résidus ajustés	2.3	-2.2	-0.1	
Effectif	48	77	11	136

Tableau 92. Tests du khi-deux entre l'adoption des TIEE et la main d'œuvre

	Valeur	ddl	Sig. approx. (bilatérale)
khi-deux de Pearson	5,476 ^a	2	,065
Rapport de vraisemblance	5,503	2	,064
Association linéaire par linéaire	3,534	1	,060
N d'observations valides	136		

a. 0 cellules (0,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de 5,18.

Tableau 93. La corrélation entre l'adoption des TIEE et la main d'œuvre

Mesures symétriques	Valeur	Erreur standard asymptotique ^a	T ^b	Signification
Tau-b de Kendall	-,169	,083	-2,043	,041
Tau-c de Kendall	-,177	,086	-2,043	,041
Corrélation de Spearman	-,174	,085	-2,048	,042 ^c
R de Pearson	-,162	,085	-1,898	,060 ^c
N d'observations valides	136			

a. L'hypothèse nulle n'étant pas considérée. b. Utilisation de l'erreur asymptotique standard en envisageant l'hypothèse nulle. c. Basé sur une approximation normale.

Tableau 94. Tests de normalité entre l'adoption des TIEE et la main d'œuvre

Adoption	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.	Statistiques	ddl	Sig.
Non Adoption	,111	72	,028	,977	72	,223
Adoption	,115	64	,035	,947	64	,008

a. Correction de signification de Lilliefors

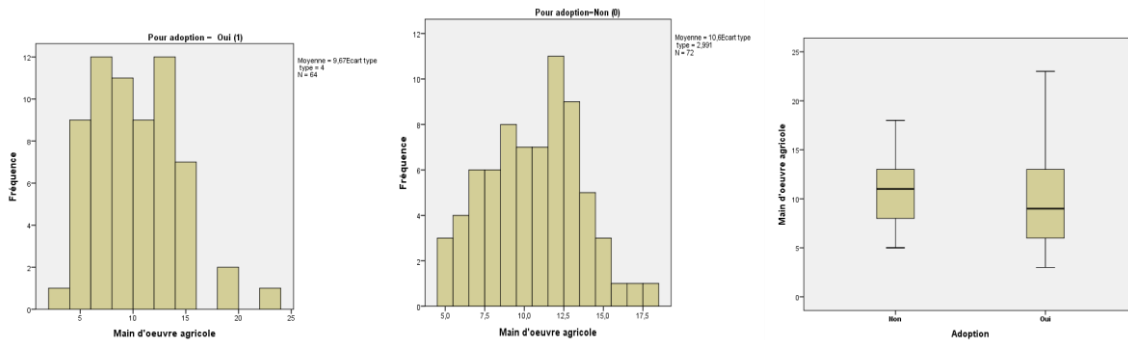


Figure 51. Histogrammes de l'adoption des TIEE et la main d'œuvre

Tableau 95. Statistiques descriptives de la variable de la main d'œuvre

	N	Moy.	E-T	Min.	Max.	Percentiles		
						25e	50e	75e
Tot_worker	136	10,16	3,520	3	23	7,00	10,00	13,00
TIEE_adopt	136	,4706	,50098	,00	1,00	,0000	,0000	1,0000

Tableau 96. Tests non paramétrique Mann-Whitney entre l'adoption et la main d'œuvre

	Well_Ratio
U de Mann-Whitney	1891,000
W de Wilcoxon	3971,000
Z	-1,808
Sig. asymptotique (bilatérale)	,071

Tableau 97. Tests de normalité entre l'adoption des TIEE et la main d'œuvre

Adoption	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.	Statistiques	ddl	Sig.
Non Adoption	,122	72	,010	,810	72	,000
Adoption	,070	64	,200*	,937	64	,003

a. Correction de signification de Lilliefors

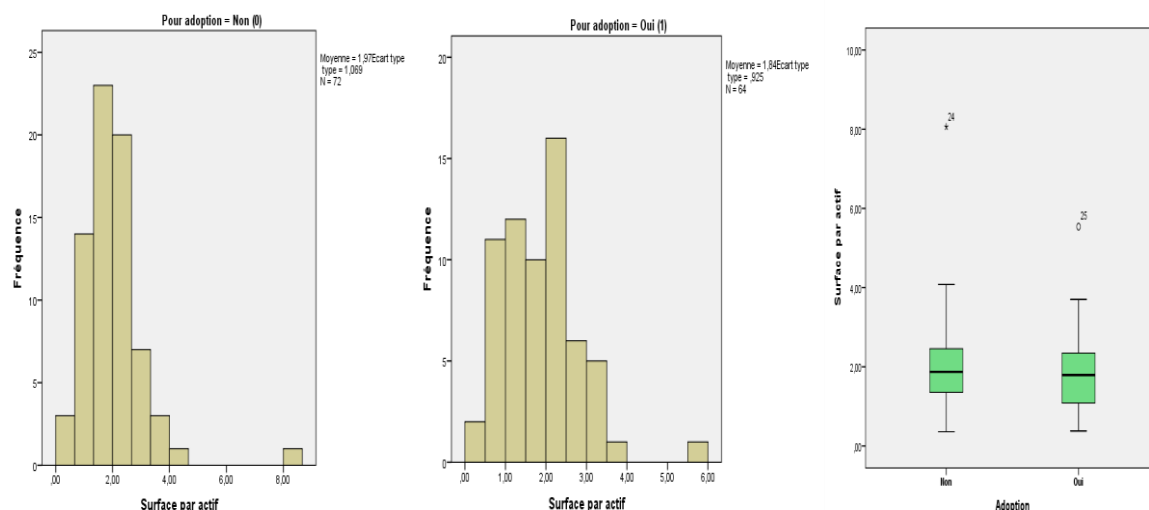


Figure 52. Histogrammes de l'adoption des TIEE et la main d'œuvre (surface par actif)

Tableau 98. Statistiques descriptives de la variable Surface par actif

	N	Moy.	E-T	Min.	Max.	Percentiles		
						25e	50e	75e
Surface_Actif	136	1,9099	1,00202	,36	8,06	1,2550	1,8000	2,4150
TIEE_adopt	136	,4706	,50098	,00	1,00	,0000	,0000	1,0000

Tableau 98.1. Tests non paramétrique de Mann-Whitney de l'adoption et la main d'œuvre(surface par actif)

U de Mann-Whitney	2136,000
W de Wilcoxon	4216,000
Z	-,733
Sig. asymptotique (bilatérale)	,464

2.2. Les caractéristiques institutionnelles

2.2.1 Statut juridique de l'exploitation

Les tableaux suivants présentent la répartition des exploitations agricoles selon le statut juridique. Nous constatons que la majorité des exploitations agricoles sont des EAC avec 84% dont 62,50% en division interne et 21% en union. En revanche les exploitations agricoles individuelles et privées sont minoritaires avec 16% dans notre échantillon.

Tableau 99. Répartition des exploitations enquêtées selon le statut juridique

Statut juridique	Fréquence	Pourcentage (%)
EAC	114	83.82
EAC en Division	85	62.50
EAC en Union	29	21.30
EAI	11	8.1
PRIVEE	11	8.1
Total	136	100.00

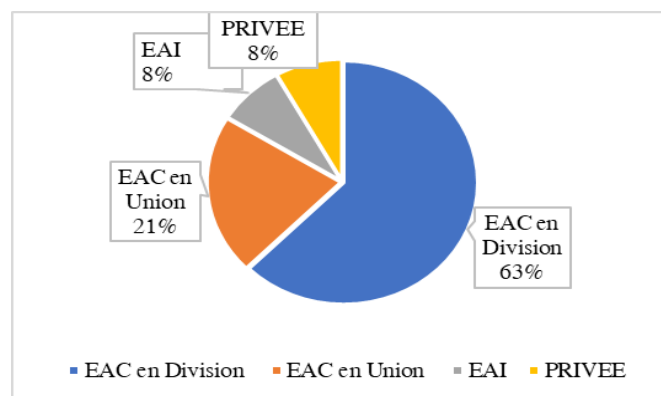


Figure 53. Répartition des exploitations selon leur statut juridique

En termes de superficies, les exploitations agricoles collectives représentent également la majorité des terres exploitées avec une proportion de 94%. Par ailleurs, les exploitations agricoles privées et individuelles sont minoritaires avec 6,8% des terres dans notre échantillon.

Tableau 100. Répartition des exploitants enquêtés par statut foncier des terres et SAU

Statut foncier	Adoptants		Non Adoptants		Echantillon Total	
	SAU (ha)	(%)	SAU (ha)	(%)	SAU (ha)	(%)
EAC	1.167,92	93,40	1.471	94,78	2.638,92	94,14
EAC en Division	910,46	72,81	1.165	75,06	2.075,46	73,98
EAC en Union	257,46	20,59	306	19,72	563,46	20,16
EAI	35,5	2,84	8,5	0,55	44	1,58
Privé	47	3,76	72,5	4,67	119,5	4,28
Total	1.250,42	100	1.552	100	2.802,42	100

L'effet bivarié de le statut juridique sur l'adoption des TIEE

Les résultats du tableau du croisement entre l'adoption des TIEE et le statut juridique montrent globalement que le statut juridique n'affecte pas le choix d'adoption des technologies en raison des proportions approximativement équivalentes pour les catégories.

Tableau 101. Répartition des exploitants enquêtés par statut juridique et adoption des TIEE

Statut	Adoptants des TIEE		Non adoptant des TIEE		Echantillon total	
	Effectif	(%)	Effectif	(%)	Effectif	(%)
EAC	50	78.13	64	88.89	114	83.82
EAC en Division	35	54.69	50	69.44	85	62.50
EAC en Union	15	23.44	14	19.44	29	21.32
EAI	9	14.06	2	2.78	11	8.09
Privé	5	7.81	6	8.33	11	8.09
Total	64	100	72	100	136	100
Test de χ^2	<i>Non significatif</i>					

Tableau 102. Tests du khi-deux entre l'adoption de TIEE et le statut juridique de l'exploitation

	Valeur	ddl	Sig. approx. (bilatérale)
khi-deux de Pearson	6,780 ^a	3	,079
Rapport de vraisemblance	7,134	3	,068
N d'observations valides	136		

a. 0 cellules (0,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de 5,18.

Tableau 103. Corrélation entre l'adoption de TIEE et le statut juridique de l'exploitation

<i>Mesures symétriques^c</i>	<i>Valeur</i>	<i>Signification</i>
Phi	0,223	0,079
V de Cramer	0,223	0,079
Coefficient de contingence	0,218	0,079
N d'observations valides	136	

c. Les statistiques de corrélation ne sont disponibles que pour les données numériques.

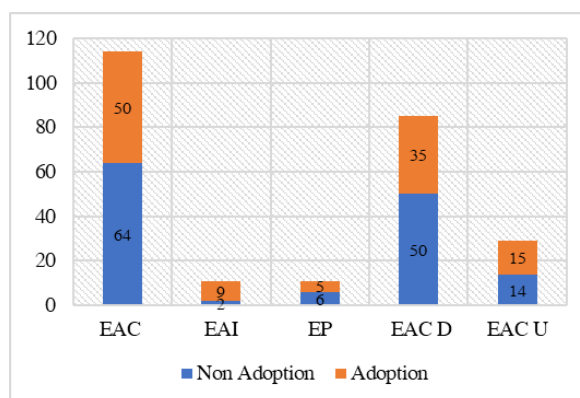


Figure 54. Répartition des exploitations agricoles en fonction du statut juridique et l'adoption des TIEE

2.2.2. *Le mode de faire valoir*

Notre enquête révèle que 58% des exploitations sont des terres exploitées en location, contre 42% exploitées par leurs propriétaires. Pour les exploitants propriétaires, 31.62% sont des adoptants des TIEE, contre seulement 15.44% pour les locataires (Tableau 105 et Figure 55). Ce résultat pourrait être expliqué par le fait que les agriculteurs qui possèdent des titres de propriété se sentaient en sécurité pour investir dans les TIEE, mais cela dépendrait aussi s'il s'agit d'un investissement coûteux et de long terme, comme pour le cas du TIEE qui nécessite des investissements importants ; dans ce cas, seuls les agriculteurs propriétaires adoptent ce genre de technologie. La location des terres publiques est en effet interdite et la subvention agricole est uniquement attribuée aux propriétaires des terres et aux attributaires des EAC.

Tableau 104. Répartition des exploitations de l'échantillon selon le mode de faire valoir

Statut	Adoptants	M.D.V		Non adoptant	M.D.V		Échantillon total		
	<i>Effectif</i>	<i>Propriétaires</i>	<i>locataires</i>	<i>Effectif</i>	<i>Propriétaires</i>	<i>Locataire</i>	<i>Effectif</i>	<i>Propriétaires</i>	<i>Locataire</i>
EAC	50	31	19	64	12	52	114	43	71
EAC en Division	35	16	19	50	8	42	85	24	61
EAC en Union	15	15	0	14	4	10	29	19	10
EAI	9	7	2	2	0	2	11	7	4
PRIVE	5	5	0	6	2	4	11	7	4
Total	64	43	21	72	14	58		57	79

Tableau 105. Répartition du mode de faire valoir selon l'adoption

M.D.V	Adoptants	(%)	Non adoptants	(%)	Total	(%)
Locataires	21	15,44	58	42,65	79	58,09
Propriétaires	43	31,62	14	10,29	57	41,91
Total	64	47,06	72	52,94	136	100,00

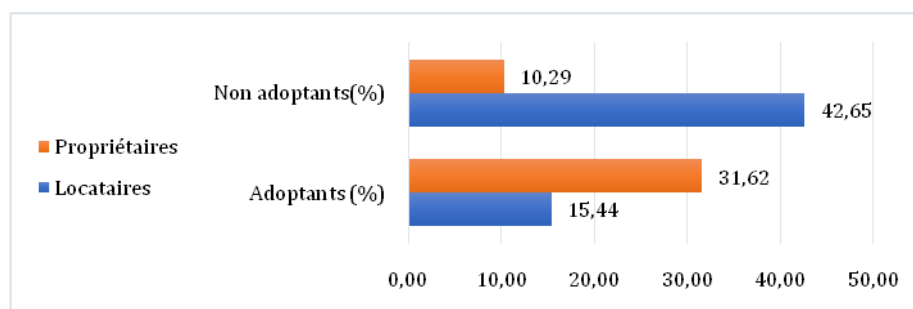


Figure 55. Répartition du mode de faire valoir selon l'adoption

2.2.3. La confiance des irrigants envers leurs institutions

Le cadre institutionnel, particulièrement la confiance des irrigants dans leurs institutions, peut influencer les choix technologiques individuels. Il paraît cohérent de concevoir que l'adoption et la diffusion de nouvelles technologies d'irrigation, supposées accroître l'efficacité d'utilisation de l'eau, n'est pas seulement bénéfique pour les exploitants agricoles, mais aussi pour tous les intervenants dans le domaine de l'eau, voire pour la société dans son ensemble. La volonté des irrigants de se doter de technologies d'irrigation économes en eau s'apparente donc à leur volonté de coopérer avec les institutions qui les entourent.

Le degré de coopération des exploitants peut notamment dépendre des taux de subvention pour chaque équipement et de la confiance des irrigants dans les structures qui les suivent et

les conseillent. Dans la Mitidja Ouest Tr1, cette confiance pourrait se manifester par les choix de financement des exploitants pour leur équipement en matière des technologies d'irrigation plus efficaces (qu'ils aient recours ou non à des subventions de l'État) ainsi que par les choix de financement de leur activité agricole, c'est-à-dire l'achat des engrais, produits phytosanitaires, matériel agricole, la construction de forages.

En outre, cette confiance peut se traduire également par les rapports des agriculteurs avec leurs institutions agricoles, d'irrigation et professionnelles. La confiance des irrigants est un paramètre complexe, en évolution et difficile à quantifier. Il paraît être lié aux caractéristiques du marché des technologies d'irrigation et aux activités de vulgarisation de nouvelles technologies exercées par les institutions auprès des irrigants (Richefort, 2008)

a) Avec le secteur bancaire : Accès au crédit

La faiblesse ou l'absence du financement par les banques est caractéristique de toute l'agriculture algérienne. En effet, selon les données du recensement agricole de 2001, seules 3,1% des exploitations agricoles faisaient appel au crédit bancaire (MADR, 2003). Dans le contexte où le crédit est peu développé en raison entre autres de l'usure qui constituerait un frein considérable à la demande de crédit, et afin de susciter une implication plus importante des banques et l'accroissement du nombre d'exploitants agricoles éligibles au crédit institutionnel et dans le contexte du renouveau de l'économie agricole et rurale, le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural a procédé à la signature avec la BADR, à partir de 2011, d'une convention permettant la mise en place de trois nouveaux produits bancaires : le crédit *Rfig*²³, le crédit *Ettahadi*²⁴, le *Crédit Fédératif*²⁵.

Cependant, malgré la mise en place de la bonification, la demande et l'accès effectif des agriculteurs au crédit demeurent faibles. En effet, entre 2000 et 2010, la part des exploitants agricoles qui ont accès au crédit bancaire était seulement de 10% en Algérie (Pellissier *et al.*, 2015) alors qu'en 2015, seulement 2.2 % d'entre eux ont bénéficié de crédit bancaire (Daoudi, 2016). Plusieurs études, telles que Bedrani *et al.*, 2001 ; Daoudi & Wampfler, 2010, Daoudi *et al.*, 2011 ; Daoudi, 2010 ; Omari *et al.*, 2012 ; Oubraham *et al.*, 2021), ont montré la faiblesse

²³ C'est un crédit de campagne (acquisition d'intrants nécessaires à l'activité des exploitations agricoles et d'élevage). Sa durée est d'une année et sans intérêts (Pris en charge totalement par le Ministère de l'Agriculture sur le FNDIA).

²⁴ Le crédit ETTAHADI est un crédit d'investissement (création, équipement et modernisation de nouvelles exploitations agricole et d'élevage). C'est un crédit bonifié d'une durée de 7 ans (de 0% à 3%).

²⁵ Le crédit fédératif s'adresse aux opérateurs intégrateurs, aux entreprises économiques, aux coopératives et groupements intervenant dans les activités de production et de transformation des produits agricoles (céréales, lait, tomate...).

de la contribution des banques aux financements des exploitations agricoles et la difficulté d'accès au crédit bancaire et par conséquent, le recours des agriculteurs au financement informel en Algérie. Le constat de ces auteurs cités précédemment se retrouve au sein des 136 exploitations enquêtées. En effet, la majorité des agriculteurs soit 72,79% enquêtés déclarent ne pas contracter de prêts auprès des différentes banques domiciliées à Blida (BADR, CPA, CNEP, etc.). Ainsi, malgré toutes les interventions publiques le crédit agricole reste inaccessible à la majorité des agriculteurs (Daoudi *et al.*, 2011).

Tableau 106. Répartition des exploitants enquêtés selon l'accès au crédit bancaire

<i>Crédit</i>	<i>Fréquence</i>	<i>Pourcentage (%)</i>	<i>Cumule</i>
Non accès au Crédit	99	72.79	72.79
Accès au Crédit	37	27.21	100.00
Total	136	100.00	-

La part des exploitants ayant investi et faisant recours au crédit est relativement faible et elle est de l'ordre de 12% pour l'acquisition des intrants nécessaires à l'exploitation agricole et de 16 % pour l'achat du matériel d'irrigation goutte à goutte et/ou aspersion. Parallèlement, la proportion des exploitants ayant investi dans le matériel économe en eau et bénéficié des subventions de l'État est de l'ordre de 22% (Tableau 107).

Le recours des exploitants aux subventions pour financer leur investissement en économie d'eau est nettement plus important que celui manifesté pour le crédit. Cette différence, si elle s'explique par la volonté de l'État d'encourager certains investissements jugés prioritaires, en leur accordant des subventions prélevées sur le Fond National de développement de l'investissement agricole (FNDIA), traduit également la difficulté croissante, pour les exploitants, d'accéder au crédit bancaire.

Pour l'autofinancement, les ressources investies proviennent généralement des activités que les agriculteurs pratiquent en parallèle et des revenus agricoles. Toutefois, le recours des exploitants à l'autofinancement pour financer leurs investissements reste faible ; il est de l'ordre de 9% pour les intrants et 16.18% pour l'équipement en matériel économe en eau. En effet, face à un accès de plus en plus limité au financement institutionnel, et pour entreprendre des actions d'investissement, les exploitants sont dans leur majorité contraints de compter plus sur le financement informel, c'est-à-dire auprès des fournisseurs d'intrants agricoles, qui reste prépondérant avec 44.88% et les contrats de vente à terme avec préfinancement qui représente environ 29,50%.

En l'absence de crédit formel, les exploitants ont recours à d'autres formes de financement pour assurer les investissements. Il s'agit notamment du crédit informel et/ou de l'autofinancement. En général, pour l'autofinancement, les agriculteurs font appel aux revenus agricoles et extra-agricoles ainsi qu'aux membres de la famille ou à des amis proches. En effet, le crédit informel avec ses différentes variantes, concerne essentiellement le crédit de campagne destiné à l'achat des intrants agricoles, paiement de la main-d'œuvre, achat ou location du matériel agricole.

Tableau 107. Répartition des exploitants ayant investi selon le mode de financement

Source de financement	Acquisition d'intrants nécessaires à l'exploitation agricole ^a		Achat du matériel d'irrigation EE	
	Nombre	(%)	Nombre	(%)
Crédit agricole et moyens propres	16	11,76	22	16,18
Crédit fournisseurs	61	44,85	0	0,00
Préfinancement sur vente à terme	40	29,41	0	0,00
Subvention & moyens propres	0	0,00	30	22,06
Autofinancement ^b	12	8,82	12	8,82
Aide d'un parent ou crédit familial	7	5,15	0	0,00
Total	136	100,00	64	100,00

a) Semences, plants, engrais, produits phytosanitaires, petit matériel agricole, paiements de la main d'œuvre

b) Revenu agricole, activité extra-agricole

En se basant sur les déclarations des exploitants, les raisons qui conduisent à ne pas demander de crédit agricole sont la difficulté d'accès aux services bancaires qui sont jugées très sélectifs ainsi que la méconnaissance des procédures administratives et l'aversion au risque d'endettement auxquelles s'ajoutent les problèmes du foncier chez les EAC en division.

Cependant, ce qui, à notre sens, explique davantage cette difficulté se trouve dans les conditions de garantie matérielle et de rentabilité exigées par les banques, en particulier pour les crédits à moyen et long terme. En réalité, la réticence des banques concernant l'octroi des crédits agricoles serait liée à l'incertitude de l'agriculture notamment à cause des aléas climatiques à savoir l'irrégularité des pluies, les catastrophes naturelles qui peuvent arriver à tout moment telles que les maladies phytopathologiques ainsi que la forte variabilité des prix à laquelle s'ajoutent souvent le fait que les exploitations agricoles sont fréquemment caractérisées par une gestion opaque, la banque ne pouvant acquérir des informations à leur propos qu'en se basant seulement sur les informations acquises au moment de l'établissement de la relation de crédit (Oubraham *et al.*, 2021). Caprio & Honohan (1991) expliquent qu'en général, les banques favorisent les entreprises qui peuvent fournir des états financiers, des garanties et un montant minimum de capital.

L'effet bivarié de l'accès au crédit sur l'adoption des TIEE

L'accès au crédit agricole représente une contrainte majeure pour l'investissement agricole dans la zone de recherche. Selon les données de notre enquête, les agriculteurs qui ont accès à un crédit agricole ne représentent que 27% de l'ensemble des agriculteurs enquêtés.

En effet, on observe dans le tableau ci-dessous, que parmi les 64 exploitations agricoles de notre échantillon qui ont adopté les technologies d'irrigation plus efficaces, 34 ont accès au crédit formel, alors que 30 n'y ont pas accès. Par ailleurs, on constate que parmi les 72 exploitations agricoles qui n'ont pas mis en place les technologies d'irrigation plus efficaces, seulement trois (3) ont accès au crédit formel et 69 n'y ont pas accès. Le test de Khi2 Pearson, nous indiquera s'il existe une différence significative entre les exploitations agricoles qui ont adopté les technologies d'irrigation plus efficaces et celles qui ne l'ont pas, en ce qui concerne l'accès au crédit formel.

Tableau 108. Répartition des exploitants selon l'accès au crédit et l'adoption des TIEE

	Non accès au crédit	(%)	Accès au Crédit	(%)	Total	
Non	69	69.70	3	8.10	72	52.90
Oui	30	30.30	34	91.90	64	47.10
Effectif	99	100	37	100	136	100

Les difficultés d'accès au crédit du secteur agricole ont des répercussions négatives sur l'adoption de nouvelles technologies, la productivité et, en retour, sur la situation générale des producteurs. Autrement dit, la persistance des difficultés d'accès au crédit empêche toute extension d'activités ou intensification de la production.

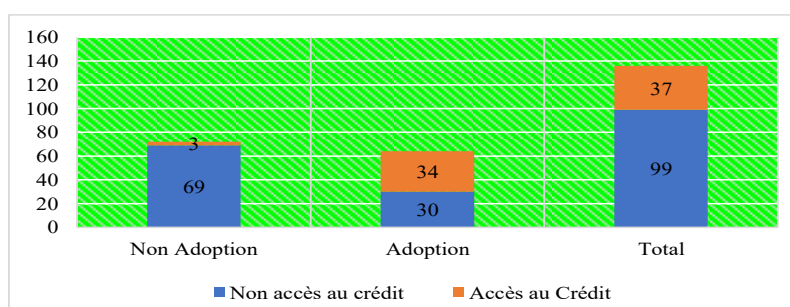


Figure 56. L'accès au crédit et comportement d'adoption

Tableau 109. L'effet de l'accès au crédit sur l'adoption des TIEE

Tests du khi-deux	Valeur	ddl	Sig. approx. (bilatérale)	Sig. exacte (bilatérale)	Sig. exacte (unilatérale)
khi-deux de Pearson	41,008 ^a	1	,000		
Correction pour continuité ^b	38,573	1	,000		
Rapport de vraisemblance	45,786	1	,000		
Test exact de Fisher				,000	,000
Association linéaire par linéaire	40,706	1	,000		
N d'observations valides	136				

a. 0 cellules (0,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de 17,41.

b. Calculée uniquement pour une table 2x2

Selon les résultats contenus dans le tableau ci-dessous, on observe un degré de signification du test de 0,000 qui est largement inférieur au seuil de signification 0,05. On peut donc conclure que l'accès au crédit formel a un impact significatif sur l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces.

Tableau 110. La corrélation entre l'accès au crédit sur l'adoption des TIEE

Mesures symétriques	Valeur	Erreur standard asymptotique ^a	T ^b	Signification
Phi	,549			,000
V de Cramer	,549			,000
Coefficient de contingence	,481			,000
R de Pearson	,549	,063	7,606	,000 ^c
Corrélation de Spearman	,549	,063	7,606	,000 ^c
N d'observations valides	136			

a. L'hypothèse nulle n'étant pas considérée.

b. Utilisation de l'erreur asymptotique standard en envisageant l'hypothèse nulle.

c. Basé sur une approximation normale.

La difficulté d'accès au crédit formel constitue un handicap au développement de l'agriculture parce que cela limite fortement l'adoption des nouvelles technologies pourtant indispensables pour accroître la productivité. Cela se vérifie en Algérie en général et dans la Mitidja en particulier où le faible niveau d'obtention de crédit formel constitue un handicap majeur pour le développement de l'irrigation économe en eau.

On note également une contrainte dans les formalités de dossier d'octroi des crédits, parce que nombre d'agriculteurs ne peuvent soumettre des dossiers crédibles notamment par manque de garantie fiable. Or, il est évident qu'aucune banque n'acceptera d'octroyer un crédit sans une garantie certaine. D'après nos enquêtes, les exploitants affirment être au courant de l'existence de banque octroyant du crédit agricole. Le non recours au crédit formel par les agriculteurs serait lié au fait que dans les années antérieures, les institutions bancaires étaient

totallement réticentes pour accorder des crédits agricoles ce qui s'ajoute à l'inaptitude des agriculteurs à soumettre un dossier fiable notamment par manque de garanties sûres.

En général, le faible niveau d'investissement des agriculteurs s'observe aisément à travers leur système de production. Concernant le matériel agricole utilisé, nos enquêtes ont révélé que les agriculteurs se limitent essentiellement aux matériels traditionnels et le travail reste manuel. L'explication est que, d'une part, les agriculteurs ne disposent pas des moyens financiers suffisants pour l'acquisition des équipements mécaniques à cause de leur coût très élevé et, d'autre part, la petite taille des exploitations décourage les agriculteurs à avoir recours à la location de matériel parce que notamment les prix de location sont aussi élevés. Le faible niveau d'investissement s'observe également à travers les systèmes d'irrigation qui restent dominés par le gravitaire. Pourtant, les agriculteurs ont de fortes intentions pour investir davantage, dans le secteur agricole pour peu qu'ils aient accès aux ressources financières que peuvent offrir les banques locales (Figure 57).

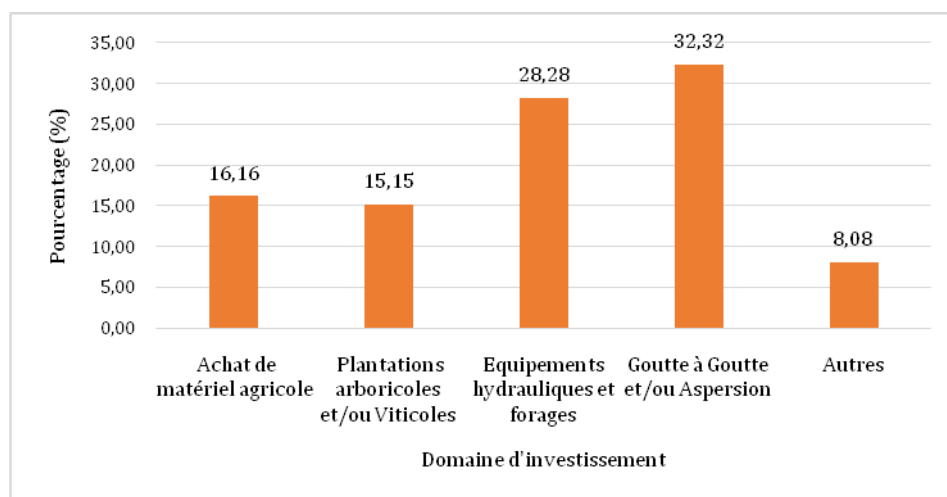


Figure 57. Intention d'investissement par les agriculteurs enquêtés dans le cas où les crédits leur soient accessibles.

b) Avec les organisations professionnelles agricoles

Les Organisations Professionnelles Agricoles (O.P.A) regroupent, en Algérie, les associations, les coopératives agricoles et les chambres d'agriculture. Selon le recensement qui a été réalisé par l'INVA durant l'année 2014 pour 35 wilayas, il existait 302 coopératives agricoles ayant 45.456 adhérents soit 3,03% des agriculteurs algériens (Bouedja & Messaoudi, 2014). D'après ce que révèle ce même recensement, les Organisations Professionnelles Agricoles (O.P.A) s'avèrent très peu représentatives de l'ensemble des agriculteurs. De 1989 à 2007, dans la wilaya de Blida, 24 coopératives de services ont été agréées, dont 14 créées *ex-nihilo*.

À la fin de l'année 2010, il ne reste que 3 coopératives (Brabez & Bedrani, 2015). Dans la Wilaya de Blida, le taux d'adhésion des agriculteurs aux coopératives agricoles ne dépasse pas 16% des agriculteurs de toute la wilaya dont toute la superficie se trouve dans la plaine de la Mitidja qui est une des principales régions agricoles de l'Algérie.

Tableau 111. Taux d'adhésion aux coopératives agricoles dans la wilaya de Blida

Nombre de coopératives	Type d'exploitation	Nombre d'exploitations	Attributaires	Surface moyenne (ha)	Nombre d'agriculteurs	Nombre d'adhérents
11	EAC	1.403	3 à 20	26,60	9 .458*	1.479
	EAI	499	499	5,65		
	EP	3.810	3.810	4,15		
	Fermes pilotes	9	9	198,80		15,63 %
Total		572				

Source : DSA Blida, INVA (2014)

* Le nombre d'agriculteurs dans les EAC est en moyenne de 7 ; il varie entre 3 et 20 membres à raison de 3 ha par attributaire, tel qu'il a été défini par la loi d'orientation foncière n°87-19 (1987) par le Ministère de l'agriculture²⁶. Au dernier recensement général de l'agriculture (2001), la wilaya de Blida comptait 9 458 agriculteurs.

L'appartenance à une coopérative ou association : Dans notre cas, les Organisations Professionnelles Agricoles concernent les associations, les coopératives agricoles. Dans le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr 1, il existe deux coopératives agricoles, à savoir la coopérative agricole de service et d'approvisionnement (CASAP) de Mouzaia et la coopérative agricole de services spécialisée apicole (CASSA) de Chiffa qui sont toutes deux issues d'anciennes coopératives restructurées après la réforme du secteur autogéré en 1987.

Par ailleurs, et en matière d'organisation sociale des agriculteurs autour de la ressource en eau, une association des irrigants du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest, tranche I est née en 1994 dans le but de représenter les irrigants au niveau des administrations et défendre leur intérêts et droits. Elle participe, en début de campagne, à la répartition de la ressource en eau en particulier quand il y a un déficit hydrique, ainsi que dans le choix des périodes et des cultures à irriguer en priorité. Elle intervient également pendant la période d'irrigation en cas de problèmes, à travers des réunions avec la DRE (ex-DHW), la DSA et avec les services de l'ONID. On notera que la plupart des irrigants enquêtés n'ont pas adhéré à ces coopératives agricoles et associations.

La pratique des Organisations Professionnelles Agricoles est faiblement ancrée dans le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest T1. En effet, 88.24% des exploitants enquêtés dans le péri-

²⁶ Loi n° 87-19 du 8 décembre 1987 déterminant le mode d'exploitation des terres agricoles du domaine national et fixant les droits et obligations des producteurs. (J.O.R.A. N° 50 du 09 décembre 1987) Art. 11. - Trois ou plusieurs producteurs, tels que définis à l'article 9 ci-dessus, constituent entre eux, par cooptation réciproque, un collectif en vue de créer une exploitation agricole collective. Les modalités de constitution des collectifs et des exploitations sont déterminées par voie réglementaire.

mètre ne sont pas membres des associations et groupements comme on peut le lire sur le tableau 112 et pourtant le taux de soutien accordé au collectif (50%) en matière d'équipement en économie d'eau est plus important que celui accordé à titre individuel (40%).

Tableau 112. Adhésion à une organisation professionnelle agricole et comportement d'adoption

Adhésion aux O.P. A	Adoptants		Non adoptant		Échantillon	
	Effectif	(%)	Effectif	(%)	Effectif	(%)
Adhésion	11	8,09	5	3,68	16	11,76
Non Adhésion	53	38,97	67	49,26	120	88,24
Total	64	47,06	72	52,94	136	100
Test de χ^2	<i>Non Significatif</i>					

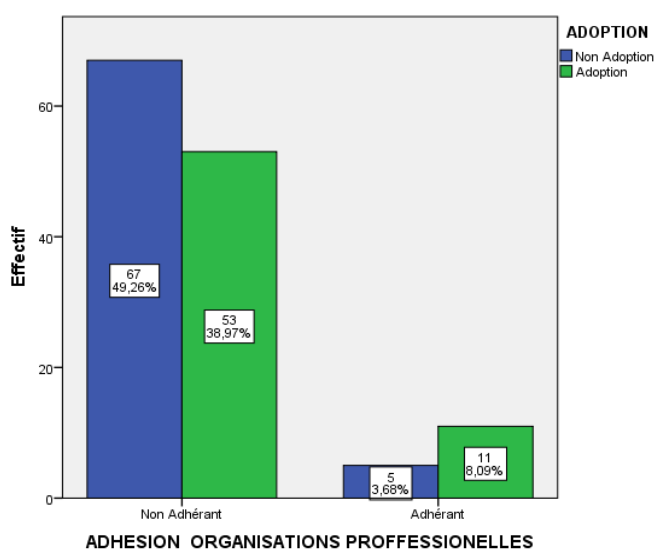


Figure 58. Adhésion à une organisation professionnelle agricole et comportement d'adoption

Les exploitants non adoptants sont essentiellement constitués de ceux qui n'ont pas adhéré à ces institutions : 49,26% d'entre eux ne sont engagés dans aucune organisation alors que les adoptants sont à 8,09% des membres de ces structures. Ces organisations sont peu développées dans le périmètre irrigué ; cela peut-il justifier le taux faible d'adoption des TIE ?

L'effet bivarié de l'adhésion aux OPA sur l'adoption des TIEE

L'adhésion à des organisations professionnelles agricoles ne semble pas fonder la différence dans le comportement des exploitants vis-à-vis de l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces. En effet, les résultats du test de χ^2 Pearson contenu dans le tableau ci-dessous indiquent un degré de signification du test égale à 0.064 qui est largement supérieur au seuil de signification 0.05. On peut par conséquent conclure que l'appartenance à une coopérative ou association n'a pas un impact significatif sur l'adoption des technologies d'irrigation.

Tableau 113. L'effet de l'appartenance à une coopérative ou association sur l'adoption TIEE

Tests du khi-deux	Valeur	ddl	Sig. approx. (bilatérale)	Sig. exacte (bilatérale)	Sig. exacte (unilatérale)
khi-deux de Pearson	3,425 ^a	1	,064		
Correction pour continuité ^b	2,509	1	,113		
Rapport de vraisemblance	3,472	1	,062		
Test exact de Fisher				,107	,056
Association linéaire par linéaire	3,399	1	,065		
N d'observations valides	136				

a. 0 cellules (0,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de 7,53

b. Calculée uniquement pour une table 2x2

Tableau 114. Corrélation entre l'appartenance à une coopérative ou association et les TIEE

Mesures symétriques	Valeur	Erreur standard asymptotique ^a	T ^b	Signification
Phi	,159			,064
V de Cramer	,159			,064
Coefficient de contingence	,157			,064
R de Pearson	,159	,082	1,860	,065 ^c
Corrélation de Spearman	,159	,082	1,860	,065 ^c

a. L'hypothèse nulle n'étant pas considérée.

b. Utilisation de l'erreur asymptotique standard en envisageant l'hypothèse nulle.

c. Basé sur une approximation normale.

Il est admis que les organisations professionnelles agricoles ont un rôle important dans la réduction des coûts de transaction et l'accroissement des pouvoirs de négociation des exploitants sur les marchés des inputs et outputs mais aussi dans la promotion et la vulgarisation des méthodes plus performantes de la production agricole. Les organisations professionnelles agricoles, comme canal de transmission de savoir et accompagnement des exploitants, ne semblent pas constituer un levier efficace dans l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces. Pour l'exploitant, cette transition agronomique, économique et institutionnelle n'est pas accompagnée par les appuis nécessaires.

Les associations d'agriculteurs et les coopératives agricoles créées par les pouvoirs publics n'ont pas les moyens matériels et organisationnels pour accomplir les missions de mobilisation et d'encadrement attendues d'elles. Shah (1995, 1996) montre que les coopératives performantes sont souvent des coopératives initiées par les exploitants agricoles. L'exploitant agricole lui-même n'a pas encore adhéré à cette nouvelle politique²⁷ et considère ces associations comme des structures administratives. Shah (1995, 1996) montre aussi que les associations d'irrigants créées par l'administration pour gérer des périmètres publics irrigués, sont sous le carcan lourd de l'administration, souvent déficitaires et la plupart d'entre elles ne fonctionnent pas correctement.

²⁷ Dès 2005, la décision politique d'intégrer les AUE dans la gestion de l'eau est affichée à travers la loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau.

2.3. Les caractéristiques du contexte d'adoption des irrigants

Le second axe des facteurs clés de l'adoption de technologies d'irrigation économes en eau concerne les caractéristiques du contexte institutionnel et économique qui s'impose à tous les irrigants. Cinq facteurs clés sont identifiés : le prix de l'eau d'irrigation, les subventions à l'équipement, le prix des fruits et légumes, le transfert d'information et la confiance des irrigants envers leurs institutions.

2.3.1. Le prix de l'eau d'irrigation

Principale source de revenu des unités d'exploitation des périmètres irrigués, la tarification de l'eau agricole demeure très souvent forfaitaire. Les compteurs qui sont des instruments indispensables à l'efficacité d'un barème de tarification de l'eau et nécessaires pour l'estimation des volumes d'eau réellement consommés, sont très souvent absents, soit suite à un sous équipement ou à des dégradations fréquemment volontaires des compteurs.

Malheureusement, l'étude du diagnostic des infrastructures hydrauliques des périmètres irrigués lancé en 2004, confirme que la plupart des usagers ou abonnés étaient dépourvus de compteurs (Chetibi, 2007). Dans notre périmètre d'étude, aucun usager n'est équipé d'un compteur suite à un sabotage volontaire de ce dernier, ce qui assujettit ces usagers à un tarif forfaitaire. Par ailleurs, dans les barèmes fondés sur la consommation, les prix unitaires sont très symboliques et ne dépassent pas habituellement les 2,5 DA le mètre cube d'eau.

Toutefois, l'historique de la tarification de l'eau agricole en Algérie nous révèle que les tarifs de l'eau d'irrigation qui restent largement subventionnés par l'Etat, ont doublé en une décennie, soit une augmentation en moyenne de 1,25 à 2,5 DA entre 1995 et 2006 comme le montrent le tableau et le graphe qui suivent. Cependant, la faible évolution du prix de l'eau d'irrigation du réseau public dans le périmètre irrigué de la Mitidja Tr1 nous conduit à supposer que ce facteur ne présente qu'un impact limité sur l'adoption des technologies d'irrigation. Après avoir suivi une augmentation de 100% durant l'année 2005, le prix du m³ n'a ensuite quasiment pas évolué depuis 2005 à aujourd'hui comme le montre la figure 59.

Tableau 115. La tarification de l'eau d'irrigation dans le périmètre irrigué

Années	1988 -1992	1993 à 1994	1995 -1998	1999-2004	2005 -2020
Tarifs DA/m ³	0.35	0.80	1.00	1.25	2.50
Facteur multiplicateur	-	2.28	1.25	1.25	2

Source : Réalisé par l'auteur à partir des données de l'ONID (2020)

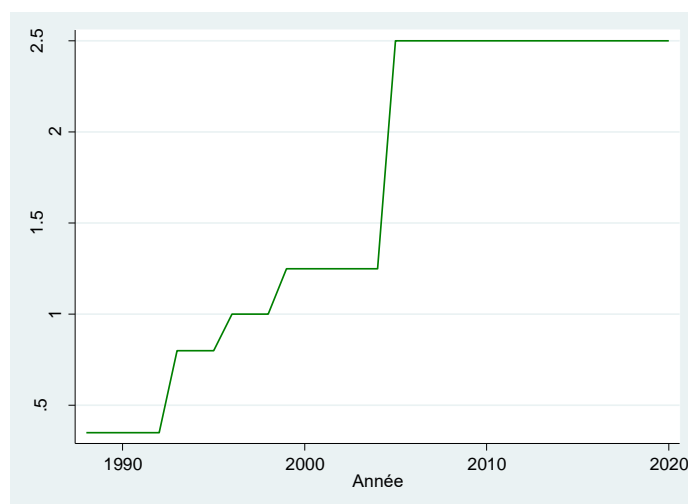


Figure 59. L'évolution du prix de l'eau d'irrigation dans le périmètre de la Mitidja Ouest , 1988-2020

En outre, l'alternative d'irriguer par les eaux souterraines peut être un facteur de l'élasticité-prix de la demande d'eau de surface dans le périmètre. Pour de nombreux agriculteurs, la disponibilité des eaux souterraines ne suffit pas pour irriguer totalement leurs parcelles, en particulier pour les cultures les plus consommatrices en eau, telles que les agrumes et l'arboriculture fruitière. Du coup, une bonne partie des agriculteurs ne peuvent pas se passer complètement l'utilisation de l'eau de surface. Dans notre questionnaire d'enquête, on a posé aux exploitants la question suivante : que pensez-vous du prix de l'eau d'irrigation de l'ONID? Avec le tarif de 2,5 DA par mètre cube appliqué depuis 2005, 62.50% des exploitants enquêtés estiment que le prix de l'eau est faible, alors que 19.12% d'entre eux estiment que le nouveau prix est très faible.

Tableau 116. La perception des exploitants enquêtés du prix de l'eau agricole de l'ONID

Prix de l'eau	(1) Trop cher	(2) cher	(3) moyen	(4) Faible	(5) Très faible	Total
Nombre d'exploitants	4,00	8,00	13,00	85,00	26,00	136
Pourcentage (%)	2,94	5,88	9,56	62,50	19,12	100

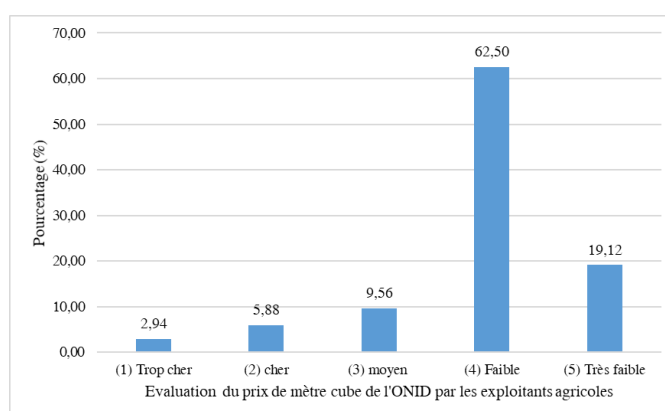


Figure 60. La perception des exploitants enquêtés du prix de l'eau agricole de l'ONID

Un exemple de calcul de la charge de l'eau d'irrigation dans les charges totales de la spéculation agrumicole est présenté en annexe 10 qui représente 4% et 8% pour l'eau de surface et souterraine respectivement. Après 2005, la situation n'a guère changé : le coût de l'eau ne représente que 3,9% en moyenne des charges de production de la pomme de terre dans le périmètre public des Arribs (Chibane, 2008 *cité in* : Benmihoub & Bedrani, 2012). De même, l'irrigation n'atteint pas encore 10% du total des charges de production dans la Mitidja (Imache & Belarbia, 2010; Bouarfa *et al.*, 2010). Des résultats similaires obtenus par (Oulmane (2018) qui constate que le coût d'irrigation ne représentait que 2% des charges de production dans le périmètre de Taher (Jijel).

Laoubi (2009) a utilisé l'analyse de sensibilité pour identifier les intrants critiques du modèle financier et l'impact de leur variabilité sur le résultat dans les périmètres irrigués Est et Ouest Tr1 ; cette analyse montre que les coûts d'irrigation moyens ne représentent que 5,68% (en utilisant des technologies d'économie d'eau) et 9,43% (en utilisant le gravitaire). Par conséquent, les revenus sont moins sensibles à la variable coût d'irrigation "prix de l'eau".

En outre, le tarif de l'eau agricole paraît faible par rapport à sa valorisation par l'agriculture : le maraîchage sous serre, par exemple, procure une marge de 200 DA par m³ d'eau contre 110 DA/m³ pour les agrumes dans la Mitidja (Benouniche *et al.*, 2010). La productivité de l'eau en terme économique varie de 10,33 DA par m³ pour la tomate à 226,78 DA par m³ pour le poivron sous serre. Les agrumes et les pêches en intensif procurent une marge nette de 83,41 DA et 135,05 DA par m³ respectivement. La valeur moyenne de la productivité de l'eau s'est avérée être de 64,19 DA par m³ dans le périmètre de la Mitidja-Est (Laoubi, 2009).

En outre, ces faibles pourcentages ne sont pas suffisants pour inciter à la conservation de l'eau. En effet, dans d'autres pays (Grèce, France, Maroc, etc.), le coût relatif de l'eau se situe entre 10 et 20% des coûts totaux de production des agriculteurs pour induire la conservation la ressource en eau (Laoubi, K. 2009).

2.3.2. *Le programme d'aide à l'investissement*

Le contexte économique est également caractérisé par le programme d'aide à l'investissement dans les différentes technologies d'irrigation, qui contribue fortement à la décision des irrigants de se procurer les équipements nécessaires. Depuis 2000, avec le lancement du PNDA et la création du FNRDA²⁸ (2000 à 2002), les montants de soutien étaient fixes. Chaque ac-

²⁸ Programme de Fond National de Régulation et de Développement Agricole (FNRDA): 2000 – 2005. C'est un programme en faveur du développement et de la modernisation de l'agriculture, il touche directement

tion avait son montant spécifique. Ces montants représentaient 70%, 80% jusqu'à 100% du total d'investissements pour les équipements d'aspersion, goutte à goutte, la réalisation des bassins d'accumulation de l'eau, l'acquisition des équipements de pompage, la réalisation de forages, de puits. Le matériel d'irrigation a été bien subventionné dans un but d'économie d'eau et d'adoption des systèmes d'irrigation économes tel que le goutte-à-goutte. Les subventions dont pouvaient bénéficier les agriculteurs sont les suivantes :

- 1) le kit de tuyauterie, le forage et équipements de forage ainsi que le bassin d'accumulation sont subventionnés à 50%;
- 2) le goutte-à-goutte est subventionné à 90%;
- 3) la tête de station est subventionnée à 100%.

Ceci démontre que l'État avait la volonté de « revitaliser » l'agriculture en consacrant des sommes considérables à travers des subventions et le rachat de la dette des agriculteurs. En fait, jusqu'en l'an 2000, de nombreux agriculteurs qui avaient fait des emprunts à la BADR et à la CNMA-Banque, ne les ont pas remboursés, sous prétexte de pertes de récoltes causées soit par des événements liés au terrorisme, soit à des facteurs climatiques. Face à l'opportunité de certains agriculteurs, la BADR a interrompu en 2000 tout crédit aux agriculteurs. Ce n'est qu'après le démarrage du PNDA, que l'État a payé les dettes des agriculteurs à la BADR et que celle-ci a recommencé à leur accorder des crédits, mais avec des garanties suffisamment lourdes pour dissuader toute mauvaise intention quant au remboursement. Il faut rappeler que cette mesure a été décidée par les pouvoirs publics pour alléger les agriculteurs du poids de la dette bancaire et les mettre en position de relancer la production agricole.

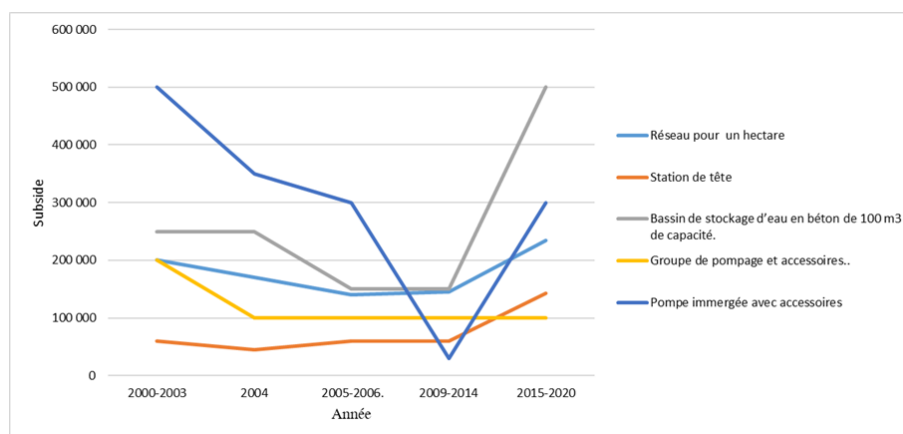


Figure 61. Évolution de la subvention des technologies d'irrigation et de leurs équipements, 2000-2020 dans le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1

l'agriculteur à titre individuel à travers des soutiens financiers alloués aux agriculteurs par le biais du ce fond inscrit dans la décision ministérielle n° 599 du 08 juillet 2000.

À partir de la période 2009-2014, le taux de subvention était de 30 à 40% du coût de l'investissement.

Tableau 117. Évolution du coût subventionné des TIEE dans la Mitidja, 2000-2021

<i>Nature de la subvention</i>	2000-2003	2004	2005-2006	2009-2014	2015-2021
Réseau pour un hectare	200.000	170.000	140.000	145.000	233.989
Station de tête	60.000	45.000	60.000	60.000	142.800
Bassin de stockage d'eau en béton de 100 m ³ de capacité.	250.000	250.000	150.000	150.000	500.000
Groupe de pompage et accessoires.	200.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Pompe immergée avec accessoires	500.000	350.000	300.000	300.000	300.000

En 2020, dans la Mitidja, un système d'irrigation par aspersion en couverture intégrale « clé en main » coûtait en moyenne 840.000 Dinars/ha et un système par aspersion mobile qui permet d'irriguer un tiers d'hectare était estimé à 285.000 dinars et, enfin, un système d'irrigation localisée au goutte-à-goutte était évalué à 620.000 dinars/ha. Ces coûts d'investissement peuvent varier de 10 à 15% par an en fonction des variations de prix de certains accessoires qui composent chaque système d'irrigation. Dans les années 2000, l'aspersion en couverture intégrale et mobile était subventionnée à 80 et 70% respectivement et le goutte-à-goutte à 100%. De 2003 à 2006, l'aspersion en couverture intégrale et mobile était subventionnée à 30% et le goutte-à-goutte à 30%,

Tableau 118. Évolution du montant à la charge de l'agriculteur pour les technologies d'irrigation dans la Mitidja (2000-2021)

<i>Nature de la subvention</i>	2000-03	2004	2005-06	2009-14	2015-20
Réseau pour un hectare en goutte à goutte	180.000	162.000	48.600	19.440	116.994,5
Station de tête	60.000	45.000	13.500	5.400	71.400
Bassin de stockage d'eau en béton de 100 m ³ de capacité.	125.000	125.000	37.500	11.250	150.000
Groupe de pompage et accessoires.	100.000	50.000	15.000	6.000	40.000
Pompe immergée avec accessoires	250.000	175.000	52.500	21.000	120.000

Le pourcentage de ces subventions était, en l'an 2000, de 100% ; il a baissé jusqu'à 30% en 2005 (Hadibi et al.,2008). Les investissements de l'État à travers le FNRDA s'élèveraient à 1,1 milliard de dinars sur la daïra de Chiffa et Mouzaia. L'irrigation figure en tête avec 54% de ces aides, suivie des plantations d'agrumes avec 27% (Hadibi et al., 2008). De la fin 2006 à 2008, le taux de subvention pour le matériel économe en eau était de 60% puis de 2009 à 2014, l'aspersion en couverture intégrale et mobile a été subventionnée à 40% et le goutte-à-goutte à 40% ; depuis 2014 à ce jour, l'aspersion en couverture intégrale et mobile ainsi que le

goutte-à-goutte ont été subventionnés à 50%. Toutes ses subventions ont été instaurées dans le cadre d'une opération d'élimination de la méthode d'irrigation obsolète (le gravitaire) conduite par la MADR depuis les années 2000.

Le tableau 118 montre que, suite à cette baisse des taux de subvention ainsi que la révision des subventions à la baisse, le coût initial d'investissement à la charge de l'agriculteur était quasiment en baisse pour chaque nouvelle technologie d'irrigation et leurs accessoires. En réalité, cette baisse est due à la réduction drastique des coûts subventionnés par les pouvoirs publics. Cependant, le coût de l'aspersion en couverture intégrale varie fortement si l'irrigant construit seul son système. S'il monte lui-même ses canons, dimensionne son réseau et pose les tuyaux sur ses parcelles (il élimine ainsi le coût de conception et la part du coût d'investissement liée à la pose de l'équipement), un système d'aspersion en couverture intégrale peut coûter moins de 600.000 dinars/ha sans subvention.

Par contre, un système en goutte-à-goutte est beaucoup plus compliqué à construire seul à cause de la préparation du terrain nécessaire pour poser les tuyaux, des vannes automatiques à mettre en place ainsi que de la station de filtration à installer avec le matériel lui-même. Concernant le coût du goutte-à-goutte, il faut aussi considérer le réinvestissement nécessaire lors du changement des gaines goutte à goutte et les filtres à tamis et à disques (à peu près tous les 5 ans). Ceci provoque un différentiel important de coût de fonctionnement entre chaque matériel et pourrait expliquer en partie son faible taux d'adoption sur le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1.

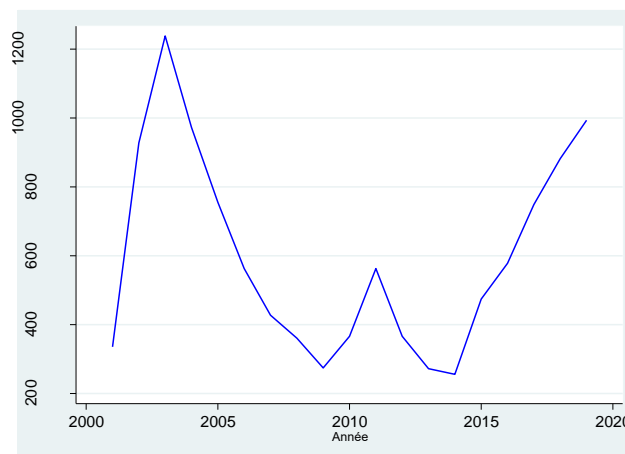


Figure 62. Evolution des surfaces installées en goutte à goutte dans le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1 entre 2001 et 2019. Etabli par l'auteur à partir des données de la DSA

La figure 62 montre que la reconversion des systèmes d'irrigation existants vers le goutte à goutte a été faite au cours des trois premières années de ce programme. Cela nous renseigne

sur l'importance des investissements réalisés par les pouvoirs publics, En effet, selon les chiffres du MADR (2005), l'irrigation représente la plus importante part des dépenses totales du FNRDA (40,11%) des dépenses de ce fonds en 2003, soit 15,253 millions de dinars (Bouri, 2011) d'où le dynamisme des importateurs des équipements d'irrigation. À partir de 2004, la subvention a été revue à la baisse parce que sa valeur a été considérée comme étant supérieure aux prix pratiqués par les fournisseurs d'équipement pour une grande majorité des technologies d'irrigation et leurs équipements économes en eau.

Les subventions ont été revues à la baisse de 2003 à 2006 ; les montants de soutien sont fixés à 30% pour la majorité des actions. Dès la fin de l'année 2006 et sous la contrainte des rapports négatifs des différentes administrations agricoles, le financement destiné à la prise en charge des subventions n'a assuré que 60% de la valeur révisée (MADR, 2008). Ceci explique la baisse significative des subventions et même la cessation des subventions en 2008. Selon Benaziza et al. (2018), de 2006 à 2008, quelques actions de mise en place de réseaux de micro-irrigation ont encore été réalisées, mais sur fonds propres des agriculteurs.

Pour le reste, la baisse des réalisations est due (1) au désintérêt progressif des équipementiers pour qui la réévaluation à la baisse des subventions n'est plus profitable. (2) les agriculteurs possédant de vieux vergers ne se contentaient plus de la micro-irrigation pour répondre aux besoins en eau de leurs arbres, le système racinaire étant important et très développé en profondeur, (3) le travail des bureaux d'études chargés de l'octroi des subventions a pris beaucoup de retard (4) un certain nombre d'agriculteurs titulaires du droit d'usage ont tout simplement vendu ce droit à des personnes disposant de fonds propres importants et capables de se financer, (5) Certains nouveaux vergers étaient endommagés en raison d'une mauvaise plantation et d'un problème de mélange variétal, ce qui a provoqué l'arrêt des systèmes d'irrigation.

De 2006 à 2008, le taux de défection global enregistré était de 58,30% ; par type d'exploitation, le taux de défection est de 65% pour les E.A.I. et de 70% pour les E.A.C. Pour le reste des exploitations, le taux est d'environ 5% pour le secteur privé (Benaziza et al., 2018). En 2009, le processus d'octroi des subventions a pris une toute autre tournure. Les services agricoles ont envisagé d'engager des bureaux d'études spécialisés avec un cahier des charges très pointu pour prendre en charge l'ensemble du processus d'octroi des aides. Ceci s'explique par la rigueur affichée dans l'octroi et le suivi des opérations de mise en place des réseaux de goutte à goutte.

Au cours de la période 2009-2014, il y a eu une reprise timide dans la réalisation des réseaux d'irrigation goutte à goutte dont la majorité concerne les opérations de renouvellement des

équipements, avant une rechute en 2011 suite au problème de défection et d'abondons. Cependant, depuis la période 2014-2009, les superficies équipées en goutte à goutte ont évolué lentement ; elles sont passées de 256 hectares en 2014 à 933 hectares en 2019. Par ailleurs, au cours de cette même période (2014-2019), il y a eu réévaluation des montants et taux de subvention. En effet, le montant de la subvention est passé de 145.000 DA dinars par hectare à presque 240.000 dinars par hectare en goutte à goutte ; il y a aussi une dynamique privée voulant s'équiper en goutte à goutte qui pourrait expliquer cette évolution qui reste relativement faible (Tableau 119)

Tableau 119. Répartition des exploitations selon le bénéfice de la subvention

Effectif	Subvention				Total	
	Sans Subvention		Subvention			
Non	58	63%	14	31.8%	72	52.9%
Oui	34	37%	30	68.2%	64	41.1%
Total	92	100%	44	100%	136	100%

Les résultats contenus dans le tableau ci-dessus indiquent que parmi les 64 exploitations agricoles qui ont adopté les technologies d'irrigation plus efficaces issues de notre échantillon d'étude, 30 ont bénéficié des subventions de l'Etat pour la mise en place des technologies, alors que 34 n'y ont pas eu accès. Par contre, des 72 exploitations agricoles qui n'ont pas adopté les technologies d'irrigation plus efficace, seulement 14 ont accès et bénéficié de ces subventions, tandis que 58 n'y ont pas accès. On analysera avec le test de Khi2 Pearson, si la différence est significative entre les exploitations agricoles qui sont innovatrices et celles qui ne le sont pas par rapport à la subvention.

Tableau 120. Tests du khi-deux entre l'adoption de TIEE et subvention

	Valeur	ddl	Sig. (bilatérale)	Sig. exacte (bilatérale)	Sig. exacte (unilatérale)
khi-deux de Pearson	11,649 ^a	1	,001		
Correction pour continuité ^b	10,429	1	,001		
Rapport de vraisemblance	11,817	1	,001		
Test exact de Fisher				,001	,001
Association linéaire par linéaire	11,563	1	,001		
N d'observations valides	136				

a. 0 cellules (0,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de 13,18.

b. Calculée uniquement pour une table 2x2

Les subventions accordées aux équipements hydrauliques susceptibles de rationaliser l'irrigation (mobilisation d'eaux souterraines, pompage, construction de bassins, équipements pour l'irrigation localisée) montrent déjà un impact, mais celui-ci est lent à se manifester et exclut les exploitations les plus petites. Par ailleurs, la procédure d'octroi d'autorisations de

fonçage de forage reste assez lourde et perçue comme un obstacle par les agriculteurs. La procédure d'octroi des subventions est très sélective. En effet, le principe du paiement de la subvention après la réalisation des investissements par l'agriculteur et leur vérification par les services concernés, bloque l'accès à ces subventions à une grande partie des agriculteurs du périmètre.

Tableau 121. Corrélation entre l'adoption de TIEE et subvention

Mesures symétriques	Valeur	Erreur Standard asymptotique ^a	T ^b	Signification
Phi	,293			,001
V de Cramer	,293			,001
Coefficient de contingence	,281			,001
R de Pearson	,293	,082	3,543	,001 ^c
N d'observations valides	,293	,082	3,543	,001 ^c

a. L'hypothèse nulle n'étant pas considérée.

b. Utilisation de l'erreur asymptotique standard en envisageant l'hypothèse nulle.

c. Basé sur une approximation normale.

Les agriculteurs qui ne disposent pas de moyens suffisants pour réaliser entièrement le projet avant d'accéder au paiement de la subvention, sont donc exclus de ces aides. D'autant plus que l'accès aux crédits bancaires est aussi contraignant pour cette catégorie d'agriculteurs qui souvent ont des problèmes relatifs à l'éclatement des EACs, d'indivision ou de régularisation de leur titre de propriété pour les exploitations privées. Outre ce problème de paiement à posteriori des aides, les procédures de constitution des dossiers techniques et par la suite le dossier de demande des subventions, sont jugées par certains agriculteurs et techniciens comme étant très contraignantes pour la majorité des agriculteurs. Un allègement des conditions d'accès aux aides et un assouplissement des procédures donneraient plus d'impacts à cet ambitieux programme de développement des techniques d'irrigation économes en eau. Plus d'une vingtaine d'années après la mise en application de ce programme de subvention, la reconversion du gravitaire en irrigation localisée et aspersion se fait lentement.

Les entreprises privées se plaignent de la lourdeur du système et des prix trop bas imposés par le ministère de l'Agriculture. Selon elles, cela favorise ceux qui vendent de la mauvaise qualité à bas prix. Il est difficile de juger objectivement de la véracité de cet avis. En revanche, il est clair que la lourdeur bureaucratique n'empêche pas le détournement du système. Certains agriculteurs peuvent acquérir du matériel avec l'aide de l'État, puis le revendre après la visite de contrôle de l'administration, avec ou sans sa complicité intéressée.

Pour bénéficier des subventions de l'État, l'agriculteur doit obtenir l'aval de la Direction de l'agriculture, après une étude technique de son exploitation (dimension du terrain et capacité d'irrigation) assez formelle, si ce n'est que la source de l'eau doit être légale, or nous avons une majorité de forages illégaux dans la région.

2.3.3. Le mode de commercialisation

Bien que le facteur de mode de commercialisation de la production soit trop documenté dans la littérature, dans cette étude nous jugeons nécessaire de l'intégrer dans notre analyse. Nous considérons donc que les agriculteurs dont la production est destinée au marché adoptent plus facilement la TIEE que ceux dont la production est destinée à la vente sur pied.

En ce qui concerne les modes de commercialisation, l'étude met en évidence trois types de stratégies commerciales : les céréales, vendues à une coopérative CCLS, sans recherche d'une valorisation particulière, les légumes de plein champ, vendus sur le champ, l'arboriculture fruitière et les agrumes vendus soit sur pieds ou bien sur les marchés de gros.

La répartition de l'échantillon de l'étude selon les comportements des exploitants vis-à-vis de l'innovation en fonction des modes de commercialisation qui en découle se lit à travers le Tableau 122. La structure de l'échantillon des non-adoptants selon leur mode de commercialisation établit que 38,24% de ces exploitants pratiquent la vente à terme (la vente sur pieds) alors que seulement 19,12% des adoptants pratiquent ce type de vente. Près de 80% des exploitants enquêtés pratiquent la vente sur pieds²⁹. C'est pour limiter les risques d'écoulement et de fluctuations de prix que les marchés à terme se sont développés (Carter, 2013). La pratique du marché est caractéristique des exploitants adoptants, les non adoptants se contentent de la vente à terme. En effet, 28% des adoptants sont des acteurs du marché destinant leur production à la vente contre seulement 14,71% des non adoptants. Ces derniers sont à plus de 38% des producteurs exclus des marchés.

Tableau 122. Relation entre le comportement d'adoption et le mode de commercialisation

Mode principal de commercialisation	Adoptants		Non adoptant		Échantillon total	
	Effectif	(%)	Effectif	(%)	Effectif	(%)
Vente à terme	26,00	19,12	52,00	38,24	78,00	57,35
Marché et vente à terme	38,00	27,94	20,00	14,71	58,00	42,65
Total	64,00	47,06	72,00	52,94	136,00	100,00
Test de χ^2	<i>Significatif</i>					

²⁹C'est de la vente à terme. À noter toutefois que les producteurs peuvent le regretter si le prix a augmenté entre temps !

Les investissements importants, notamment dans des techniques coûteuses, notamment le localisé, doivent être justifiés par la rentabilité de la culture. En plus, les producteurs souhaitent un retour rapide sur les investissements. Les fluctuations des prix sur les marchés agricoles ne leur sont donc pas favorables. Ce marché n'est d'ailleurs directement accessible qu'aux plus fortunés.

En effet, les productions, dans la plupart des cas, sont achetées directement sur pieds par des commerçants qui les acheminent pour les revendre dans les marchés avec une marge bénéficiaire importante. Dans ces conditions, investir signifie pour les agriculteurs prendre beaucoup de risques. Ce risque est d'autant plus grand que les capitaux engagés sont prêtés par des banques ou autres. Seuls les agriculteurs disposant de grands moyens financiers peuvent se lancer dans ce genre d'épreuve. Le reste des agriculteurs préfère minimiser les risques en investissant le moins possible.

Ce comportement se traduit dans le domaine de l'irrigation par la prédominance de gravitaire, qui a montré sa faible efficacité mais a l'avantage de mobiliser très peu d'investissement et est donc accessible à tous les producteurs. Le suivi de l'évolution des prix des productions agricoles est très important pour l'agriculteur. Il lui permet de savoir, en fonction des périodes de l'année, les productions les plus rentables et faciles à écouler.

Cependant, cette information sur les marchés agricoles n'est pas communiquée aux agriculteurs du périmètre. D'autre part, la nature du marché auquel participent les irrigants joue probablement un rôle sur leur volonté d'innover en matière d'irrigation.

Tableau 123. Les exploitations enquêtées selon la production dominante

Production dominante	SAU (ha)			
	Moyenne	Ecart type	Surface(ha)	(%) SAU
Agrumiculture	7.7868	8.15285	1059	37.79
Arboriculture	3.0221	4.53377	411	14.67
Cultures maraichères	1.0000	2.29169	136	4.85
Cultures sous serres	0.0876	0.43816	11.92	0.43
Vigne de table	0.2206	1.32044	30	1.07
Céréales	8.4890	13.34409	1154.50	41.20

Dans la Mitidja, le prix des agrumes et les incertitudes liées au marché d'agrumes peuvent avoir un impact majeur concernant les choix d'assolement. Les irrigants peuvent ainsi être tentés de modifier leur assolement pour tenter d'augmenter leurs marges, le marché des fruits et légumes étant plus lucratif (mais aussi plus risqué) que celui des céréales. L'évolution des prix des produits influencent ainsi les choix technologiques. Certains irrigants peuvent différer leurs investissements en matière de technologie d'irrigation et attendre de connaître l'évo-

lution des perspectives du marché. D'autres agriculteurs, rassurés par le marché administré, et donc sécurisé, des céréales, peuvent au contraire s'équiper plus facilement.

Tableau 124. Evolution du prix de l'orange sur le marché du gros de 2010 à 2017

Obs.	Cam- pagne	Prix min. moy.(DA)	Prix max. moy. (DA)	Prix moyen (DA)	Prix moy. pé- riode (DA)	Moy	E-T	C.V.
121	2010/11	44,01	92,06	68,03	68,03	66,49	12,75	19,17
158	2011/12	50,57	100,60	75,59	68,03	75,59	11,97	15,84
150	2012/13	51,50	109,10	80,30	68,03	80,30	14,56	18,13
167	2013/14	52,25	93,05	72,65	68,03	72,65	15,58	21,44
168	2014/15	46,55	103,30	74,93	68,03	74,93	10,06	13,42
101	2015/16	107,03	180,20	143,61	68,03	143,61	32,70	22,77
865	2016/17	58,65	113,05	85,85	68,83	85,59	16,27	18,46

Source : Calcul à partir des données du marché de gros de fruits et légumes d'Attatba

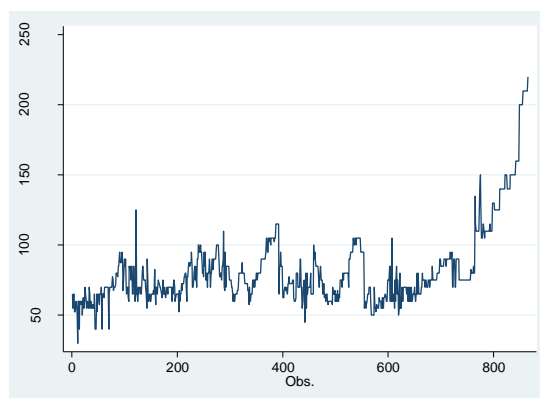


Figure 63. Evolution des prix courants moyens de l'orange, période Nov. 2010- Avril 2016

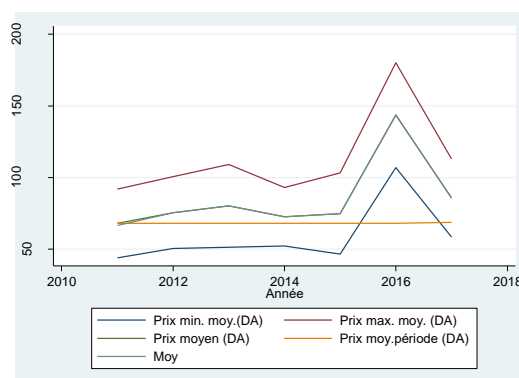


Figure 64. Evolution du prix de l'orange sur le marché du gros de 2011 à 2017

Le coefficient de variation (CV) est le rapport de l'écart-type à la moyenne. Plus la valeur du coefficient de variation est élevée, plus la dispersion autour de la moyenne est grande. Il est généralement exprimé en pourcentage. Sans unité, il permet la comparaison de distributions de valeurs dont les échelles de mesure ne sont pas comparables. Le CV est calculé pour sept

campagnes agricoles pour avoir une idée sur les variations des prix des agrumes sur le marché, nous remarquons dans le Tableau 124 que le coefficient de variation des prix est légèrement supérieur à 15% pour les périodes étudiées, ce qui indique que les prix des agrumes restent relativement volatiles. La fluctuation des prix pourrait rendre incertain l'amortissement des investissements lourds. Ce risque est encore plus difficile à supporter par les exploitants ayant des revenus faibles.

Nombreux sont les engrais importés consommés par l'agriculture en Algérie à savoir l'urée, les nitrates, les sulfates, les chlorures ainsi que toute la gamme des engrais foliaires utilisés. Parmi cette panoplie, le sulfate de potasse est considéré comme l'élément le plus utilisé quantitativement. Les besoins pour l'arboriculture et les cultures maraichères peuvent dépasser 300 kg/ha.

La figure 65 montre clairement que les prix de toutes types d'engrais (granulés) les plus utilisés dans les différentes cultures, le NPK 15-15-15, l'urée 46%, et le sulfate de potasse, ont connu une augmentation très importante entre 2010 et 2017. Cette augmentation est due essentiellement à l'augmentation des prix des engrais sur le marché mondial et la forte hausse de la demande sur ce même marché.

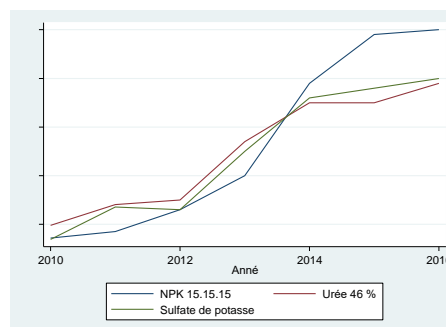


Figure 65. Évolution des prix de vente des fertilisants (2010-2017) en DA/quintal

Le soutien des prix à la production est entamé en 1988 corrélativement à la promulgation du décret n°88-153³⁰. D'une façon générale, le schéma de fonctionnement du secteur céréalier repose, depuis 2000, sur la politique des prix administrés mis en œuvre par les pouvoirs publics.

À la lecture du Tableau 125, relatif à la période 2000 à 2005, les prix garantis resteront stables pour les blés. Cette stabilité des prix à la production sur le marché intérieur a été dictée par la

³⁰ Cf. Décret N° 88-153 du 26 juillet fixant les prix et les modalités de paiement et les conditions de stimulation de la production des céréales et des légumes secs et réglementant les relations entre les différents opérateurs pour la période allant du 01/08/1988 au 31/09/1990.

tendance à la baisse des prix sur les marchés mondiaux, contrairement à ceux de l'orge et de l'avoine qui ont connu une légère augmentation à partir de 2003. Pour la période 2006/2008, on remarque une augmentation de près de 50% pour le prix des blés au niveau intérieur.

Tableau 125. Évolution des prix des céréales : prix à la production (y compris prime de la collecte) pour la période 1988/2014 (DA/Quintal).

Espèce	Blé dur	Blé tendre	Orge	Avoine
1988 /1989	320	330		
1989 /1990	500	410		
1992 - 1994	1.025	910	470	
1995 à 2002	1.900	1.700	1.000	1.100
2003/2005	1.900	1.700	1.400	1.500
2005/2006	2.000	1.800	1.500	1.600
2006/2007	2.100	1.950	1.500	1.600
2007/2008	4.500	3.500	2.500	1.600
2008/2014	4.500	3.500	2.500	

Source : OAIC (2018)

Outre le prix à la production garanti (particulièrement pour blé dur et blé tendre), la production bénéficie également de primes d'incitation payées par l'OAIC à travers le fonds de compensation. Ce prix à la production garanti devait inciter les producteurs à améliorer leurs rendements et à livrer la totalité de leur production à l'industrie via les coopératives céréalières (C.C.L.S). Les incitations par les prix ne sont pas perçues correctement par les agriculteurs, dont les décisions d'allocation des ressources restent sous-optimales, créant ainsi des barrières à l'adoption des innovations (Ellis, 1993).

On constate que le prix à la production exprimé en monnaie locale reste plus ou moins stable sur plus d'une décennie, en se stabilisant au niveau de 19.000 DA/tonne pour le blé dur et de 17.000 DA/tonne pour le blé tendre. Il est augmenté progressivement entre 2005 et 2007, et a été doublé entre 2007 et 2008, pour se maintenir au niveau des 45.000 DA/tonne pour le blé dur et 35.000 DA/tonne pour le blé tendre.

Au cours de l'année 2008, suite à la flambée des prix, le gouvernement algérien a fortement réévalué les prix à la production : le prix du blé tendre est passé de 19.500 DA la tonne en 2007 à 35.000 DA en 2008 et celui du blé dur de 21.000 DA en 2007 à 45.000 DA en 2008. Cette réévaluation visait à aider les agriculteurs à améliorer leurs revenus (étant donné la forte hausse des coûts de production), et à augmenter les incitations à produire dans un objectif de sécurité alimentaire du pays. Il semble clairement s'établir une chaîne des causalités entre la participation au marché et l'adoption de l'innovation.

Tableau 126. Effet du mode de commercialisation sur le comportement d'adoption

	Valeur	ddl	Sig. approx. (bilatérale)	Sig. exacte (bilatérale)	Sig. exacte (unilatérale)
khi-deux de Pearson	13,830 ^a	1	,000		
Correction pour continuité ^b	12,568	1	,000		
Rapport de vraisemblance	14,043	1	,000		
Test exact de Fisher				,000	,000
Association linéaire par linéaire	13,728	1	,000		
N d'observations valides	136				

a. 0 cellules (0,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de 27,29.

b. Calculée uniquement pour une table 2x2

Tableau 127. Corrélation entre le mode de commercialisation et l'adoption

Mesures symétriques	Valeur	Erreur standard asymptotique ^a	T ^b	Signification
Phi	-,319			,000
V de Cramer	,319			,000
Coefficient de contingence	,304			,000
R de Pearson	-,319	,081	-3,895	,000 ^c
N d'observations valides	-,319	,081	-3,895	,000 ^c

a. L'hypothèse nulle n'étant pas considérée.

b. Utilisation de l'erreur asymptotique standard en envisageant l'hypothèse nulle.

c. Basé sur une approximation normale.

2.4. Le contexte social : Le transfert d'information

De plus, le contexte social, notamment le transfert d'information, influence le taux d'adoption des technologies d'irrigation économes en eau (Dinar & Yaron, 1992). Lorsque le nombre d'irrigants ayant déjà adopté est faible, la décision d'adoption constitue une action innovante.

Dans ce cas, l'accès à l'information est généralement formel. Lorsque le nombre d'irrigants est déjà élevé, le transfert d'information est surtout dû au bouche à oreille répandu par les irrigants ayant déjà adopté (les innovateurs).

Les exploitants enquêtés demandent conseil dans leur majorité aux autres exploitants (Tableau 128). En effet, 72% des exploitants sollicitent d'autres exploitants à part 28% des exploitants qui sollicitent les fournisseurs d'intrants agricoles, les coopératives ou le service de vulgarisation pour tel ou tel conseil agricole dont ils ont pourtant tant besoin comme celui de s'informer sur les technologies d'irrigation plus efficaces à utiliser contre les différents problèmes de manque d'eau auxquels ils font face ou sur les doses d'engrais à appliquer à leurs cultures à l'aide de ces technologies. Lorsqu'ils envisagent d'adopter une technologie d'irrigation économe en eau, les exploitants peuvent obtenir des informations sur les avantages et les coûts de l'adoption auprès d'un certain nombre de sources pour les aider à prendre leur décision.

Tableau 128. Sources d'information selon l'adoption de TIEE

Sources	Adoptants	(%)	Non Adoptants	(%)	Total	
1. Autres exploitants	34	53,13	64	88,89	98	72,06
2. Fournisseurs d'intrants	16	25,00	0	0,00	16	11,76
3 Coopératives agricoles	10	15,63	0	0,00	10	7,35
4. Vulgarisation, Chambre, ONID	4	6,25	8	11,11	12	8,82
Total	64	100,00	72	100	136	100

D'après l'enquête : (i) 9% ont reçu des informations auprès des services de vulgarisation, chambre d'agriculture, ONID ; (ii) 72% d'autres exploitants ou d'associations d'agriculteurs ; (iii) 12% auprès des fournisseurs d'intrants et équipements agricoles et enfin (iv) 7% de coopératives agricoles. Dans le périmètre de la Mitidja Ouest Tr1, il y a un contraste concernant la source d'information sur les technologies d'irrigation économes en eau entre les adoptants et les non-adoptants (Tableau 128). Les adoptants actuels de la micro-irrigation l'ont initialement appris de diverses sources, notamment des autres agriculteurs, des fournisseurs d'équipements d'irrigation et des coopératives agricoles et des systèmes de vulgarisation publics, dans cet ordre d'importance. Les non-adoptants avaient un éventail relativement limité de sources d'information et une proportion importante d'entre eux ont entendu parler des technologies de micro-irrigation par d'autres agriculteurs, soit par la bouche à oreille, soit par l'observation sur le terrain.

Par ailleurs, en matière d'accompagnement, les conseillers agricoles et les organismes publics ne sont pas cités comme les acteurs institutionnels les plus présents ou comme les principales sources d'information en termes d'innovation agricole. Une autre différence réside dans le lien faible évoqué par les agriculteurs avec les institutions publiques, notamment les conseillers agricoles, considérés comme une source d'information peu fiable, alors que les producteurs privilégient les contacts interpersonnels et leurs propres réseaux, notamment entre agriculteurs et avec les agro-fournisseurs (72%) comme le meilleur moyen d'accéder à l'information et aux connaissances. Dans la région d'étude, la rareté des relations avec des organismes publics de conseil agricole et de recherche est un frein important à la diffusion des technologies d'irrigation économes en eau. La rareté de l'intervention des organismes publics en matière de vulgarisation dans la Mitidja malgré la proximité de nombreux instituts techniques (INSID, INRAA, ITGC, ITAFV, ...) au processus d'introduction technique pour les agriculteurs au niveau des exploitations peut être expliquée par le fait que les programmes de vulgarisation et de sensibilisation sont focalisés sur des méthodes de masse par le biais de journées techniques dans les chambres d'agriculture, la distribution de prospectus et des bro-

chures techniques aux agriculteurs, radios et spots télévisées, les messages téléphoniques comme le cas de l'ONID par exemple. Ces méthodes ont un impact limité. Ajoutant à cela, l'absence de coordination entre les institutions pour la diffusion des résultats de la recherche dans le milieu productif. Des rapports clairs ont été identifiés entre la source d'information et l'adoption. L'intensité de l'adoption pour ceux qui ont obtenu des informations auprès des fournisseurs d'intrants et équipement était également plus élevée, soit 25% contre 5,56% pour ceux qui ne l'ont pas fait. L'obtention d'informations auprès d'autres agriculteurs ou d'associations d'agriculteurs a également diminué l'adoption (53,13% contre 70,83%) de l'adoption.

L'influence de certains irrigants peut s'avérer déterminante et inciter d'autres irrigants à se comporter comme eux. De plus, il semble que plus l'accès à l'information est formel (conseils de la Chambre d'Agriculture), plus les irrigants adoptent vite (Yaron *et al.*, 1992). À contrario, plus l'accès à l'information est empirique (bouche à oreille), plus la diffusion est lente, et le processus d'imitation inhérent à la diffusion de chaque innovation peut être plus ou moins marqué selon les caractéristiques de la nouvelle technologie (Richefort, 2008).

Il existe également une relation positive entre l'adoption et la réception d'informations par les coopératives agricoles. Cependant, si l'information est fournie par les services de vulgarisation, le taux de l'adoption ne semble pas augmenter. En effet, les exploitants qui ont obtenu des informations des services de vulgarisation étaient bien moins susceptibles d'avoir démarré le processus d'adoption que ceux qui ont adopté et obtenu des informations de cette source (11,11% contre 6,25%). Comme le montre le Tableau 128, le processus d'adoption commence lorsque l'adoptant potentiel prend conscience de l'existence d'une technologie. La deuxième étape consiste en un processus d'acquisition d'informations par lequel l'adoptant potentiel apprend à connaître les attributs de la technologie et développe et construit ses perceptions (positives ou négatives) de la technologie. Cette phase détermine si le producteur a entendu parler de la nouvelle technologie d'irrigation ou non, des attributs d'une technologie. La troisième étape consiste en un essai ou une expérimentation par l'adoptant potentiel avant d'adopter la technologie. En fonction des avantages perçus de la technologie, l'individu passe à la quatrième étape, celle de l'adoption effective de la technologie. Une fois la technologie adoptée, l'adoptant peut décider de continuer à l'utiliser ou de l'abandonner en fonction de son expérience et des avantages qu'il en retire.

On soulignera la rareté des visites des agents communaux de vulgarisation (ACV). En effet, parmi les exploitations enquêtées, seulement près de 9% ont reçu leur visite. La tendance des services de vulgarisation se limite à travailler avec un nombre restreint d'exploitants agricoles

est lié aux contraintes auxquelles sont soumis les ACV. Les raisons le plus souvent invoquées par ces derniers pour justifier cette situation, sont qu'ils ne disposent ni de moyens de transport, ni des équipements nécessaires pour la réalisation des différentes démonstrations sur le terrain et encore moins de temps à cause de la surcharge en travail administratif.

L'effet bivarié de source d'information sur l'adoption des TIEE

On observe, dans le Tableau 129, un degré de signification du test (0.000) inférieur au seuil de signification (0.05). On peut donc conclure que l'hypothèse selon laquelle les exploitants agricoles qui obtiennent l'information et conseils sont adoptants n'est pas le même que celui des exploitations qui ne le sont pas (non adoptants) est vérifiée. Par conséquent, les sources d'information ont un impact significatif sur l'adoption des technologies d'irrigation économes en eau.

Il est pertinent de souligner une opinion majeure de l'ensemble des exploitants, l'insuffisance d'encadrement agricole dans le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1. Les exploitants agricoles enquêtés ont tous signalé que leur accès aux institutions de vulgarisation demeure très limité. Les résultats de l'enquête montrent que peu de producteurs ont véritablement de contact avec une structure d'encadrement, ou encore bénéficié des services agricoles auprès des vulgarisateurs des agences communales de vulgarisation. En effet, les services publics de vulgarisation et d'assistance technique touchent peu d'exploitants et sont généralement peu adaptés aux besoins des exploitants.

Tableau 129. Effet de la source d'information sur comportement d'adoption des TIEE

	Valeur	ddl	Sig. approx. (bilatérale)	Sig. exacte (bilatérale)	Sig. exacte (unilatérale)
khi-deux de Pearson	21,524 ^a	1	,000		
Correction pour continuité ^b	19,785	1	,000		
Rapport de vraisemblance	22,427	1	,000		
Test exact de Fisher				,000	,000
Association linéaire par linéaire	21,366	1	,000		
N d'observations valides	136				

a. 0 cellules (0,0%) ont un effectif théorique inférieur à 5. L'effectif théorique minimum est de 17,88.

b. Calculée uniquement pour une table 2x2

Tableau 130. Corrélation entre sources d'information et l'adoption de TIEE

Mesures symétriques	Valeur	Erreur standard asymptotique ^a	T ^b	Signification
Phi	,398			,000
V de Cramer	,398			,000
Coefficient de contingence	,370			,000
R de Pearson	,398	,075	5,020	,000 ^c
Corrélation de Spearman	,398	,075	5,020	,000 ^c
N d'observations valides	136			

a. L'hypothèse nulle n'étant pas considérée.

b. Utilisation de l'erreur asymptotique standard en envisageant l'hypothèse nulle.

c. Basé sur une approximation normale.

3. Conclusion

L'examen des résultats de la répartition des agriculteurs enquêtées suivant les caractéristiques socio-économiques des exploitants agricoles enquêtés dans le périmètre indiquent que l'âge des agriculteurs varie de 39 à 78 ans, avec la moyenne d'âge se situant autour de 62 ans. La différence entre les âges des exploitants agricoles est significative en termes d'adoption des TIEE. En effet, les agriculteurs les plus âgés pratiquent moins l'irrigation moderne, que les jeunes. Ces derniers consacrent des efforts acharnés pour innover, ce qui permet d'accélérer le processus de modernisation et d'accroître la production et donc les revenus. Concernant le niveau d'éducation, plus de la moitié des agriculteurs (54.41 %) n'ont jamais été à l'école, et environ 45.60 % d'entre eux par contre ont reçu une éducation de type formel se limitant au niveau de l'enseignement primaire, moyen et secondaire et seulement 4.41 % ont réalisé des études supérieures. L'absence d'éducation formelle des producteurs génère un taux élevé d'analphabétisme et une faible capacité à participer à la modernisation des systèmes d'irrigation du périmètre irrigué. En outre, l'accès au crédit agricole est très peu développé. Les résultats dégagés dans le portrait ont montré également que le financement de l'activité agricole provient nécessairement de financement informel. Pour les caractéristiques liées à l'exploitation agricole, les résultats de l'analyse descriptive ont montré que les agriculteurs enquêtés pratiquent généralement plusieurs cultures, et emploient tous une force de travail constituée de la main-d'œuvre salariale, particulièrement lors de la taille et la période de la récolte. En matière d'irrigation il y a deux sources principales d'irrigation dans la région d'étude, les forages, et l'eau publique. Les deux sources sont subventionnées, la première par la subvention de l'électricité et la seconde par des tarifs d'eau très bas, ce qui encourageraient probablement les agriculteurs de gaspiller l'eau plutôt que d'investir dans le goutte à goutte. La vente se fait généralement soit sur le marché, soit en étant cédée aux intermédiaires ou la

vente à terme. Par ailleurs, l'accès aux équipements agricoles reste très limité. Autrement dit, les systèmes de production des exploitants se caractérisent par l'absence d'accumulation de capital et d'innovation agricole. Le faible taux d'équipement en matériels et parfois en approvisionnement en intrants est dû au manque de ressources financières. De même, les intrants agricoles restent généralement trop chers ou faiblement adoptés en termes de quantité par ces exploitations. Il se dégage, entre autres, que le mode de faire valoir dominant dans notre échantillon est le mode de faire valoir indirect étant donné que 58 % des exploitants enquêtés sont locataires. En somme, les agriculteurs évoquent les nombreuses difficultés auxquelles ils font face : le manque de vulgarisation et de soutien technique et financier de l'État et des administrations locales, le manque de moyens pour acheter des intrants, les problèmes fonciers, l'accès limité aux crédits agricoles, la mauvaise qualité des services de l'ONID concernant la distribution de l'eau. Toutes ces contraintes compromettent la modernisation des systèmes d'irrigation dans le périmètre et chacune d'entre elles nécessite une action adéquate à l'amélioration du secteur agricole dans la zone. Les analyses univariées et bivariées des données ont apporté un éclairage intéressant à l'analyse de l'échantillon en général et ont mis en évidence des asymétries en terme d'adoption des TIEE entre les exploitants, mais elles ne peuvent refléter qu'une interprétation limitée de l'adoption des TIEE par les exploitants agricoles, d'où l'intérêt de l'étude des déterminants de l'adoption. Ayant terminé ce chapitre, le prélude à la compréhension de nos résultats, nous procédons dans le chapitre suivant à la présentation et à l'analyse des résultats empirique proprement dits. Ainsi, nous spécifierons et nous estimerons, et moyennant une approche économétrique, les modèles explicatifs de l'adoption technique mettant en relation les variables dépendantes qui renvoient à l'adoption, taux d'équipement et enfin à la superficie totale équipée en économie de l'eau et les variables indépendantes retenues dans le cadre opératoire.

CHAPITRE 6 : ÉTUDE ÉCONOMÉTRIQUE DES DÉTERMINANTS DE L'ADOPTION DES TECHNOLOGIES D'IRRIGATION DANS LA MITIDJA

L'objectif de ce chapitre est d'analyser l'adoption et les niveaux d'utilisation des différentes techniques d'irrigation par les exploitations agricoles et d'identifier quels sont les facteurs susceptibles d'influencer les choix de technique d'irrigation de ces exploitations agricoles. Ce chapitre présente, analyse et interprète les résultats empiriques issus des analyses statistiques et des estimations économétriques de l'adoption des techniques d'irrigation.

Le changement technologique dans le secteur de l'irrigation constitue un problème fondamental dans l'économie agricole en Algérie. Les nouvelles technologies peuvent améliorer la productivité des facteurs de production et les rendements des cultures. Les technologies d'irrigation sont un bon exemple de ce principe puisque leur adoption et diffusion permettent de limiter le gaspillage de la ressource en eau, de préserver l'environnement et d'augmenter la production agricole.

L'objectif serait donc de rechercher les conditions d'amélioration de l'adoption de l'utilisation de la TIEE dans le périmètre irrigué de la Mitidja-Ouest Tranche I, dans le but d'accroître la productivité agricole et d'économiser l'eau d'irrigation.

Un des objectifs de notre travail est de préciser le comportement des producteurs face à la technologie d'économie d'eau en identifiant les déterminants principaux de l'adoption qui influencent son adoption, sous la forme d'une probabilité. Pour atteindre cet objectif, on va chercher à *(i)* modéliser le comportement des agents microéconomiques afin d'expliquer l'adoption des TIEE et *(ii)* définir les variables explicatives qui interviennent dans l'adoption.

Dans ce chapitre, nous avons tenté d'appliquer des modèles économétriques permettant d'identifier les facteurs explicatifs de l'adoption des technologies modernes d'irrigation dans le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1. Pour cela, une panoplie de modèles économétriques qui s'intègrent sous le volet des modèles partiellement observés, appelés aussi modèles à variables discrètes, sera appliquée à un échantillon d'exploitations qui répond largement à la problématique posée.

1. Les résultats d'évaluation des modèles estimés

Il est tout à fait évident que l'étude de l'adoption de l'irrigation nous suggère une présentation descriptive quant à l'utilisation des équipements d'économie d'eau dans l'échantillon sélectionné. Parmi les 136 agriculteurs interrogés, seuls 64 utilisent les TIEE, ce qui représente environ 47%. En effet, dans de telles études de choix, il est préférable que les réponses favorables et défavorables à un critère donné soient dans les proportions de 50%, mais cela n'affecte que l'affinité des résultats et n'intervient guère dans la signification globale des variables estimées dans les résultats de la modélisation.

Face aux difficultés de financement qui peuvent engendrer une réticence de l'agriculteur vis-à-vis de l'adoption des technologies d'irrigation, les pouvoirs publics ont mis au point une politique d'incitation à l'investissement ; il s'agit d'une intervention par un ensemble de mesures économiques permettant de réduire les coûts des investissements à réaliser. La mesure la plus importante utilisée dans ce cadre d'incitation est la subvention des investissements consentis par les agriculteurs. Le taux de subvention actuelle, instaurée depuis octobre 2014, peut aller jusqu'à 60 % du montant global de l'investissement en équipement d'économie d'eau. Cependant, des contraintes peuvent limiter l'accès à cette subvention, comme la tenure foncière, les apports propres à mobiliser en capitaux financiers. Dans l'échantillon sélectionné, 22.05% des adoptants de la TIEE ont bénéficié de la subvention.

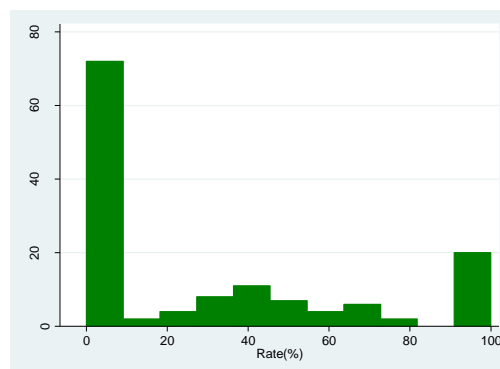


Figure 66. Taux d'adoption des technologies d'irrigation économes en eau dans les exploitations agricoles

La figure 66 montre les fréquences du taux d'adoption (Taux en %), étant une variable censurée, elle présente le pourcentage de la superficie en TIEE, ayant une moyenne de 29,1% c'est-à-dire que les exploitants utilisent en moyenne 29,1% de leur superficie exploitée pour l'irrigation par une TIEE. Toutefois, ce taux peut atteindre 100 % dans certaines exploitations agricoles pour notre échantillon.

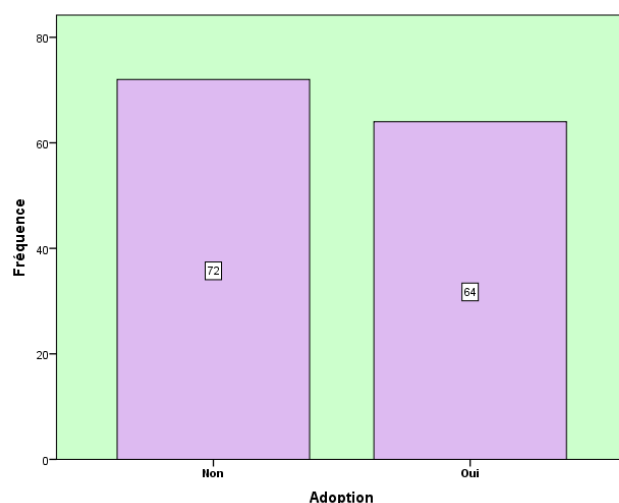


Figure 67. Adoption des technologies d'irrigation économes en eau, N = 136.

La figure 67 confirme l'une des principales hypothèses d'application de la régression logistique qui est la structure appropriée de la variable dépendante c'est-à-dire la régression logistique binaire exige que la variable dépendante soit binaire.

Tableau 131. Statut des exploitants selon l'adoption de TIEE

<i>Variables</i>	<i>Adoptants</i>	<i>Non-adoptants</i>
Nombre d'exploitants (%)	64 (47%)	72 (53%)
Surface du TIEE en pourcentage	61.87%	0
Surface moyenne du TIEE en ha	7 ha	0
Taille de l'exploitation (moyenne)	19.35 hectares	21.55 hectares
Main-d'œuvre par exploitation	9.67	10.45
Superficie des terres par travailleur	2.02	2.06
Pourcentage d'agriculteurs ayant accédé à un crédit	53.12 %	4.16 %
Pourcentage d'agriculteurs ayant déclaré que le coût de l'investissement est une raison pour ne pas investir ou équiper toute la surface de l'exploitation sous TIEE	29.68 %	63.88 %
Âge (moyenne)	55 années	69 années
Niveau d'éducation (médiane)	2 i.e. école Inter-médiaire	0 i.e. Analphabète
Pourcentage d'agriculteurs membres d'organisations agricoles par rapport au nombre total d'agriculteurs de ce groupe.	17.18%	6.94%
Pourcentage d'agriculteurs par sources d'information sur le nombre total d'agriculteurs de ce groupe.	46.90 % i.e des services de vulgarisation	88.90 % i.e. auprès d'autres agriculteurs
Pourcentage d'agriculteurs qui ont obtenu une subvention par rapport au nombre total d'agriculteurs de ce groupe.	46.8 %	19.45 %
Nombre total de forages de ce groupe	78	79

Tableau 132. Statistiques descriptives des variables explicatives utilisées selon le l'adoption

<i>Variables</i>	<i>Adoption</i>	<i>Non adoption</i>	<i>Test statistique</i>
Taille de l'exploitation (écart-type)	19,351(15,56)	21,55 (12,92)	-1.581 (0.114)*
Diversification de l'exploitation (écart-type)	0,038 (0,086)	0,042(0,065)	-1.746 (0.081)***
Main œuvre agricole (écart-type)	9,67 (4.00)	10,60 (2,99)	-1.808*** (0.071)
Accès au crédit (% de oui)	25	0.022	41,008*** (0.00)
Coût de l'investissement élevé (% de Oui)	25.00	69.44	15,884*** (0.00)
Âge des exploitants (écart-type)	54,97 (8,006)	68,86 (6,685)	-8.284*** (0.000)
Education formelle (% de Oui)	47.05	52.95	128,189*** (0.000)
Sources d'information (% de Oui)	27.90	72.10	21,524*** (0.00)
Appartenance à une coopérative ou association (% de oui)	8.90	3.68	3,425 N.S (0.064)
Subventions publiques (% de Oui)	22	10.29	11,649 ** (0.01)
Ratio de forage/Superficie	0.09 (0.072)	0.08 (0.083)	-1.432 (0.152)*

*Le test Khi-deux de Pearson a été utilisé pour les variables en (%) et le test de Mann-Whitney est présenté pour les variables quantitatives. *** significatif au seuil de 1% ($p < 0,01$) ; ** significatif au seuil de 5% ($p < 0,05$) ; * significatif au seuil de 10% ($p < 0,10$). N.S : Non significatif*

La régression logistique exige que les observations soient indépendantes les unes des autres. En d'autres termes, les observations ne doivent pas provenir de mesures répétées . Le Tableau 133 confirme cette condition d'application.

Tableau 133. Résultats de la vérification de l'indépendance des erreurs

	Corrélation entre les valeurs prédites et les résidus standardisés	
Types de technologies	Coefficient de corrélation de Pearson	P-value
Adoption TIEE	-0.004	0.960

Absence de multicollinéarité entre les variables explicatives

Dans le but de tester l'existence de la multi-colinéarité, les variables explicatives continues et discrètes ont été vérifiées à l'aide d'un facteur d'inflation de la variance (VIF). Si le plus grand VIF est supérieur à 10 (ou si la tolérance est inférieure à 0,1), cela indique un sérieux problème de multicollinéarité (Bowerman & O'Connell, 1990). Pour le cas de notre étude, les résultats des tests de tolérance et de VIF (Tableau 134) indiquent que la plus petite valeur observée pour la tolérance est 0,131 et la plus grande valeur pour le VIF est 7,62. De plus, les résultats de la matrice de corrélation ont montré qu'il n'y avait pas de problème de forte association entre les variables explicatives sélectionnées (Tableau 135). Les données ne présentent pas de problème sérieux de multi-colinéarité d'après les résultats des tests.

Tableau 134. Résultats de diagnostic de la multicollinéarité entre les variables explicatives

Variabes	Variance Inflation Factor (VIF)	Tolérance
Taille de l'exploitation	7.62	0.131
Diversification de l'exploitation	4.50	0.222
Main oeuvre agricole	2.30	0.434
Accès au crédit	1.90	0.526
Investissement	1.41	0.710
Âge des agriculteurs	2.03	0.491
Niveau d'éducation	2.11	0.474
Sources d'information	2.24	0.446
Adhésion à une organisation	1.30	0.770
Subventions publiques	1.73	0.578
Ratio forage/Superficie	1.56	0.642

L'examen des matrices de corrélation de Pearson et de Tau-B de Kendall montre qu'aucune corrélation critique n'est relevée entre les variables indépendantes continues et discrètes (Tableau 135 et 136). L'examen des matrices de corrélation montre qu'aucune corrélation critique n'est relevée entre les variables indépendantes continues et qualitatives. En effet, tous les coefficients de corrélation sont significativement inférieurs à 0,8 (Tableau 136), ce qui correspond à la limite proposée par Kennedy (2008) et à partir de laquelle on commence habituellement à avoir de sérieux problèmes de multicollinéarité dans les modèles de régression.

Tableau 135. Matrice de corrélation des variables explicatives

Variabes	<i>INVEST</i>	<i>CREDIT</i>	<i>EDUC</i>	<i>OPA</i>	<i>INFO</i>	<i>SUBV</i>
<i>INVEST</i>	1.0000					
<i>CREDIT</i>	-0.3203	1.0000				
<i>EDUC</i>	-0.4431	0.5086	1.0000			
<i>OPA</i>	-0.2123	0.3922	0.2366	1.0000		
<i>INFO</i>	-0.3006	0.5399	0.4779	0.1286	1.0000	
<i>SUBV</i>	-0.2841	0.4249	0.3909	0.0890	0.6202	1.0000

Tableau 136. Matrice de multicollinéarité

	<i>SIZE</i>	<i>DIVERS</i>	<i>WORK</i>	<i>CREDIT</i>	<i>INVEST</i>	<i>AGE</i>	<i>EDUC</i>	<i>OPA</i>	<i>INFO</i>	<i>SUBV</i>	<i>FORAG</i>
<i>SIZE</i>	1.000										
<i>DIVERS</i>	0.851	1.000									
<i>WORK</i>	0.707	0.490	1.000								
<i>CREDIT</i>	-0.159	-0.103	-0.174	1.000							
<i>INVEST</i>	0.138	0.171	0.149	-0.278	1.000						
<i>AGE</i>	0.221	0.156	0.286	-0.450	0.365	1.000					
<i>EDUC</i>	-0.193	-0.147	-0.253	0.508	-0.499	-0.618	1.000				
<i>OPA</i>	0.006	0.009	-0.016	0.392	-0.207	-0.109	0.236	1.000			
<i>INFO</i>	-0.252	-0.158	-0.267	0.539	-0.258	-0.577	0.477	0.128	1.000		
<i>SUBV</i>	-0.236	-0.157	-0.251	0.424	-0.211	-0.455	0.390	0.089	0.620	1.000	
<i>FORAG</i>	-0.469	-0.270	-0.361	0.094	0.074	-0.113	0.045	-0.170	0.040	0.015	1.000

Nous avons également vérifié la normalité des cinq variables indépendantes continues (indice ou ratio) avec l'analyse graphique Q-Q plot. Pour cinq de ces dix variables, en l'occurrence l'âge des agriculteurs, la main d'œuvre, la taille de l'exploitation, la diversification au sein de l'exploitation agricole, le ration forage sur la surface, nous avons utilisé la transformation logarithmique pour améliorer la normalité. Les résultats de cette analyse graphique font l'objet de la Figure 68. Le graphique Q-Q plot (quantile-quantile plot) ou Droite de Henry est un graphique "nuage de points" qui vise à confronter les quantiles de la distribution empirique et les quantiles d'une distribution théorique normale, de moyenne et d'écart type estimés sur les valeurs observées. Si la distribution est compatible avec la loi normale, les points forment une droite. Nous obtenons un graphique nuage de points, la droite de référence est matérialisée par la diagonale principale (Figure 68). Nous constatons que les points ne sont pas parfaitement alignés. Nous observons un écartement significatif, certains points semblent se démarquer des autres. Le Tableau 137 montre que les variables ne suivent pas la loi normale. Du coup, l'analyse de régression linéaire multiple ne peut être utilisée.

Tableau 137 : Tests de normalité des variables explicatives continues

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.	Statistiques	ddl	Sig.
SAU	,098	136	,003	,882	136	,000
AGE	,099	136	,002	,963	136	,001
FORAG	,156	136	,000	,803	136	,000
DIVERS	,291	136	,000	,475	136	,000
WORK	,089	136	,010	,970	136	,004

a. Correction de signification de Lilliefors

L'analyse de régression logistique³¹, contrairement à l'analyse discriminante et à l'analyse de régression multiple, ne nécessite pas la satisfaction d'hypothèses concernant la distribution des variables indépendantes. En d'autres termes, des hypothèses telles que la distribution normale des variables indépendantes, la linéarité et l'égalité de la matrice de variance-covariance ne sont pas nécessairement des conditions à satisfaire. Par conséquent, on pourrait suggérer que l'analyse de régression logistique est beaucoup plus flexible que les deux autres techniques.

³¹ La régression logistique est similaire à la fois à la régression multiple et à l'analyse discriminante. L'analyse de régression linéaire simple et multiple est utilisée pour analyser la corrélation mathématique entre les variables dépendantes (prédites ou critères) et la ou les variables indépendantes (prédictives ou explicatives). Dans l'ensemble de données où ces méthodes peuvent être utilisées, il est essentiel que la variable dépendante suit une distribution normale, ainsi que les variables indépendantes soient constituées d'une ou plusieurs variables qui suivent une distribution normale et que la variance des termes d'erreur également suivent une distribution normale. Dans aucune de ces circonstances, l'analyse de régression linéaire simple ou multiple ne peut être utilisée.

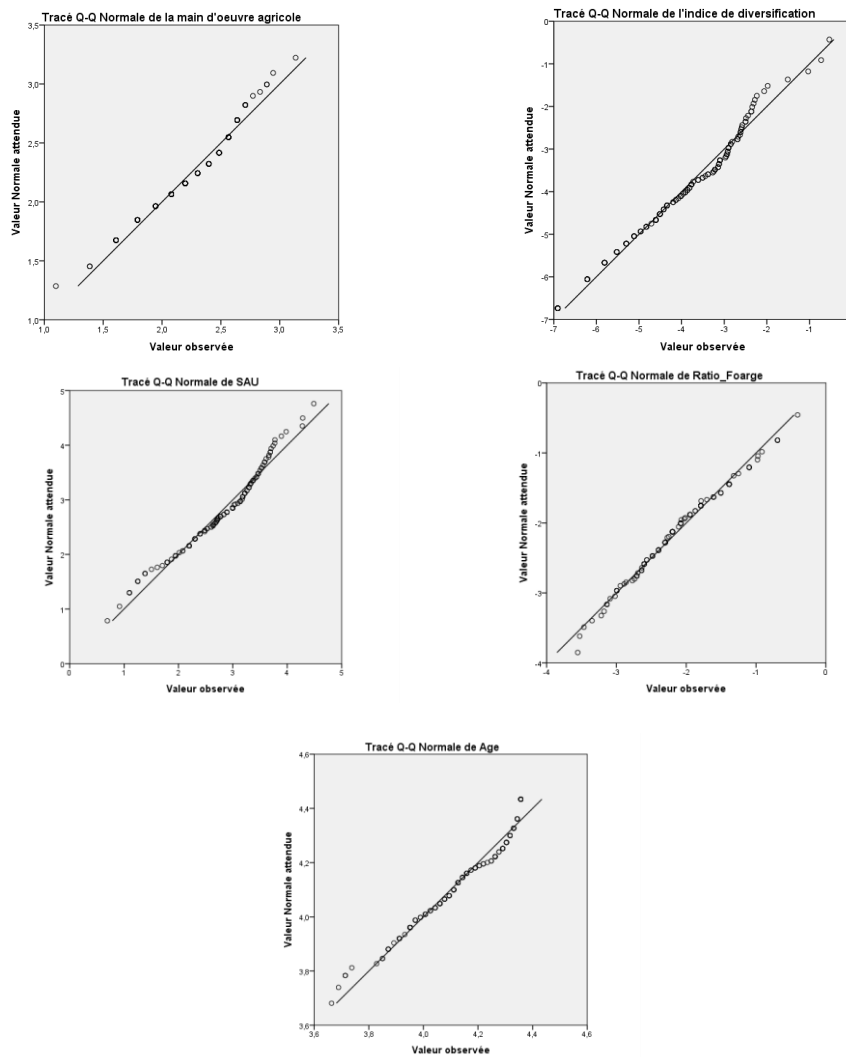


Figure 68. Analyse graphique de la normalité de variables indépendantes continues (Q-Q plot)

Dans cette section, nous avons évalué l'indépendance des erreurs, la multi-colinéarité des variables indépendantes et la normalité des variables indépendantes continues. Ces postulats étant globalement vérifiés, nous allons procéder maintenant à l'interprétation des résultats issus de l'estimation des modèles explicatifs de l'adoption des technologies plus efficaces à la section suivante.

La matrice de confusion nous donne des précisions sur l'efficacité de notre modèle. Elle compare les valeurs observées de la variable expliquée avec celles qui sont prédites, puis comptabilise les bonnes et les mauvaises prédictions. Par exemple, si nous prenons les producteurs indépendants, la matrice de confusion nous indique le nombre de producteurs indépendants que le modèle a bien considéré comme tels. Les résultats sont inscrits sur la diagonale du tableau 138. L'intérêt de la matrice de confusion est qu'elle permet d'appréhender la quantité de l'erreur (le taux d'erreur) faite par le modèle.

Tableau 138. Matrice de confusion de la variable dépendante

De \ vers	Prévisions ^a			
	Non adoption	Adoption	Total	Pourcentage correct (%)
Non adoption	63	9	72	87.5
Adoption	6	58	64	90.6
Total	69	67	136	89

a. La valeur de coupe est 0,500

Dans le tableau 138 le nombre de bonnes prédictions se trouve dans la diagonale (63+58), soit un taux de $121/136 = 88.970\%$. Les probabilités estimées sont ramenées à 1 si elles sont supérieures ou égales au seuil de 0.50 et à 0 sinon. D'après le tableau 138, sur 72 exploitants non adoptants et 64 exploitants adoptants, les erreurs de prédiction ont été faites seulement sur 9 non adoptants et 6 adoptants. Notre modèle prédit correctement le statut des exploitants agricole à hauteur de plus de 88 %. En effet, les résultats ont montré que le modèle prédit correctement la situation d'adoption des TIEE des exploitations agricoles dans 89 % des cas.

Tableau 139. Test d'ajustement de Hosmer-Leshmshow du modèle Logit

Nombre d'observations	136
Nombre de covariate patterns	136
Pearson chi2(125)	137.68
Prob > chi2	0.2067

Tableau 140. Goodness-of-fit test of Logistic model for *ADOPT* (Table collapsed on quantiles of estimated probabilities)

Group	Prob	Obs_1	Exp_1	Obs_0	Exp_0	Total
1	0.0024	0	0.0	14	14.0	14
2	0.0200	0	0.1	14	13.9	14
3	0.0553	1	0.5	12	12.5	13
4	0.1343	0	1.4	14	12.6	14
5	0.4075	5	3.0	8	10.0	13
6	0.7082	7	8.2	7	5.8	14
7	0.8950	11	11.5	3	2.5	14
8	0.9838	13	12.4	0	0.6	13
9	0.9986	14	13.9	0	0.1	14
10	1.0000	13	13.0	0	0.0	13

Nombre d'observations = 136

Nombre de groupes = 10

Hosmer-Lemeshow chi2(8) = 5.31

Prob > chi2 = 0.7238

Avec l'option table, le test de Hosmer-Lemeshow affiche les groupes réalisés avec le nombre d'observations estimées et observées à 1 ou 0 dans chacun d'eux. Sur la base de la statistique

de test du $\chi^2(8)$ calculé, on rejette ici l'hypothèse d'un mauvais ajustement. En effet, on accepte $H_0 = \{ \text{Nombre observé} = \text{nombre prédit} \}$. Avec une p-value de 0,72, nous pouvons dire que le test de qualité d'ajustement de Hosmer et Lemeshow indique que notre modèle s'ajuste bien aux données.

Une autre représentation intéressante, qui illustre la bonne qualité des performances du modèle, est la courbe ROC (*Receiver Operating Characteristic*). Ces courbes représentent la proportion de vrais positifs en fonction de la proportion de faux positifs lorsque le seuil varie. Plus la courbe s'éloigne de la ligne diagonale, mieux c'est. En d'autres termes, plus la surface estimée sous la courbe (AUC : *Area Under the Curve*) est proche de 1 et meilleure est la qualité du score ; plus la surface est proche de $\frac{1}{2}$ (aire minimale), pire est la qualité du score.

On voit dans la figure 69 que la courbe de ROC a visuellement une bonne allure, témoignée par l'aire sous la courbe. On utilisera la courbe ROC comme indicateur de la capacité du modèle à discriminer. Dans le graphique ci-dessous, la surface sous la courbe est de 0,96% ce qui nous permet de dire que la discrimination est exceptionnelle. Plus le tracé est courbé vers le coin en haut à gauche du graphique, meilleure est la prédiction. Un modèle sans pouvoir de prédiction aurait une courbe tracée à 45° qui se confondrait alors avec la diagonale sur le graphique.

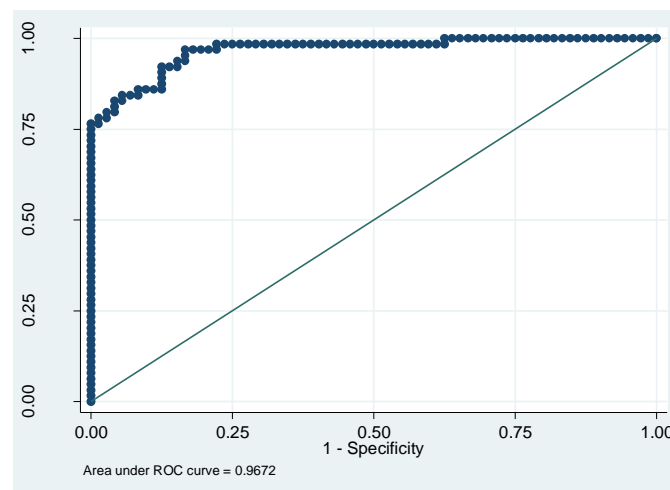


Figure 69. Courbe d'évaluation de la qualité prédictive du modèle

La courbe ROC se construit de manière empirique en calculant la sensibilité puis la spécificité d'un test pour différents niveaux de seuils de discrimination. L'aire sous la courbe ROC est un estimateur de l'efficacité globale du test ; si le test n'est pas informatif, l'aire est de $\frac{1}{2}$; si le test est parfaitement discriminant, l'aire sera de 1. Nous pouvons nous donner une règle

plus précise pour apprécier cet ajustement. La plus courante est de considérer le découpage suivant (Long et Freese, 2006) :

Tableau 141. Evaluation du pouvoir discriminant d'un modèle

Aire sous ROC	Appréciation de l'ajustement
0.90-1.00	Excellente discrimination
0.80-0.90	Bonne discrimination
0.70-0.80	Faible discrimination
0.60-0.70	Très faible Discrimination
0.50-0.60	Mauvaise discrimination

Source : Long & Freese (2006)

Graphiquement, plus la courbe s'écarte de la bissectrice, meilleure est la discrimination et donc meilleur est le modèle. Dans notre cas, nous avons une excellente discrimination (Area Under ROC Curve = 0.96).

2. Analyse des modèles empiriques estimés

2.1. Résultats et discussion des modèles économétriques

Les résultats de l'estimation des déterminants de l'adoption du TIEE par les modèles Logit et Tobit sont présentés dans le Tableau 142, tandis que les résultats de la régression Binomial Négatif et Poisson sont présentés dans le Tableau 143. L'utilisation des NB est faite juste à titre de comparaison. La première colonne concerne les variables explicatives. Les résultats des régressions sont affichés dans les autres colonnes. La statistique du test du χ^2 était significative au niveau de 1% pour les quatre modèles, ce qui implique une signification conjointe des variables. Les valeurs des différents coefficients de corrélation ont des valeurs relativement élevées pour une analyse multivariée axée sur l'analyse de données transversales. Notamment, plusieurs des 10 variables explicatives sélectionnées étaient statistiquement significatives dans les différents modèles. Par conséquent, les modèles obtenus sont efficaces et expliquent de manière appropriée le phénomène d'adoption des TIEE par les agriculteurs.

Les résultats des tableaux 142 et 143 montrent que les variables explicatives sont pertinentes pour expliquer la décision d'adoption (log-vraisemblance³² et la corrélation). Le R^2 de McFadden calculé³³ égal à 0.67 est conforme aux valeurs trouvées dans la littérature. Enfin, le

³² LR chi2(df) s'agit de la statistique de test indiquant que tous les coefficients de régression du modèle sont simultanément égaux à zéro. Likelihood-ratio test of alpha=0: Test du rapport de vraisemblance de alpha=0 - Il s'agit du test chi carré du rapport de vraisemblance selon lequel le paramètre de dispersion alpha est égal à zéro. La statistique de test du modèle binomial négatif est de 154.39 avec une valeur p associée de <0.0001. La statistique de test élevée suggère que la variable de réponse est trop dispersée et n'est pas suffisamment décrite par la distribution de poisson plus simple. Log Likelihood - Il s'agit du log de la vraisemblance du modèle ajusté. Elle est utilisée dans le calcul du test chi-deux du rapport de vraisemblance (LR) pour déterminer si tous les coefficients de régression des variables prédictives sont simultanément nuls

³³ Pseudo R^2 - Il s'agit du pseudo R^2 de McFadden. Il est calculé comme suit : $1 - \ln(\text{modèle})/\ln(\text{null})$ La régression binomiale négative n'a pas d'équivalent à la mesure R^2 que l'on trouve dans la régression MCO ; cependant, de nombreuses personnes ont tenté d'en créer un. Étant donné que cette statistique ne signifie pas ce que le carré R signifie dans la régression MCO (la proportion de la variance de la variable de réponse expliquée par les prédictives), nous suggérons d'interpréter cette statistique avec prudence.

modèle Logit prédit correctement le choix de technologie d'irrigation de 121 agriculteurs sur 136, soit un pourcentage de prédictions correctes égal à 88,9%. Les valeurs de ces indicateurs sont des résultats raisonnables au regard de la taille de l'échantillon (un coefficient de R² ajusté de 0,47) et compte tenu du fait que l'analyse porte sur des données en coupe transversale. Par ailleurs, le modèle de Tobit montre aussi un niveau élevé de signification globale à travers un pseudo-R² de 0.44, ce qui est assez satisfaisant. En effet, le Khi-Deux (χ^2) du modèle est égal à 118.21 et est significatif à 1%.

Tableau 142. Résultats de l'estimation des régressions du Logit et Tobit pour les facteurs déterminants de choix et du taux de l'adoption des TIEE dans la Mitidja Ouest Tr1

Variables explicatives	Modèle Logit		Modèle Tobit	
	Coef.	M.E.	Coef.	M.E.
<i>Cons.</i>	22.602 (4.01) ***	---	3.918 (6.12) ***	---
<i>SIZE</i>	-0.042 (-0.62)	-0.010 (-0.62)	-0.006 (-0.05)	-0.006 (-0.05)
<i>DIVERS</i>	12.79 (1.51)	3.164 (1.50)	-0.111 (-0.05)	-0.111 (-0.05)
<i>WORK</i>	-0.013 (-0.10)	0.003 (0.1)	-0.023 (-0.92)	-0.023 (-0.92)
<i>CREDIT</i>	5.643 (3.77) ***	0.831 (10.39) ***	0.587 (3.41) ***	0.587 (3.41) ***
<i>INVEST</i>	-2.485 (-3.16) ***	-0.544 (-4.07) ***	-0.365 (-2.73) ***	-0.365 (-2.73) ***
<i>AGE</i>	-0.345 (-4.17) ***	-0.085 (-4.22) ***	-0.055 (-5.85) ***	-0.055 (-5.85) ***
<i>INFO</i>	-2.519 (-1.71) *	-0.504 (-2.55) *	-0.071 (-0.38)	-0.071 (-0.38)
<i>OPA</i>	-2.292 (-1.63)	-0.417 (-2.53)	-0.104 (-0.49)	-0.104 (-0.49)
<i>SUBV</i>	-0.906 (-0.90)	-0.215 (-0.95)	-0.188 (-1.19) *	-0.188 (-1.19) *
<i>FORAG</i>	-2.27 (-0.43) ***	0.562 (0.43) ***	-1.747 (-1.67) *	1.747 (1.67) *
Number of obs.	136		136	
Pseudo-R ²	0.6674		0.449	
Adjusted R ²	0.474		/	
Log vraisemblance	-38.40		-72.52	
LR chi ² (df)	125.52 ***		118.21 ***	
Aire ROC	0.96		/	
Cas correct. prédits	89.00%		/	

Note : Les valeurs entre parenthèses représentent le t-ratio pour les estimations des coefficients M.E. et Logit, le t-ratio pour les estimations des coefficients Tobit.

*** significatif au seuil de 1% (p<0,01) ; ** significatif au seuil de 5% (p<0,05) ; * significatif au seuil de 10% (p<0,10).

Tableau 143. Résultats de l'estimation des régressions du Poisson et Binomial négatif pour les facteurs déterminants de l'intensité de l'adoption des TIEE dans la Mitidja Ouest Tr1

Variables explicatives	Modèle Poisson		Modèle NB	
	Coef.	I.R.R.	Coef.	I.R.R.
<i>Cons.</i>	3.015 (5.85)***	---	3.725 (3.17)***	---
<i>DIVERS</i>	-0.181 (-0.18)	0.834 (-0.18)	0.142 (0.07)	1.153 (0.07)
<i>WORK</i>	0.100 (5.89)***	1.105 (5.89)***	0.095 (2.22)**	1.100 (2.22)**
<i>CREDIT</i>	0.606 (4.88)***	1.834 (4.88)***	1.098 (3.52)***	2.999 (3.52)***
<i>INVEST</i>	-0.671 (-4.51)***	0.510 (-4.51)***	-0.529 (-1.74)*	0.588 (-1.74)*
<i>AGE</i>	-0.051 (-6.79)***	0.950 (-6.79)***	-0.076 (-4.40)***	0.926 (-4.40)***
<i>EDUC</i>	0.413 (8.86)***	1.512 (8.86)***	0.988 (5.07)***	2.686 (5.07)***
<i>INFO</i>	-0.311 (-2.21)**	1.512 (8.86)***	-0.639 (-1.61)*	0.527 (-1.61)*
<i>OPA</i>	-0.356 (-2.21)**	0.732 (-2.21)**	-0.826 (-2.05)**	0.437 (-2.05)*
<i>SUBV</i>	-0.315 (-2.55)**	0.729 (-2.55)**	-0.435 (-1.29)**	0.647 (-1.29)**
<i>FORAG</i>	-1.689 (-2.22)**	1.184 (-2.22)**	-0.890 (-0.39)*	0.410 (-0.39)*
/lnalpha	---	---	0.101	---
alpha	---	---	1.106	---
Number of obs.	136		136	
Pseudo R ²⁰	0.410		0.17	
Adjusted R ²	0.375			
Log likelihood	-315.70		-238.5046	
LR chi ² (df=10)	438.74***		97.60	
LR test $\alpha=0$: $\chi^2(01)$	---		154.39***	
Prob >= chibar2	---		0.000***	
BIC	685.4421		540.3931	
AIC	653.4029		505.4413	

Note : Les valeurs entre parenthèses représentent le z-ratio pour l'I.R.R. pour les estimations des coefficients du NB et de Poisson. *** significatif au seuil de 1% ($p < 0,01$) ; ** significatif au seuil de 5% ($p < 0,05$) ; * significatif au seuil de 10% ($p < 0,10$).

D'après les statistiques du test-z des estimations des coefficients dans les modèles, il semble qu'en général, les caractéristiques structurelles des exploitations sélectionnées, les contraintes de capital, les aspects du capital humain et le coût d'extraction de l'eau sont des considérations

significatives dans le choix de l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces dans la région étudiée.

La taille de l'exploitation, qui reflète le niveau de richesse des agriculteurs, devrait avoir une influence positive sur l'adoption des TIEE, car celles-ci impliquent un investissement initial important. La littérature consultée pour cette recherche ne semble pas aboutir vers un consensus concernant l'impact de la taille sur l'adoption des technologies. Cependant, plusieurs arguments convergent plutôt en faveur d'une relation positive entre la taille et l'adoption de technologies. En effet, les grandes entreprises disposent plus de ressources que les petites pour prendre en charge les coûts souvent excessifs et les risques élevés liés à l'adoption de ces technologies (Garcia-Vega & Lopez, 2010 ; Landry *et al.*, 2012). Les grandes entreprises bénéficient également d'importantes économies d'échelle dans la production, ce qui libère des ressources pour acquérir de nouvelles technologies. Cependant, les économies d'échelle jouent un rôle insignifiant dans l'agriculture, bien qu'il existe des différences significatives de rentabilité entre les exploitations (Boussard, 1973).

Cette étude montre que la taille de l'exploitation a une relation négative avec la probabilité d'adoption des TIEE mais n'est pas statistiquement significative. La taille de l'exploitation est un facteur qui n'avantage point l'exploitant. En effet, le coefficient de la variable taille de l'exploitation est négatif. Ainsi, plus la taille de l'exploitation est élevée, moins l'exploitation agricole a de chances d'adopter les technologies d'irrigation plus efficaces. La raison peut être liée au fait que les systèmes de culture sont hétérogènes dans les exploitations, c'est-à-dire, globalement, les grandes exploitations agricoles sont celles qui pratiquent la céréaliculture non irriguée et plus la taille de l'exploitation est grande plus la culture des céréales augmente. Une corrélation simple entre les céréales et la taille de l'exploitation a donné lieu à une corrélation forte Tau-B de Kendall (0,56) et significative au seuil de 1% comme le montre le tableau 144. En outre, les technologies divisibles telles que les TIEE sont souvent décrites comme neutres en termes de taille.

En d'autres termes, plus les exploitants pratiquent les céréales non irriguées, plus la probabilité d'adoption des technologies d'irrigation par les exploitants diminue ce qui pourrait expliquer le signe négatif du coefficient. Ainsi, les grandes ou les petites exploitations ont autant de chances d'être candidates au choix d'une technologie d'irrigation plus efficace. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Fernandez-Cornejo (1996) et Foltz (2003), la taille de l'exploitation n'a pas d'influence positive sur l'adoption des technologies.

Tableau 144. Corrélations entre la taille de l'exploitation et la culture de céréales

Corrélations	SAU	Céréales
Coefficient de corrélation	1,000	,565**
Sig. (bilatéral)	.	,000
N	136	136
Coefficient de corrélation	,565**	1,000
Sig. (bilatéral)	,000	.
N	136	136
Coefficient de corrélation	1,000	,691**
Sig. (bilatéral)	.	,000
N	136	136
Coefficient de corrélation	,691**	1,000
Sig. (bilatéral)	,000	.
N	136	136

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Les résultats des régressions Logit, Tobit et Poisson montrent que la diversification des cultures affecte positivement l'adoption et négativement l'intensité et le taux de l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces. Dans les trois modèles, nous notons que les indices de diversification ne sont pas significatifs. Ce résultat confirme celui Foltz (2003), qui a démontré que la diversification, en utilisant "*Simpson Index*," n'influence pas sur la décision d'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces au niveau des exploitations agricoles.

Nos résultats contredisent ceux de Feltz (2016) où la taille de l'exploitation et le taux de spécialisation influencent positivement, le taux de spécialisation influence quant à lui fortement le choix de la technique d'irrigation, c'est-à-dire le passage au goutte-à-goutte au Maroc. En effet, les coefficients non significatifs de la taille de l'exploitation et de l'indice de Herfindahl, utilisé comme mesure de la diversification de l'exploitation, ne permettent guère de soutenir l'idée que les agriculteurs adopteraient la technologie pour réduire les risques.

Les résultats de la variable main-d'œuvre agricole affectent l'intensité de l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces de manière positive et significative au niveau de 1%. Les exploitations, avec un effectif important de main d'œuvre, sont plus susceptibles d'adopter les technologies d'irrigation plus efficaces sur une plus grande partie de leur surface irriguée. Le ratio I.R.R. indique que, toutes les autres variables indépendantes étant constantes, l'I.R.R. d'adoption de technologies d'irrigation économes augmente d'un facteur de 1,105 lorsque le nombre de travailleurs agricoles augmente d'une unité. Cette constatation pourrait être attribuée au fait que les systèmes d'aspersion mobiles nécessitent beaucoup plus de main-d'œuvre que les méthodes d'irrigation de surface, car les conduites d'aspersion doivent être déplacées à

intervalles réguliers pour irriguer de grandes parcelles et l'irrigation au goutte-à-goutte exige un capital humain important pour la conception et la gestion. Les ouvriers agricoles doivent superviser le fonctionnement des asperseurs, des goutteurs et de la pompe de surpression. Il convient de noter que dans le périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1, en général, la technique de fertilisation sous les équipements économes en eau n'est pas bien maîtrisée. Elle est donc à un stade embryonnaire, bien que le potentiel d'utilisation soit important. Le fait que les exploitants fertilisent souvent manuellement leurs cultures, les TIEE est principalement utilisé pour transporter l'eau ; c'est-à-dire que ces exploitants n'utilisent pas tous les engrais sous les équipements économes en eau, ce qui impliquerait un faible impact sur les économies du travail d'irrigation. Cependant, ce résultat a révélé que la disponibilité de la main-d'œuvre augmenterait l'intensité de l'adoption.

Sur la base des résultats de l'estimation, le coefficient de l'accès au crédit est significativement positif dans les modèles, ce qui implique qu'il existe une relation positive entre l'accès au crédit et le choix, le taux et l'intensité de l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces. En d'autres termes, comme le montrent les résultats du modèle Logit, si les exploitants ont accès au crédit, la possibilité qu'ils adoptent les TIEE augmente de 83,10%. L'effet marginal du modèle Tobit indique que, par rapport aux autres exploitants, la probabilité d'adoption des TIEE par les exploitants ayant accès au crédit pour les technologies d'irrigation augmente de 58,70%.

D'après les résultats du modèle de Poisson, par rapport à l'exploitant agricole de l'échantillon qui n'a pas eu accès au crédit, l'exploitant qui y a eu accès était plus susceptible, à un taux de 1,834 fois, d'augmenter sa superficie avec le TIEE, *ceteris paribus*. Sur la base de ces résultats, on peut conclure qu'une atténuation des contraintes financières auxquelles sont confrontées les exploitations agricoles peut contribuer à encourager l'adoption du TIEE.

Pour les capitaux financiers à mobiliser, les différentes régressions montrent que le coût de l'investissement est négativement associé à l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces. L'effet de cette variable est statistiquement significatif pour la région d'étude. Plus les agriculteurs estiment le coût de l'investissement élevé, plus est faible la probabilité qu'ils adoptent la technologie d'irrigation plus efficace. Par ailleurs, contrairement à la technique d'irrigation gravitaire, qui ne nécessite qu'un forage et de la main d'œuvre, le goutte-à-goutte demande plus d'équipement et de maîtrise technique, notamment la construction de bassin d'accumulation, une station de tête avec filtres et manomètres, une étude de dimensionnement, autant d'éléments qui rendent l'adoption du goutte-à-goutte plus complexe.

En outre, les résultats ont confirmé que les coûts d'investissement³⁴ diminuaient de manière significative la probabilité du choix, du taux et de l'intensité d'adoption des TIEE. Les coûts d'investissement ont eu une influence négative sur l'adoption des TIEE pour les exploitants.

Le coefficient du jugement de ce dernier sur le fait que le coût de l'investissement est une raison de ne pas investir était significatif et négatif pour les modèles Logit, Tobit et Poisson estimés au niveau 1%, suggérant que les exploitants qui ont un jugement sur les coûts élevés étaient moins susceptibles d'adopter les TIEE. Les résultats du modèle Logit montrent que la probabilité d'adoption du TIEE était inférieure de 54,4% lorsque le coût augmentait d'une unité. Le modèle Tobit montre également que le jugement du coût élevé de l'adoption diminue la probabilité du taux d'adoption de 36,5%. Enfin, les résultats de la régression de Poisson montrent que la surface installée sous les TIEE était inférieure de 51% lorsque le coût augmentait d'une unité. Cela signifie que les coûts élevés sont un obstacle majeur à l'adoption de ces technologies en ce qui concerne l'apport en capital. Ce résultat implique qu'il est nécessaire de réduire le coût de l'investissement initial d'un exploitant pour l'adoption des TIEE afin d'encourager efficacement la promotion et la mise en œuvre des technologies d'irrigation.

L'âge des exploitants a influencé de manière significative le choix, le taux et l'intensité de l'adoption des TIEE au niveau de signification de 1% et influence négativement l'adoption, les autres variables restant constantes. Comme prévu, les exploitants plus âgés ont une probabilité plus faible d'adopter une TIEE. En termes d'effet marginal, une augmentation d'une unité de l'âge des exploitants se traduit par une baisse de 8,5% de la probabilité d'adoption des TIEE. Le modèle Tobit montre également que l'âge des exploitants diminue la probabilité du taux d'adoption de 5,5%.

En ce qui concerne l'intensité d'utilisation des TIEE, les autres variables étant constantes, l'I.R.R de cette variable indique que si l'âge des exploitants augmente d'un an, l'intensité du nombre d'hectares utilisés par l'exploitation diminue d'un facteur de 0,95. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que l'âge est un facteur d'aversion au risque c'est-à-dire à mesure que les agriculteurs prennent de l'âge, l'aversion au risque augmente et l'intérêt pour l'investissement à long terme dans l'exploitation diminue et réduit le choix d'adoption de nouvelles technologies.

³⁴ Selon les statistiques de MADR (2014, 2019) : Le coût d'investissement d'un hectare d'irrigation goutte à goutte est estimé à 540405 DA pour les cultures maraîchères de plein champ, 522250 DA pour les serres et 233989 DA pour les vergers ou les agrumes. La filtration par tamis et disques coûte 84000 DA. Un bassin à géomembrane d'une capacité de 1 500 m³ coûte 1.000000 DA. Un bassin d'accumulation en béton d'une capacité de 100 m³ coûte 500.000 DA. Un forage rotatif coûte 20.000 DA par mètre linéaire. Le coût d'investissement d'un hectare de cultures maraîchères dans le système de couverture intégrale par aspersion coûte 784611 DA.

Il est possible que les jeunes exploitants soient plus disposés à s'engager dans des activités risquées comme l'investissement dans les TIEE que les exploitants plus âgés. En outre, les exploitants plus âgés ont souvent des horizons de planification plus courts, ce qui se traduit par des taux d'actualisation plus élevés qui réduisent la valeur actuelle de leurs investissements, et ils sont susceptibles d'être hostiles au changement.

La variable de sources d'information est significative au niveau de 10% et de 5% pour les modèles Logit et Poisson respectivement et elle est négativement liée à l'adoption des PITE. Le résultat n'est pas cohérent avec les hypothèses selon lesquelles les exploitants qui obtiennent des informations des services de vulgarisation et d'autres institutions devraient avoir une probabilité plus élevée d'adopter ces technologies. Notre résultat corrobore celui de Dhehibi *et al.* (2018), qui a montré une relation négative et significative entre les services de vulgarisation et l'adoption des techniques de conservation des sols et de l'eau.

Selon Evenson & Westphal (1995), la transmission d'informations ne peut pas être accomplie uniquement par l'utilisation de règles empiriques principalement employées par le personnel de vulgarisation ; elle nécessite plutôt la formation de réseaux sociaux solides parmi les agriculteurs engagés dans l'apprentissage par la pratique. En fait, nous ne savons pas si le personnel de vulgarisation (des agences de vulgarisation privées ou publiques) cible des agriculteurs spécifiques qui sont reconnus comme étant des pairs exerçant une influence directe ou indirecte sur l'ensemble de la population des exploitants de leurs zones respectives. Plus spécifiquement, la variable ne peut pas évaluer si les informations étaient trop théoriques, et non pratiques dans les applications. Il est tout aussi important de réaliser que cette variable n'indique pas la qualité de l'information ou des services de vulgarisation. Des recherches supplémentaires sont nécessaires à cet égard pour fournir une explication à ce résultat contre-intuitif.

L'appartenance à une organisation professionnelle agricole, telles que les coopératives agricoles ou association des usagers de l'eau d'irrigation, affecte négativement et significativement la décision d'intensité des agriculteurs au niveau de 5%. L'appartenance à des organisations agricoles diminue la probabilité d'adopter des technologies d'économie d'irrigation. Bien que la causalité directe entre l'appartenance à des organisations agricoles et l'adoption de TIEE ne puisse être affirmée, la variable peut être considérée principalement comme un proxy pour les réseaux sociaux et l'interaction entre les exploitants agricoles. Cela indique très probablement que les membres ne se soutiennent pas mutuellement dans la décision d'adopter les TIEE, et que le réseau social et l'échange de connaissances personnelles sur les avantages de

ces technologies d'irrigation sont faibles. Une étude des coopératives agricoles dans la Mitidja a montré que les raisons de cette désaffection des exploitants se trouvent dans le fait que les dirigeants de ces coopératives ne respectent que partiellement les principes de gestion stipulés dans les textes réglementaires régissant ce type d'institution (Brabez & Bedrani, 2015). La valeur de l'I.R.R. indique qu'en maintenant constantes toutes les autres variables explicatives, chaque augmentation d'une unité du score d'adhésion aux organisations agricoles générerait une diminution de l'I.R.R. d'adoption de 0,70 fois.

Tous les agriculteurs pratiquant l'irrigation gravitaire n'ont pour seule formation que leurs années d'expérience, tandis que les exploitants des exploitations pratiquant l'irrigation goutte-à-goutte peuvent avoir des niveaux de formation plus élevés, allant d'une formation primaire à une formation universitaire. Le lien de causalité entre ce niveau de formation et la technique d'irrigation doit toutefois être discuté : il semble en effet raisonnable d'affirmer que les agriculteurs adoptent l'irrigation goutte à goutte parce qu'ils ont un niveau de formation supérieur et non l'inverse. Plusieurs auteurs partagent d'ailleurs ce constat (Alcon *et al.*, 2011; Salhi *et al.* 2012).

Le niveau d'éducation des exploitants agricoles, comme prévu, a eu une relation significative et positive avec l'intensité du TIEE à un niveau de signification statistique de 1% dans les résultats de la régression de Poisson. Le niveau d'éducation a amélioré la probabilité d'une plus grande utilisation des TIEE sur les terres agricoles, *ceteris paribus*. Par conséquent, cela implique que l'éducation est l'un des principaux déterminants de l'adoption des TIEE.

Les résultats ont montré que plus le niveau d'éducation des exploitants est élevé, plus la probabilité d'une utilisation élevée des TIEE est grande, comme cela, a été supposé et observé dans d'autres études empiriques. Les agriculteurs ayant un niveau d'éducation élevé sont plus susceptibles d'avoir des informations supplémentaires concernant l'utilisation des TIEE et une plus grande capacité à traiter les informations liées aux nouvelles technologies. Dans le même sens, les exploitants les plus instruits ont tendance à avoir des niveaux plus élevés de compétences managériales, ce qui peut conduire à une meilleure allocation des ressources. Selon les résultats calculés sur l'I.R.R., une augmentation d'une unité de scolarisation a conduit à une augmentation de 1,52 fois la probabilité d'une plus grande intensité d'utilisation des TIEE sur les terres agricoles exploitées.

Les résultats des tableaux 142 et 143 indiquent que la variable des subventions est au mieux significative à 10%, et qu'elle est associée négativement au taux d'adoption et à l'intensité des TIEE. D'après les résultats de l'estimation, le coefficient des subventions est significativement

négalif dans les résultats du modèle, ce qui implique qu'il existe une relation négative entre les subventions et l'adoption du TIEE ; dans ce cas, le signe est l'opposé de ce qui est prédit. En d'autres termes, si les exploitants ont accès à des subventions, la possibilité qu'ils adoptent le TIEE diminue. Cela va à l'encontre des conclusions de Dinar & Yaron (1992) qui ont montré une relation positive et significative entre les subventions pour l'équipement et l'adoption des TIEE. Cependant, l'étude de Malik *et al.* (2018) a montré un impact négatif des subventions sur l'adoption de la technologie d'irrigation.

En ce qui concerne le modèle de Poisson, la variable dépendante est un nombre d'hectares réalisés par les exploitants agricoles pour la période de 2000 à 2020. Un hectare équipé consiste à utiliser une technologie d'irrigation par aspersion et/ou goutte à goutte sur cette superficie. Les valeurs de la variable varient de 0 à 20. Il n'y a aucune décimale ou valeur négative. Le graphique 70 suivant expose la distribution du nombre d'hectares équipés en économie d'eau à tous les temps de mesures. Sans équivoque, les distributions sont asymétriques positives et non normales avec un nombre très important de zéros à tous les temps de mesures. En comparaison avec la figure 34, la distribution s'apparente grandement à une distribution de type Poisson ou NB. Les analyses avec ce modèle pourront confirmer si ce modèle prédit le mieux les données observées.

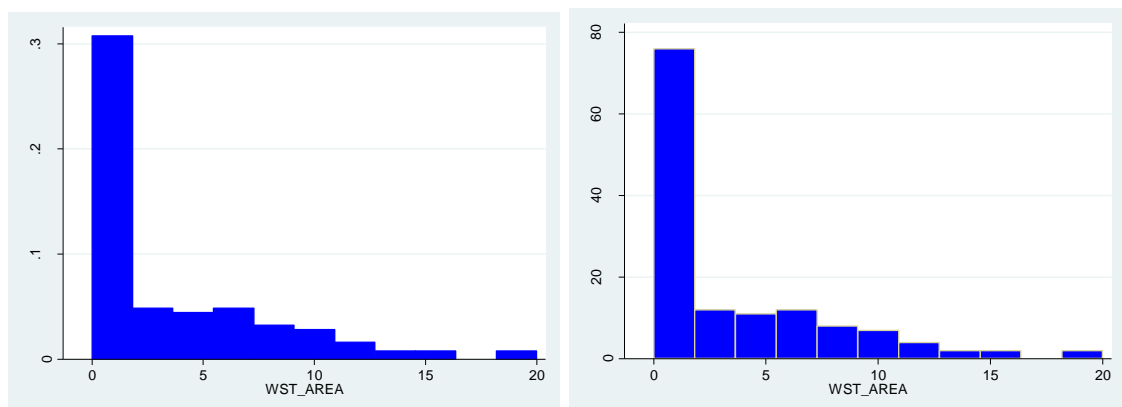


Figure 70. Les distributions du nombre d'hectares équipés

Le tableau 146 fournit de nombreuses mesures qui peuvent être utilisées pour évaluer l'adéquation du modèle. Cependant, nous nous concentrerons sur la valeur de la colonne "Valeur/df" pour la ligne "Chi-deux de Pearson", qui est de 3.59 dans ce cas, comme indiqué ci-dessous. Une valeur de 1 indique une équidispersion, tandis que les valeurs supérieures à 1 indiquent une surdispersion et les valeurs inférieures à 1 une sous-dispersion. Le type le plus courant de violation de l'hypothèse d'équidispersion est la surdispersion. Avec la taille

d'échantillon dans notre cas qui n'est relativement pas grande, une valeur de 3.59 n'est probablement pas une violation sérieuse de cette hypothèse. Comme le montre le tableau 146 suivant, les données présentent une surdispersion et le modèle basé sur la loi binomiale négative est plus adapté à nos données que le modèle de Poisson

Tableau 145. La qualité d'ajustement du modèle Poisson

	Valeur	ddl	Valeur/ddl	Prob > $\chi^2(125)$
Deviance goodness-of-fit $D / (n / p)$	396.0788	125	3.16863	0.0000***
Pearson goodness-of-fit	449.7848	125	3.59827	0.0000***

Le test de la qualité d'ajustement Tableau (145) est statistiquement significatif, cela indiquerait que les données ne correspondent pas parfaitement au modèle Poisson.

Il faut noter que la distribution de Poisson suppose que la moyenne et la variance sont identiques. Parfois, les données présentent une variance qui est supérieure à la moyenne. Cette situation est appelée surdispersion et la régression binomiale négative est plus flexible à cet égard que la régression de Poisson (on peut toujours utiliser la régression de Poisson dans ce cas, mais les erreurs standard pourraient être biaisées). La distribution binomiale négative possède un paramètre de plus que la régression de Poisson qui ajuste la variance indépendamment de la moyenne. En fait, la distribution de Poisson est un cas particulier de la distribution binomiale négative. En présence de surdispersion, le modèle de la loi binomiale négative introduit par Hausman, Hall & Griliches (1984) est un estimateur potentiellement efficace. La méthode d'estimation développée par ces auteurs est celle du maximum de vraisemblance conditionnelle. Le modèle de Poisson souffre d'une hypothèse implicite qui impose que la variance des y_i doit être égale à sa moyenne (Cahuzac & Bontemps, 2008). Parmi les solutions proposées pour s'affranchir de cette contrainte, le modèle binomial négatif est une alternative très utilisée (Cahuzac & Bontemps, 2008).

L'idée est d'introduire dans la moyenne (conditionnelle cette fois) du modèle de Poisson, un terme d'hétérogénéité individuelle. La distribution conditionnelle des y_i reste une distribution de Poisson de la forme :

$$f(y_i | x_i, u_i) = \frac{e^{-\lambda_i u_i} (\lambda_i u_i)^{y_i}}{y_i!}$$

Avec : $\ln(u_i) = x_i' \beta + \varepsilon_i = \ln(\lambda_i) + \ln(u_i)$

Où u_i est la moyenne conditionnelle et la variance de la loi de Poisson³⁵.

Tableau 146. Surface équipée en technologies d'irrigation plus efficaces

Percentiles	/Smallest			
1%	0	0		
5%	0	0		
10%	0	0	Obs	136
25%	0	0	Sum of Wgt.	136
50%	0		Mean	3.308824
Largest			Std. Dev.	4.572891
75%	6	15		
90%	10	16	Variance	20.91133
95%	12	20	Skewness	1.417411
99%	20	20	Kurtosis	4.589741

La variance du nombre d'hectares équipés en technologies d'irrigation plus efficaces est ici près de 6 fois plus grande que la moyenne. Il ne semble pas donc raisonnable d'adopter une modélisation qui tienne compte de cette surdispersion des observations. Mais, on propose tout de même la réalisation d'une régression binomiale négative pour juste comparer nos résultats. Le tableau 147 du test Omnibus se situe quelque part entre cette section et la suivante. Il s'agit d'un test de rapport de vraisemblance permettant de déterminer si toutes les variables indépendantes améliorent collectivement le modèle par rapport au modèle d'interception uniquement (c'est-à-dire sans ajout de variables indépendantes). Avec toutes les variables indépendantes dans notre modèle, nous avons une valeur p de 0,000 (c'est-à-dire $p = 0,000$), indiquant un modèle global statistiquement significatif, comme indiqué ci-dessous dans la colonne "Sig:

Tableau 147. Test composite pour surface équipée en technologies d'irrigation

<i>Khi-deux de rapport de vraisemblance^a</i>	<i>ddl</i>	<i>Sig.</i>
438.74	10	,000***

a. Compare le modèle ajusté et le modèle constitué uniquement de constantes.

Dans l'analyse de régression, il est souvent utile de résumer le modèle ajusté global par une mesure numérique de la qualité de l'ajustement. Alors que le coefficient de corrélation multiple R et le coefficient de détermination R^2 , qui lui est étroitement lié, sont des mesures de qualité de l'ajustement largement acceptées dans la régression linéaire, il n'existe pas de con-

³⁵ On choisit habituellement une distribution Gamma pour le terme d'hétérogénéité $u_i = \exp(\varepsilon_i)$. (Cahuzac, & Bontemps, 2008)

sensus général sur la meilleure mesure unique pour d'autres modèles linéaires généralisés (McCullagh & Nelder 1989).

La mesure d'adéquation la plus connue pour les modèles de régression généraux (et pas nécessairement linéaires) est peut-être le critère d'information d'Akaike (AIC, Akaike 1974), ou un critère d'information dérivé de celui-ci. L'AIC est basé sur la distance de Kullback-Leibler entre le mécanisme de génération des données réelles et la fonction de log-vraisemblance du modèle candidat, et a fait l'objet de nombreuses recherches (Ibrahim *et al.*, 2008 ; Hui *et al.*, 2015) parmi beaucoup d'autres pour les extensions de l'AIC à différents types de modèles et contextes de données. Comme il s'agit d'une mesure relative, les valeurs réelles de l'AIC n'ont pas d'interprétation claire, et son utilisation est plutôt motivée par les différences de valeurs de l'AIC entre les modèles candidats. Le premier élément permettant de comparer l'ajustement des modèles est le BIC (Bayesian Information Criterion), où le plus faible est le mieux (Rivest, 2012). Celui-ci est utilisé pour comparer les modèles entre eux en fonction du nombre de paramètres inclus ainsi que de la taille de l'échantillon (Singer & Willet, 2003). Par contre, il est irréalisable de comparer tous les modèles entre eux, car ceux-ci ne sont pas nichés les uns dans les autres. Selon (Atkins & Gallop, 2010), le modèle de Poisson est niché dans le modèle NB. Il est alors possible de comparer le P avec le NB. Dans les deux premiers modèles, la régression binomiale négative possède le BIC le moins élevé qui est de 540.393 alors que le modèle poisson possède un BIC DE de 685.442 (Annexe 20,21). De ces résultats, les modèles NB est le plus adapté aux données.

A la suite des estimations, le logiciel Stata nous fournit un test de surdispersion où l'hypothèse nulle H_0 est qu'il n'y a pas de surdispersion. La valeur très élevée de la statistique de χ^2 à 1 degré de liberté suggère le rejet de cette hypothèse, ce qui justifie le choix d'un tel modèle (Cahuzac & Bontemps, 2008). Si $\ln(\alpha) = 0$ (hypothèse nulle), le modèle de Poisson est approprié. Dans notre cas, le modèle de Poisson est rejeté (p-value < 0.0001). Notre modèle de Poisson original est un cas particulier de la binomiale négative - il correspond à $(\alpha) = 0$, la régression binomiale négative, cependant, estime indirectement (α) , estimant plutôt $\ln(\alpha)$. Dans notre modèle, $\ln(\alpha) = 0.101$, ce qui signifie que $(\alpha) = 1.106$. Pour tester $(\alpha) = 0$ (équivalent à $\ln(\alpha) = -\infty$), le modèle effectue un test de rapport de vraisemblance. La valeur relativement faible de χ^2 à 1 degré de liberté de 0.15439 affirme que la probabilité que nous observions ces données à condition que $(\alpha) = 0$ est pratiquement pas nulle, c'est-à-dire conditionnée par un processus de Poisson. Les données sont de Poisson. Les variables signifi-

catives dans les deux modèles sont identiques et les coefficients des régressions sont très proches. La régression de Poisson et la régression binomiale négative mettent en évidence les mêmes variables explicatives de la fréquence de nombre d'hectares équipés en technologies d'irrigation plus efficaces, avec des effets semblables. Les deux modélisations envisagées dans ce travail pour analyser la fréquence des superficies équipées en technologies plus efficaces sont cohérentes. Quels sont les apports supplémentaires de ce modèle NB par rapport au modèle de comptage standard ? Dans la première équation (modèle de comptage) l'investissement, les sources d'information, le ratio forages sur la superficie de l'exploitation, deviennent des variables significatives au seuil de 1%, 5%, 5% respectivement avec un coefficient négatif (Tableau 143), alors que ces variables étaient significatives avec un coefficient négatif dans le modèle binomial négatif à 10% (Tableau 143). Même si le modèle binomial négatif est « meilleur » pour rendre compte de ces données, il n'apporte pas d'éléments ou de précisions supplémentaires par rapport au modèle de Poisson au niveau de l'interprétation des résultats (Tableau 143), où seules sont représentées les variables exogènes significatives). Dans une étude de Melgar *et al.* (2005), les auteurs montrent aussi que différents types de modèles de comptage donnent des résultats qualitativement semblables.

Notons que globalement les résultats d'estimation de modèle de Poisson sont similaires à ceux obtenus avec le modèle binomial négatif. La conclusion majeure que l'on peut tirer de cette analyse est que les résultats obtenus ne sont pas très différents si l'on corrige le problème de la surdispersion. Selon Mac Donald & Lattimore (2010), il n'existe pas de meilleur modèle à proprement parler ; tout dépend du type de données utilisé ainsi que de leur capacité prédictive par rapport à ces mêmes données.

La relation négative et significative entre les subventions et l'adoption des TIEE peut s'expliquer par la défection d'une grande partie des réseaux installés et subventionnés en raison du manque de suivi et de contrôle des réseaux d'irrigation subventionnés par les fournisseurs d'équipements et l'administration en charge de la subvention. En 2005, le département des services agricoles a effectué une opération de vérification de toutes les exploitations qui avaient bénéficié de la subvention des technologies d'irrigation. Les résultats ont révélé ce qui suit : (i) une grande partie des équipements fournis par les opérateurs, notamment les rampes de distribution, les gaines goutte à goutte, étaient de qualité très inférieure, ce qui a accéléré leur détérioration, les fournisseurs et opérateurs incitent souvent les exploitants à acheter des systèmes de qualité inférieure dont les marges sont plus importantes pour les concessionnaires

ou les fabricants ; (ii) certains réseaux étaient complètement colmatés et ensuite abandonnés par les exploitants.

Le taux de défection des réseaux subventionnés a été estimé à 70% du total installé. Ceci explique la régression importante enregistrée dans l'attribution des subventions ou leur suspension en 2008. Les pouvoirs publics ont aidé les exploitants agricoles à acquérir les TIEE, avec une subvention à l'investissement de 100%³⁶ initialement (en 2000) ; à partir de 2004, la valeur de la subvention a été révisée à la baisse parce que la valeur de la subvention s'est avérée être plus élevée que les prix pratiqués par les fournisseurs pour une grande partie de ces équipements. À la fin de 2006³⁷, le taux de subvention n'était que de 60% du coût, puis de moins de 40% entre 2006-2009 avant de supprimer le système de subvention en 2008 ; le système sera rétabli au niveau de 50 % du coût à partir de 2014³⁸. Cela peut conduire à la conclusion que les subventions des programmes gouvernementaux prédisent des probabilités plus faibles pour le TIEE.

Dans le même ordre d'idée, la variable de la subvention est fortement corrélée au taux d'adoption, particulièrement ces dernières années où le taux de la subvention est passé de 100 à 50% du coût de l'investissement : plus le montant de la subvention est élevé, plus la probabilité est grande que la technique soit adoptée par les agriculteurs.

Une telle conclusion ne serait pas soutenue par les résultats d'études antérieures selon lesquels les programmes gouvernementaux fournissant une assistance financière ou technique sont des déterminants forts de l'adoption de technologies de conservation (Amosson *et al.*, 2009).

Enfin, l'utilisation de l'eau d'irrigation par le biais des forages est l'un des éléments caractéristiques de la région d'étude (Mitidja Ouest Tr1). D'autres types d'accès ont été observés dans la région d'étude, mais différents types d'accès coexistent dans la majorité des exploitations (irrigation par forages et barrages). La variable du ratio de forages sur la surface agricole reflète l'utilisation des eaux souterraines de l'aquifère de la Mitidja et le coût d'extraction de l'eau d'irrigation. Les résultats des trois modèles montrent que cette variable a un effet négatif et significatif sur l'adoption, le taux et l'intensité des TIEE. En d'autres termes, plus la superficie de l'exploitation est grande, plus le nombre de forages augmente et plus le ratio forages sur la superficie de l'exploitation diminue³⁹.

³⁶ Décision ministérielle n°. 599 of 08/07/2000.

³⁷ Décision ministérielle n°. 259 of 26 /05/2006.

³⁸ Décision ministérielle n°. 943 of 02 /10/2014.

³⁹Il convient de noter que des corrélations bivariées sont établies entre les paires taille de l'exploitation et forages avec une corrélation de Pearson de 0,311, et taille de l'exploitation et ratio de forages sur la taille de

Ainsi, la probabilité d'adoption des TIEE augmente. Selon les effets marginaux calculés, les résultats du modèle Logit montrent que la probabilité d'adoption du TIEE est 56,20% plus faible lorsque le ratio forages augmente d'une unité, une augmentation d'une unité du ratio de forages entraîne une diminution de 1,74 fois de la probabilité du taux d'adoption du TIEE, et en termes de I.R.R., entraîne une diminution de 1,78 fois de la probabilité d'une plus grande intensité d'utilisation du TIEE sur les terres agricoles exploitées. Nous pouvons conclure que plus le nombre de forages est élevé (c'est-à-dire que le ratio de forages diminue) et donc, plus le coût de l'extraction de l'eau d'irrigation est élevé, plus l'adoption, le taux et l'intensité du TIEE sont élevés. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que lorsque le coût d'extraction de l'eau est relativement élevé⁴⁰ (généralement en raison d'investissements coûteux dans des forages), les exploitants sont davantage incités à utiliser des techniques d'économie d'eau. Les campagnes d'information n'ont que peu d'effet sur les agriculteurs, la motivation première qui les incite à changer de méthode d'irrigation est l'augmentation des coûts, car l'irrigation est devenue trop coûteuse dans de nombreuses exploitations agricoles irriguées par des forages où il faut aller chercher l'eau de plus en plus profondément. Les technologies d'irrigation rencontrent du succès dans les exploitations irriguées par forages, en raison du coût prohibitif du pompage du fait de la diminution du niveau de la nappe phréatique et de l'augmentation des prix du gasoil et de l'électricité. A l'inverse, tous ceux qui bénéficient du très faible coût de l'eau provenant de l'ONID et obtenue à partir des réseaux d'irrigation reliés au barrage, ont peu d'intérêt à investir dans ces mêmes techniques.

Tableau 148. Corrélations entre la taille de l'exploitation, le nombre de forages et le ration forages sur la taille de l'exploitation

<i>Corrélations</i>	<i>Taille</i>	<i>Nombre de forages</i>	<i>Ratios Forages</i>
Coefficient de corrélation	1,000	,280**	-,485**
Sig. (bilatéral)	.	,000	,000
N	136	136	136
Coefficient de corrélation	,280**	1,000	,412**
Sig. (bilatéral)	,000	.	,000
N	136	136	136
Coefficient de corrélation	-,485**	,412**	1,000
Sig. (bilatéral)	,000	,000	.
N	136	136	136
Coefficient de corrélation	1,000	,350**	-,526**
Sig. (bilatéral)	.	,000	,000

l'exploitation avec une corrélation de Pearson de -0,173. La corrélation est significative au niveau de 0,01 et 0,05 respectivement. Il existe également une corrélation négative entre les paires de forages et le ratio de forages sur la taille de l'exploitation, avec une corrélation de Pearson de -0,132 (voir annexe 11).

⁴⁰ Selon l'ONID (2020), le coût moyen d'un m³ d'eau provenant d'un forage dans la Mitidja est de 5 DA par m³, alors que le prix administré d'un mètre cube d'eau fourni par l'ONID est fixé par la loi à 2 DA par m³ pour l'eau distribuée gravitairement et à 2.5 DA par m³ pour l'eau distribuée après pompage.

N	136	136	136
Coefficient de corrélation	,350**	1,000	,501**
Sig. (bilatéral)	,000	.	,000
N	136	136	136
Coefficient de corrélation	-,526**	,501**	1,000
Sig. (bilatéral)	,000	,000	.
N	136	136	136

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

A priori, ces modèles n'ont jamais été utilisés sur des données d'irrigation en Algérie et même peut être dans d'autres pays. Nous montrons empiriquement que ces modèles sont justifiés, même si les variables explicatives de la fréquence des superficies équipées en technologies d'irrigation plus efficaces sont sensiblement les mêmes qu'avec les modèles classiques de comptage. Si les modèles actuels sont suffisamment sophistiqués pour que l'on puisse les considérer comme des outils utiles et performants et non plus comme des curiosités théoriques, il ne faut pas oublier qu'un modèle a ses limites et ne donne qu'une image imparfaite de la réalité. Les modèles doivent être utilisés de façon souple, sans y croire complètement à la limite. Il reste toujours une composante individuelle comportementale non observée.

2.2. Résultats et discussion des préférences déclarées

2.2.1. Données sur les préférences déclarées

Dans de nombreux cas, l'observation du comportement peut conduire à une mauvaise identification de la cause en l'attribuant à des caractéristiques plutôt qu'à des préférences déclarées. Comme le note Lewin. : « Dans de nombreuses circonstances, l'observation du comportement est une donnée assez pauvre (voire trompeuse) pour déterminer les préférences d'un individu, les informations non comportementales, telles que la communication verbale, peuvent être beaucoup plus révélatrices de la motivation individuelle, en particulier lorsque les considérations morales dominent le choix ». (Lewin, 1996).

Par exemple, les estimations de coefficients statistiquement non significatifs des ressources en main d'œuvre ont été interprétées comme indiquant qu'il ne s'agit pas d'une motivation majeure pour les agriculteurs d'adopter l'irrigation au goutte-à-goutte. Cependant, on ne peut pas déduire de ces informations que les agriculteurs ne sont pas préoccupés par la rareté de la main d'œuvre dans leur exploitation. Le danger d'un point de vue politique est d'orienter les politiques vers des caractéristiques plutôt que vers des préférences. Au lieu de supposer que les préférences sont inobservables pour l'économètre, bien que connues des individus, on pourrait plutôt demander aux individus leurs préférences réelles. On se tourne donc vers une

explicitation directe des déterminants des décisions d'adoption de technologies par les agriculteurs : demander aux agriculteurs pourquoi ils ont adopté ou non une technologie ?

L'obtention des déclarations directes sur les préférences, bien que courante dans les études sociologiques et psychologiques, reste rare en économie. Les économistes préfèrent en général les méthodes de préférences révélées parce qu'ils sont censés être cohérents et plus indépendants des problèmes de mesure. Les problèmes de mesure dans la révélation des préférences directes proviennent de l'incapacité des répondants à décrire de manière adéquate leur processus de choix, de la dépendance de la réponse à la formulation d'une question et de la nature subjective des préférences elles-mêmes en tant que données.

L'examen des principales données empiriques issues des recherches antérieures a été effectué sur la base de l'analyse des déclarations des agriculteurs et des observations statistiques. Du côté des agriculteurs, cependant, les raisons peuvent être très divergentes. Par conséquent, en Algérie, les raisons avancées par les agriculteurs pour l'adoption de l'irrigation localisée sont la réduction du temps de travail, la réduction de la main d'œuvre nécessaire aux travaux des parcelles et la possibilité d'utiliser la fertigation (Salhi *et al.*, 2012). En Tunisie, ces raisons ont trait à la réduction de la consommation d'eau, à l'accroissement des rendements, à la réduction du temps de travail et à la réduction de l'utilisation des intrants (Foltz, 2003). En Inde, les raisons sont liées à une demande de main-d'œuvre plus faible, aux subventions accordées, à des rendements similaires, à la rareté de l'eau, à une productivité plus élevée, à l'application de l'eau au bon emplacement et à la capacité d'irriguer des parcelles pentues (Chandran & Surendran, 2015, 2016). Les autres motifs avancés en Espagne, au Maroc et en Zambie sont relatifs à une plus grande facilité d'utilisation, à la réduction des coûts de main-d'œuvre ou à la possibilité d'irriguer des parcelles pentues (van der Kooij 2009 ; Benouniche *et al.*, 2011 ; Tuabu 2012 ; Sese-Minguez 2012 ; Van der Kooij *et al.*, 2013).

Les principales motivations de l'adoption du goutte-à-goutte, telles que déclarées par les agriculteurs, sont essentiellement de faciliter l'organisation du travail, de réduire les besoins en main-d'œuvre, de réduire la consommation d'eau, d'irriguer les parcelles en pente et d'améliorer les rendements. L'organisation du temps de travail et la question de la main d'œuvre agricole sont donc déterminantes dans le choix d'adoption des agriculteurs, mais ne se retrouvent pas dans les motivations principales des instances soutenant l'irrigation localisée.

Plusieurs chercheurs ont également étudié les raisons pour lesquelles les agriculteurs n'adoptent pas l'irrigation au goutte-à-goutte dans les zones où cette technologie est activement promue. En Chine, par exemple, ces raisons incluent le manque de stabilité sociale, la priorité

accordée à d'autres stratégies de subsistance, le manque de connaissances sur la technologie, les risques du marché et les problèmes fonciers (Burnham *et al.* 2015). En Inde, les coûts d'installation, le colmatage des goutteurs, la difficulté d'obtenir des subventions et la peur du changement ou de pertes de rendement sont relevés par Chandran & Surendran (2016).

Les motifs évoqués en Algérie et en Tunisie sont liés aux contraintes budgétaires, aux difficultés d'accès au crédit et au manque de temps. (Foltz, 2003 ; Salhi *et al.*, 2010, 2012). Le manque de pertinence de localisée par rapport aux objectifs poursuivis n'est évoqué qu'en Tunisie, où 6% des agriculteurs interrogés ont mentionné cet argument (Foltz, 2003).

Selon la littérature, les raisons de la non-adoption du goutte-à-goutte, du côté des agriculteurs, tiennent donc principalement à des contraintes pratiques. Du côté des instances soutenant l'irrigation localisée, les principaux arguments pour soutenir cette technologie tiennent essentiellement à son potentiel en termes d'économies d'eau, de rendements et de productivité économique.

Du côté des agriculteurs, la réalité est moins évidente. Les raisons avancées par ces agriculteurs font référence à l'organisation plus facile du travail, à la diminution de la demande de main-d'œuvre, à la consommation réduite d'eau, à la possibilité d'irriguer les parcelles en pente et aux rendements supérieurs.

Afin de mettre en œuvre la révélation des préférences directes, on a demandé à chaque adoptant de technologie les raisons principales pour lesquelles il avait adopté l'irrigation au goutte-à-goutte. Les résultats de cette interrogation apparaissent dans le Tableau 149.

Tableau 149. Résultats des préférences déclarées sur les raisons de l'adoption d'une TIEE

Pourquoi avez-vous adopté l'irrigation au goutte-à-goutte ?	Economie d' eau	Augmenter les rendements	Moins de mains d' œuvre	Réduction des Intrants	Autres*
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Raisons (N = 64)	30%	55%	44%	16%	5%

* Les autres raisons pour lesquelles les agriculteurs ont adopté l'irrigation au goutte-à-goutte sont la réduction du risque de maladies, etc. Un exploitant pouvant avoir un ou plusieurs raisons, le total peut dépasser 100%.

Toutefois, les agriculteurs reconnaissent l'impact de l'adoption des innovations techniques sur la rentabilité économique et le rendement de leurs productions. Les résultats suggèrent que les adoptants de la technologie ont reçu des avantages de l'irrigation au goutte-à-goutte similaires à ceux qui ont été expérimentés dans les stations de recherche. Ils ont adopté l'irrigation au goutte-à-goutte principalement pour les qualités de conservation de l'eau, avec une bonne partie soit 30 % des agriculteurs affirmant que c'est l'une des principales raisons de l'adoption.

Les augmentations potentielles de rendement de l'irrigation au goutte-à-goutte étaient importantes pour un grand nombre d'agriculteurs soit 55%, mais elles ont été éclipsées par les propriétés de conservation des intrants (eau, travail et produits chimiques). Cette preuve accrédite l'idée que les contraintes de ressources prédominent dans la décision des agriculteurs d'adopter la nouvelle technologie. Elle suggère que ceux qui adoptent la technologie le font au moins partiellement pour économiser leurs intrants. Si les adoptants le font pour conserver leurs ressources, pourquoi les non-adoptants s'abstiennent-ils d'investir dans cette nouvelle technologie ? Le tableau 150 présente les résultats

Tableau 150. Résultats des préférences déclarées sur les raisons de non-adoption d'une TIEE

Pourquoi n'avez-vous pas adopté l'irrigation au goutte-à-goutte ?	Pas de capital disponible ou Trop coûteux	La tenure foncière	Subvention de l'État difficiles à obtenir	Technologie complexe, ils ne savent pas comment l'utiliser	Anciens vergers *	La disponibilité de l'eau**
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(N=72)	70 %	56 %	42 %	28 %	14 %	8 %

* Les agriculteurs disent que cette technique ne conviendrait pas pour les plantations âgées, parce qu'elles auraient développé leur système racinaire en fonction de l'irrigation gravitaire.

** Les agriculteurs disent que l'eau est abondante, introduire des techniques économes en eau ne se justifie pas selon les exploitants

Le Tableau 150 présente les résultats des questions posées aux non-adoptants de la technologie sur les raisons pour lesquelles ils n'ont pas adopté l'irrigation au goutte-à-goutte. Les trois premières réponses les plus fréquentes suggèrent que les contraintes de capital, les contraintes d'information et les problèmes liés à l'insécurité de la tenure foncière sont les principales raisons pour lesquelles ils n'ont pas adopté la nouvelle technologie. On s'attendrait à ce qu'un agriculteur qui n'a pas besoin de l'utilisation réduite d'intrants de l'irrigation goutte à goutte

choisisse la raison numéro 6. Le fait que si peu d'entre eux aient choisi cette raison suggère que les besoins de conservation des ressources des adoptants et des non-adoptants sont similaires. Cela implique que les contraintes de crédit, d'information et de la tenure foncière influencent les décisions d'adoption des agriculteurs, de sorte qu'ils ne peuvent pas faire d'investissements pour la conservation des ressources.

De manière logique, la raison "difficulté d'accès à la subvention" explique le taux relativement bas d'adoption. Plus les agriculteurs estiment difficile l'accès à la subvention, plus faible est la probabilité qu'ils adoptent le système de goutte à goutte. Par ailleurs, la majorité des agriculteurs de périmètre irrigué de la Mitidja Ouest Tr1 déclarent ne pas avoir demandé de subvention, car les conditions administratives sont défavorables entre autres la bureaucratie, lenteur dans l'étude des dossiers et difficulté d'accès aux crédits. En outre, les agriculteurs de périmètre signalent que la loi exigeait la signature de tous les attributaires d'une EAC pour le montage des dossiers de subvention ou de crédit, alors que la plupart des EAC étaient en conflits chroniques internes. Plusieurs d'entre elles peinèrent ainsi à se mettre d'accord, ce qui rendrait, de fait, difficile la demande aux subventions ou de prétendre aux crédits. Les subventions ne sont pas accessibles à tous les exploitants en particulier pour les locataires, attributaires en conflit dans les EAC.

Les agriculteurs disent que cette technique ne conviendrait pas pour les plantations âgées, parce qu'elles auraient développé leur système racinaire en fonction de l'irrigation gravitaire. Par contre, la diffusion des nouvelles techniques d'économie d'eau est encore limitée à certaines cultures mises en place par les agriculteurs relativement aisés et intégrés à l'économie de marché tels fruits, légumes. Toutefois, les arbres, dans les vergers âgés (en particulier l'arboriculture) et irrigués traditionnellement à la raie, ont développé de grandes racines (pour chercher l'eau profondément) ne peuvent plus être conduite en goutte à goutte. Aussi, selon eux, les vieux vergers, du fait de leur système racinaire développé selon l'irrigation gravitaire, accuseraient une baisse de rendement avec le passage au goutte-à-goutte. Une telle affirmation suggère une analyse approfondie du lien de causalité entre la chute de rendement et un changement de technique d'irrigation. En effet, l'utilisation des techniques d'irrigation localisée pour l'arboriculture n'est efficace que pour les nouvelles plantations. Il peut y avoir une inadéquation entre les racines d'un verger adulte et une technique d'irrigation au goutte-à-goutte.

3. Comparaison des préférences révélées et des préférences déclarées

La révélation directe présente certains avantages méthodologiques dans la mesure où elle ne présume pas que le chercheur en sait plus que la personne interrogée. Combinée à l'analyse des préférences révélées, la révélation directe valide les contraintes de crédit et l'information comme causes principales de la non-adoption. La révélation directe a également montré la tenure foncière comme une raison de ne pas adopter, ce qui indique peut-être une mauvaise mesure de cette variable dans l'ensemble des données utilisées.

Il y a quelque chose au sujet de l'insécurité foncière spécifique de ceux qui l'ont citée comme raison qui n'apparaît pas bien dans les mesures disponibles de l'insécurité foncière, puisque le capital social nécessaire à la réussite d'un contrat foncier sécurisé ne peut être facilement mesuré par une personne extérieure. En fait, une partie des adoptants se trouvaient dans des fermes qui n'étaient pas exploitées par leur propriétaire. Il est clair que certains des problèmes d'aléa moral associés aux contrats fonciers avaient été résolus suffisamment bien dans ces exploitations pour permettre l'adoption.

Les résultats de la révélation directe renforcent les fortes conclusions économétriques suivantes : les coûts des ressources poussent les agriculteurs à adopter des technologies de conservation des ressources. Il est possible qu'une majorité d'agriculteurs de l'échantillon ait eu une préférence pour les technologies d'irrigation au goutte-à-goutte pour les qualités d'économie de ressources de cette technique. Bien que les données économétriques soutiennent fortement l'idée que les agriculteurs adoptent pour préserver les ressources, les agriculteurs eux-mêmes l'ont prise en compte dans leurs calculs.

Les agriculteurs inclus dans cet échantillon ont tous reçu un "choc de coût de réalisation des nouveaux forages " sur le coût de l'eau qui les a incités à préférer une technologie de conservation de l'eau. Cette nouvelle préférence s'est traduite par l'adoption de cette technologie seulement chez une minorité d'agriculteurs, en raison des autres contraintes auxquelles ils étaient confrontés.

4. Conclusion

L'étude avait pour objectif d'analyser empiriquement les facteurs qui affectent le choix, le taux et l'intensité d'adoption par les agriculteurs des technologies d'irrigation économes en eau dans la Mitidja Ouest Tr1, en Algérie, parmi un échantillon de 136 agriculteurs. Trois modèles économétriques de régression ont été utilisés, à savoir : le modèle Logit (pour un choix

binaire d'adoption d'un TIEE), le modèle Tobit (pour les valeurs censurées de la superficie du TIEE) et enfin le modèle de Poisson (pour les données de comptage de la superficie du TIEE). Les modèles économétriques semblent avoir des niveaux de robustesse très élevés et ils sont efficaces et expliquent le phénomène d'adoption des TIEE par les agriculteurs. Les principaux résultats des modèles obtenus sont les suivants : en termes de choix d'adoption, deux facteurs affectent significativement et positivement le choix des agriculteurs pour l'adoption des TIEE qui sont l'accès au crédit et les coûts d'extraction de l'eau. Ceci est corroboré par les résultats de Genius *et al.* (2014) ; Alcon *et al.* (2011) ; Namara *et al.* (2007) ; Foltz (2003) ; Dinar & Yaron (1992) et Caswell & Zilberman (1985), qui ont montré une relation positive et significative entre l'adoption des technologies d'irrigation plus efficaces, l'irrigation avec des forages et l'accès au crédit. Cependant, d'autres facteurs tels que l'investissement important et l'âge des exploitants ont un effet significatif et négatif sur l'adoption de la technologie. L'étude confirme le résultat de Zhang *et al.* (2019) et Hunecke *et al.* (2017), qui ont démontré que l'investissement élevé et l'âge avaient une relation négative significative avec l'adoption de la technologie. Néanmoins, en termes d'intensité des TIEE, la main-d'œuvre agricole, l'accès au crédit et le niveau d'éducation affectent significativement et positivement l'intensité des TIEE au niveau de l'exploitation, tandis que l'investissement, le ratio de forages sur la taille de l'exploitation, les sources d'information, l'adhésion aux organisations, les subventions et l'âge des exploitants ont un effet significatif et négatif sur l'intensité des TIEE.

L'analyse présentée dans cette étude pourrait apporter des implications politiques utiles pour les pouvoirs publics avec des leviers d'intervention, qui permettraient d'améliorer l'action publique pour préserver cette ressource précieuse commune, l'eau d'irrigation. Les décideurs ne sont souvent pas bien informés des facteurs qui pourraient influencer l'adoption de nouvelles technologies d'irrigation. Néanmoins, cette étude offre quelques pistes pour les décideurs politiques algériens.

L'âge et le niveau d'éducation des exploitants ont été les principaux déterminants de l'adoption des TIEE. La corrélation négative inattendue entre les sources d'information, l'appartenance à des organisations agricoles, les subventions et l'adoption reste peu claire. Ce résultat pourrait s'expliquer par une faible efficacité, ou une faible pertinence, des subventions, des organisations agricoles et des informations transmises. Cette indication devrait être évaluée par les institutions agricoles locales. Ainsi, les services de vulgarisation et de formation devraient être plus ciblés et éventuellement soutenus par l'identification efficace des pairs influents des exploitants pour promouvoir les TIEE.

En outre, l'établissement et le maintien de fermes et de zones de démonstration, où les avantages des TIEE promus pourraient être montrés et évalués avec la participation des exploitants, permettraient de mieux faire connaître les TIEE. Même si les coûts d'investissement sont un obstacle important, il existe des alternatives au système de subvention actuel qui permettraient d'éviter certains de ses défauts actuels. Par exemple, les pouvoirs publics pourraient alléger les conditions d'éligibilité, faciliter le processus administratif pour obtenir des subventions et augmenter ses taux, ce qui nécessite la vérification de l'achat et de l'utilisation du produit. Les exploitants agricoles peuvent également bénéficier de prêts sans intérêt pour la totalité du coût du TIEE, gérés par les institutions financières existantes, ou recevoir des transferts monétaires conditionnels. Cependant, la question de savoir si l'adoption de technologies modernes d'économie d'eau (telles que les techniques d'irrigation par aspersion ou au goutte-à-goutte) permet ou non l'économie d'eau fait toujours l'objet de controverses.

La politique publique en matière d'eau d'irrigation permet d'augmenter la production agricole, de mieux valoriser l'eau tant au niveau des exploitations qu'au niveau national, par contre, on augmente involontairement, et contre toute attente, la consommation globale d'eau, au détriment des eaux souterraines, surtout en Algérie où près de 90% des surfaces agricoles irriguées dépendent des eaux souterraines.

La littérature récente montre que même lorsque l'eau est économisée au niveau de la parcelle, la demande en eau est généralement augmentée à d'autres échelles, comme celle de l'exploitation ou de la région (Ward & Pulido, 2008 ; Batchelor et al. 2014). Caswell & Zilberman (1986) confirment que le passage à des techniques d'irrigation par aspersion ou au goutte-à-goutte, au lieu de l'irrigation en bandes ou en raies, permet d'économiser de l'eau au niveau de la parcelle dans certaines circonstances. Par conséquent, dans certaines conditions hydrologiques, l'adoption de technologies d'économie d'eau, qu'elles soient traditionnelles ou modernes, conduit à une économie d'eau au niveau des parcelles agricoles.

Des mécanismes de régulation supplémentaires sont nécessaires parallèlement à la politique de subvention des TIEE, par exemple, des contrats entre les pouvoirs publics et les exploitants agricoles sur la mise en œuvre des TIEE et l'extension des superficies irriguées, la régulation des prélèvements individuels d'eau souterraine par des incitations dans lesquelles les exploitants agricoles s'engagent à déclarer leurs forages, notamment en cas de forages illégaux, et à installer des compteurs. La mise en place d'une taxe sur les prélèvements souterrains en fonction du risque de surexploitation de la nappe.

Conclusion de la deuxième partie

La deuxième partie avait pour objectif d'analyser empiriquement les déterminants de l'adoption des TIEE dans la région Mitidja Ouest Tr1, à travers une exposition de l'ensemble des résultats obtenus et par leurs différentes interprétations.

Le quatrième chapitre a exposé les démarches poursuivies pour la réalisation de notre thèse, à travers la présentation de la procédure d'échantillonnage, la sélection des variables et les modèles à estimer. Les deux derniers chapitres, à leur tour, présentent les résultats et leurs discussions, et enfin nous avons tiré les implications pour la politique publique.

La collecte des données s'est réalisée à travers une enquête auprès de 136 agriculteurs de la zone mentionnée. Nous avons étudié le choix et les déterminants de l'adoption de la technologie d'irrigation par les irrigants d'un périmètre étatique de la plaine de la Mitidja dans la wilaya de Blida). Les investigations empiriques nous ont permis d'orienter la méthodologie du travail vers les modèles de choix. Les modèles Logit, Tobit et Poisson/BN ont été sélectionnés pour expliquer l'adoption en plus de la différence dans le niveau d'adoption technologique.

Au vu des résultats obtenus, il est clair qu'en parallèle de la politique nationale d'économie d'eau d'irrigation et du programme de subvention des équipements d'économie d'eau, le gouvernement doit se concentrer sur un ensemble de mesures d'accompagnement qui pourront promouvoir la diffusion des nouvelles techniques d'irrigation. L'encouragement des jeunes agriculteurs, les programmes d'éducation et de formation professionnelle des irrigants, et leur sensibilisation à la situation de pénurie de la ressource en eau dans la plaine de la Mitidja, peuvent faire partie de ces mesures. De même, la promotion des cultures maraîchères reste aussi l'une des stratégies favorables en vue d'un meilleur niveau d'adoption des techniques d'irrigation localisée.

Du côté de politique publique, la meilleure façon d'atteindre les objectifs fixés est de revoir les réglementations en vigueur qui régissent le système d'exploitation des nappes aquifères. Les pouvoirs publics pourraient imposer, en ce qui concerne la consommation de l'eau ou l'exploitation du forage une certaine limite à ne pas franchir, quitte à infliger des sanctions qui pourraient entraîner les changements dans les habitudes paysannes. Ils devraient aussi se pencher davantage sur les problèmes qui handicapent les petites et les moyennes exploitations dans leur volonté d'investir dans l'acquisition des matériels d'économie d'eau. Une amélioration des crédits et d'autres formes d'aides seraient plus intéressantes.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Au terme de notre thèse sur l'adoption des TIEE (facteurs déterminants dans la Mitidja), où sommes-nous arrivés ? Rappelons que notre objectif était d'analyser les facteurs déterminants du processus de l'adoption des TIEE dans le contexte de l'agriculture algérienne.

Le moment est venu à présent de synthétiser les apports de notre recherche. Nous présenterons en premier lieu une synthèse de notre recherche. Nous aborderons, dans un second temps, les apports méthodologiques et empiriques. Enfin, nous tenterons d'identifier les limites et les perspectives de cette recherche.

Synthèse de recherche

Le présent document de thèse se compose de deux principales parties. Dans la première partie, il est question d'explorer le cadre conceptuel de la problématique de la recherche. La deuxième partie concerne la présentation du volet empirique de l'étude.

La première partie, étant consacrée à une revue bibliographique de notre sujet, est composée de trois chapitres. Le premier chapitre porte sur l'état des lieux de la politique de l'eau d'irrigation dans l'agriculture algérienne. Nous avons mis en évidence la place de l'hydraulique agricole, au sens large, dans les programmes de développement de l'agriculture en termes de mobilisation des ressources en eau (eau de surface et eau souterraines), et de développement des périmètres irrigués.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté les approches théoriques du changement de technologies. Y sont examinés les modèles standards de sélection des technologies d'irrigation, suivis d'une discussion sur l'approche du changement technologique avant la proposition des modèles adaptés à l'analyse de la sélection des technologies d'irrigation.

Le troisième chapitre est une revue de la littérature sur les déterminants de l'adoption des technologies en agriculture. Cette revue présentait les déterminants étudiés dans la littérature récente sur l'adoption d'innovations. Elle a mis en évidence l'importance des déterminants non observables, telles que les perceptions et les préférences, dans l'analyse de la décision d'adoption d'innovation par les agriculteurs. L'accent a été mis ensuite sur les technologies d'irrigation, particulièrement à la lumière des études sur leur adoption à travers une revue de la littérature.

La deuxième partie de ce document a été consacrée à l'exploration des résultats et leur discussion. Elle est composée à son tour de trois chapitres. Le quatrième chapitre a présenté en dé-

tails la méthodologie adoptée : la région d'étude, la procédure d'enquêtes sur le terrain, les résultats préliminaires, les outils analytiques et économétriques déployés.

Le cinquième chapitre est consacré à l'analyse des facteurs empiriques de sélection des technologies d'irrigation. Nous y analysons les caractéristiques des irrigants et de leurs exploitations, puis les caractéristiques du contexte d'adoption des irrigants et les caractéristiques des technologies d'irrigation. Les méthodes d'analyse appliquées dans ce chapitre relèvent de la statistique descriptive incluant des pourcentages, des tableaux de contingence et les tests non-paramétriques. L'analyse bidirectionnelle décrit l'impact de chaque facteur sur l'adoption.

Le dernier chapitre est consacré à l'évaluation des déterminants du processus de sélection individuelle des technologies d'irrigation par les agriculteurs de périmètre de la Mitidja Ouest (Tr 1). Nous avons estimé les modèles économétriques de sélection technologique et nous procédons à la recension des principales évidences empiriques apportées, puis nous avons tenté de développer les explications et interprétations éventuelles dans le cadre théorique déjà proposé.

Apports de recherche

Plusieurs enseignements pourraient être tirés de la revue bibliographique de la première partie de notre thèse. La politique algérienne de l'eau est davantage axée sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'une meilleure utilisation des ressources déjà disponibles, ce qui provoque par la suite des gaspillages de ressources financières. La satisfaction par les volumes mobilisables risque de ne pas être garantie à long terme, compte tenu des aléas climatiques et de la faiblesse des ressources superficielles et souterraines. Si le déséquilibre entre l'offre et la demande continue à se creuser, une crise aiguë surviendra dans un horizon assez proche. Il faut maîtriser en urgence cette situation, par une réorientation radicale de la politique actuelle de l'eau, sinon, la nature imposera une solution dont le coût sera certainement exorbitant.

En outre, les technologies d'irrigation économes en eau ont été longtemps considérées comme une méthode efficace pour réduire l'utilisation de l'eau d'irrigation et atténuer les pénuries d'eau régionales. Cependant, les rapports de plus en plus nombreux faisant état d'une pénurie d'eau plus grave dans le futur et l'application croissante des technologies économes en eau dans le monde ont rendu nécessaire une réévaluation de l'économie d'eau en agriculture.

Ainsi, lors de la conception de politiques de gestion durable de l'utilisation des eaux souterraines agricoles, les décideurs politiques doivent tenir compte de toutes les réponses compor-

tements possibles à leur politique, y compris les conséquences perverses involontaires qui peuvent survenir.

Les résultats de cette enquête conduisent à de nouvelles conclusions sur la théorie actuelle de l'adoption des technologies et sur la méthodologie appropriée pour mesurer l'adoption en l'absence de marchés du crédit et de l'information. Les idées qui découlent de cette nouvelle méthodologie ont des implications sur la façon dont les pouvoirs publics, en général et en Algérie en particulier, devraient promouvoir les nouvelles technologies afin de gérer plus rationnellement les ressources.

Les résultats des études théoriques sur l'adoption des systèmes d'irrigation économes en eau montrent que les technologies d'irrigation permettant de conserver l'eau sont plus efficaces et devraient être plus utilisées que les techniques gravitaires dans les zones à sols sableux, les zones à forte pente, ou dans les zones où la nappe est profonde. L'exploitation de la littérature économique dans le domaine de l'adoption des technologies en agriculture nous a permis d'explorer les idées de force qui se rapportent aux variables déterminant l'adoption et l'innovation technologique.

Les enseignements qui pourraient être tirés de notre volet empirique sont les suivants. Les pouvoirs publics doivent se concentrer sur un ensemble de mesures d'accompagnement qui pourront promouvoir la diffusion des nouvelles techniques d'irrigation. L'encouragement des jeunes agriculteurs, les programmes d'éducation et de formation professionnelle des irrigants, et leur sensibilisation à la situation de pénurie de la ressource en eau dans la plaine de la Mitidja, peuvent faire partie de ces mesures. De même, la promotion des cultures maraîchères reste aussi l'une des stratégies favorables en vue d'un meilleur niveau d'adoption des techniques d'irrigation localisée. L'âge et le niveau d'éducation des exploitants, l'accès au crédit, la rareté de l'eau, les sources d'information et les coûts d'investissement ont été les principaux déterminants de l'adoption des TIEE.

La corrélation négative inattendue entre les sources d'information, l'appartenance à des organisations agricoles, les subventions et l'adoption reste peu claire. Ce résultat pourrait s'expliquer par une faible efficacité ou une faible pertinence des subventions, des organisations agricoles et des informations transmises. Cette indication devrait être évaluée par les institutions agricoles locales. Ainsi, les services de vulgarisation et de formation devraient être plus ciblés et éventuellement soutenus par l'identification efficace des pairs influents des exploitants pour promouvoir les TIEE.

En outre, l'établissement et le maintien de fermes et de zones de démonstration, où les avantages des TIEE promus pourraient être montrés et évalués avec la participation des exploitants, permettraient de mieux faire connaître les TIEE. Même si les coûts d'investissement sont un obstacle important, il existe des alternatives au système de subvention actuel qui permettraient d'éviter certains de ses défauts. Par exemple, les pouvoirs publics pourraient alléger les conditions d'éligibilité, faciliter le processus administratif pour obtenir des subventions et augmenter ses taux, ce qui nécessite la vérification de l'achat et de l'utilisation du produit. Les exploitants agricoles peuvent également bénéficier de prêts sans intérêt pour la totalité du coût du TIEE, gérés par les institutions financières existantes, ou recevoir des transferts monétaires conditionnels. Cependant, la question de savoir si l'adoption de technologies modernes d'économie d'eau (telles que les techniques d'irrigation par aspersion ou au goutte-à-goutte) permet ou non l'économie d'eau fait toujours l'objet de controverses.

La politique publique en matière d'eau d'irrigation permet d'augmenter la production agricole, de mieux valoriser l'eau tant au niveau des exploitations qu'au niveau national ; par contre, elle augmente involontairement, et contre toute attente, la consommation globale d'eau, au détriment des eaux souterraines, surtout en Algérie où près de 90% des surfaces agricoles irriguées dépendent des eaux souterraines.

La littérature récente montre que même lorsque l'eau est économisée au niveau de la parcelle, la demande en eau est généralement augmentée à d'autres échelles, comme celle de l'exploitation ou de la région (Ward & Pulido, 2008 ; Batchelor et al. 2014). Caswell & Zilberman (1986) confirment que le passage à des techniques d'irrigation par aspersion ou au goutte-à-goutte, au lieu de l'irrigation en bandes ou en raies, permet d'économiser de l'eau au niveau de la parcelle dans certaines circonstances. Par conséquent, dans certaines conditions hydrologiques, l'adoption de technologies d'économie d'eau, qu'elles soient traditionnelles ou modernes, conduit à une économie d'eau au niveau des parcelles agricoles. Des mécanismes de régulation supplémentaires sont nécessaires parallèlement à la politique de subvention des TIEE, par exemple, des contrats entre les pouvoirs publics et les exploitants agricoles sur la mise en œuvre des TIEE et l'extension des superficies irriguées, la régulation des prélèvements individuels d'eau souterraine par des incitations dans lesquelles les exploitants agricoles s'engagent à déclarer leurs forages, notamment en cas de forages illégaux, et à installer des compteurs. La mise en place d'une taxe sur les prélèvements souterrains en fonction du risque de surexploitation de la nappe.

Dans le scénario de contraintes d'innovation qui est cohérent avec les données de la Mitidja, une telle politique n'inciterait que quelques agriculteurs non contraints à adopter une nouvelle technologie. Les autres seraient moins bien lotis à court terme qu'avant, car ils paieraient des prix plus élevés, mais ne seraient pas en mesure d'ajuster leur combinaison de technologies. Les effets à long terme dépendraient de la manière dont les agriculteurs pourraient contourner les contraintes auxquelles ils sont confrontés en sortant du secteur. En fonction du degré de contrainte des agriculteurs, une telle politique d'augmentation des prix pourrait ne pas entraîner un grand changement dans l'utilisation des ressources et pourrait globalement réduire le bien-être. Les politiques appropriées pour accélérer le processus d'adoption de la technologie pourraient plutôt viser à éliminer certaines des contraintes de ressources qui réduisent la capacité des agriculteurs à acheter des systèmes d'irrigation au goutte-à-goutte et aspersion.

Le lien entre l'adoption de technologies de conservation des ressources et la durabilité environnementale repose sur l'hypothèse suivante : l'adoption d'une technologie réduira l'utilisation des ressources, si les superficies irriguées et le système de cultures restent les mêmes. Ce travail a essentiellement supposé que les agriculteurs adopteraient une nouvelle technologie afin de pouvoir continuer à cultiver comme ils le font actuellement. Dans ce cas, l'irrigation au goutte-à-goutte et aspersion réduit la consommation d'eau et augmente la production. Cependant, l'irrigation au goutte-à-goutte peut en fait être utilisée de différentes manières par les agriculteurs.

La première possibilité est que les agriculteurs utilisent l'irrigation au goutte-à-goutte pour étendre leur superficie irriguée. Par exemple, étant donné que l'irrigation au goutte-à-goutte permet de faire pousser des cultures avec des quantités d'eau plus faibles, il existe des terres marginales actuellement hors production ou consacrées aux céréales en pluvial et qui pourraient être mises en production avec l'irrigation au goutte-à-goutte.

Il se peut que les agriculteurs n'adoptent l'irrigation au goutte-à-goutte que dans le but d'étendre le potentiel de leur superficie de production. Cela pourrait provoquer une augmentation de l'utilisation de l'eau dans la zone plutôt que la réduire, puisque l'agriculture irriguée s'étendrait à de nouvelles zones non irriguées auparavant.

Un agriculteur ayant des contraintes en matière de quantité d'eau pourrait adopter l'irrigation au goutte-à-goutte pour réduire les besoins en eau de son système d'irrigation actuel, puis étendre sa zone irriguée. Dans ce scénario, l'utilisation nette d'eau peut rester la même dans l'exploitation. Dans de nombreuses zones de cette étude, le scénario d'extension de zone a de fortes probabilités. Les agriculteurs peuvent étendre de vastes superficies parce qu'une partie

importante des terres disponibles sont actuellement non irriguées. Du coup, il y a la possibilité d'étendre les superficies irriguées. Comme il n'y a pas eu une large adoption de l'irrigation goutte à goutte dans le périmètre, il est difficile de discerner si cela réduira ses propriétés de conservation de l'eau. Bien que l'expansion des surfaces soit une possibilité très forte, les agriculteurs peuvent également ajuster leur mix de cultures à leur disponibilité en eau. L'irrigation au goutte-à-goutte permettra aux agriculteurs de cultiver des cultures plus exigeantes en eau sans augmenter leur consommation globale d'eau. L'expansion des superficies et les changements dans la composition des cultures atténuent le potentiel de l'irrigation au goutte-à-goutte et peuvent faire des progrès significatifs en matière d'utilisation globale des ressources en eau. Toutefois, leurs effets négatifs sur la durabilité peuvent être limités par la superficie potentielle disponible et par la demande de cultures de fruits et légumes. Même en cas d'extension des surfaces et de modification des compositions culturales, l'irrigation au goutte-à-goutte contribuera à une utilisation plus rationnelle des ressources en eau. Il s'agit encore d'un premier pas nécessaire vers une voie de développement durable.

D'autres formes d'interventions destinées à cette population peuvent être envisagées. Parmi celles-ci figurent l'assouplissement et l'amélioration des mécanismes d'incitation à l'adoption des techniques d'irrigation favorables à la préservation des ressources hydriques. Subventionner la technologie d'irrigation au goutte-à-goutte permettra de réduire le coût et le prix de l'eau pour les agriculteurs qui envisagent de l'adopter. Cette politique atténuera potentiellement certains des effets des contraintes de capital sur les agriculteurs, mais seulement dans une faible mesure. Il est probable qu'elle ne fera que subventionner les personnes sans contraintes qui sont déjà prêtes à adopter plutôt que d'augmenter le taux d'adoption. D'un point de vue macro-économique, une telle subvention faussera les incitations par les prix sans produire une réduction de l'utilisation des ressources.

Comme nous l'avons vu plus haut, l'augmentation du prix de l'eau entraînera une perte de bien-être pour la plupart des agriculteurs et les bénéfices pour la société en termes d'adoption accrue de technologies et donc de réduction de l'utilisation de l'eau semblent être faibles. D'un point de vue macroéconomique, l'effet de l'augmentation des prix de l'eau sur le budget de l'Etat sera au mieux minime. Les pouvoirs publics ont déjà investi les coûts irrécupérables dans les systèmes d'irrigation. Du point de vue environnemental, l'augmentation du prix de l'eau ferait augmenter les coûts d'utilisation d'une ressource renouvelable pour les agriculteurs. Cela augmenterait leur propension à utiliser le stock fixe d'eau dans leurs aquifères, créant potentiellement un système non durable même si l'utilisation de l'eau reste la même.

L'amélioration du système bancaire rural aura une incidence directe sur les contraintes de liquidité auxquelles sont confrontés les agriculteurs. Un meilleur accès au capital augmentera probablement le nombre d'adoptions de technologies. Cependant, il n'est pas certain qu'une banque fournira un meilleur service et un meilleur accès au crédit pour les agriculteurs. Actuellement, peu d'agriculteurs empruntent sur le marché formel, même si les banques publiques ont des politiques conçues pour les aider à obtenir des prêts. Un système bancaire pourrait être encore moins enclin à prêter de l'argent aux agriculteurs.

Les décideurs publics voulant intervenir sur les pratiques favorables à la préservation des ressources en eau trouvent dans les résultats de cette thèse de nombreux leviers et prémisses pour optimiser la performance de leurs interventions. Si les changements de politique actuels en Algérie ont un certain potentiel pour promouvoir l'adoption de la TIEE, il existe un certain nombre d'interventions qui ont un potentiel encore plus important.

Compte tenu de l'importance de la diffusion de l'information pour l'adoption d'une technologie, les pouvoirs publics devraient envisager des mesures qui permettront de fournir des informations adéquates sur l'irrigation au goutte-à-goutte aux agriculteurs. Par exemple, des parcelles de démonstration utilisant la technologie pourraient être mises en place dans une variété de zones différentes, de sorte qu'elles croisent autant de réseaux sociaux que possible. Ainsi, les interventions publiques gagneraient en efficacité en intensifiant leurs efforts d'éducation, de communication et de sensibilisation au sujet des avantages et bénéfices que peuvent engendrer la diffusion des technologies d'irrigation plus efficaces. Les résultats portent à croire que l'essentiel de ces efforts doit cibler en priorité les agriculteurs *i)* les moins scolarisés, *ii)* les moins impliqués dans les clubs d'encadrement agricole.

L'octroi de crédits par le biais de coopératives de crédit pourrait permettre d'alléger certaines des contraintes sur les marchés du crédit. Ces institutions, qui n'existent pas actuellement en Algérie, se sont révélées être des intermédiaires financiers efficaces dans des pays où le marché du crédit n'est pas très développé (Barham et al. 1996, Zeller, 1998). En outre, la révision des règles du système bancaire afin de réduire les coûts de transaction encourus par les emprunteurs potentiels pourrait également permettre un meilleur accès au crédit. Ce qui est le plus frappant à propos de ces interventions visant à promouvoir une technologie de conservation des ressources est qu'elles ne s'attaquent pas réellement à la contrainte liée aux ressources naturelles. Les politiques actuellement proposées en Algérie se concentrent sur la question des ressources naturelles tout en ignorant les contraintes qui entraînent une dégradation continue des ressources. La direction à prendre pour recentrer les interventions politiques n'est donc

pas de s'intéresser aux questions environnementales en tant que telles, mais de réduire les contraintes qui astreignent les agriculteurs à adopter des stratégies qui dégradent l'environnement. Parmi les autres bénéfices potentiels d'une telle politique, c'est qu'elle permettrait aux pouvoirs publics de faire un meilleur usage des mécanismes de marché à l'avenir. Par exemple, si les agriculteurs ne sont pas contraints, une politique réduisant les subventions pour l'eau pourrait créer un double avantage : une réduction des déficits budgétaires et une diminution de l'utilisation des ressources.

Limites et perspectives de recherche

Cette étude présente incontestablement des limites qui offrent de nombreuses perspectives de recherche. En plus de l'influence des facteurs socio-économiques et financiers, d'autres déterminants liés à la rentabilité de l'investissement, au risque de production et aux prix des produits agricoles, aux questions foncières peuvent influencer les exploitants à adopter les TIEE.

En outre, les résultats de nos modèles statiques utilisant des données transversales ne permettent pas de saisir les changements dans les décisions d'adoption au cours du temps. Des modèles dynamiques utilisant des données de panel pourraient être nécessaires pour décrire efficacement l'adoption et la diffusion dans le temps et l'espace.

Les recherches futures décriraient de manière adéquate ces facteurs et la manière dont ils sont liés au processus d'adoption. Ces ambitions seraient difficiles à réaliser avec l'ensemble des données actuelles. Elles nécessitent un ensemble de données plus important et l'inclusion de la dimension temporelle dans les données. En outre, cette recherche était limitée à la région de la Mitidja, mais elle devra être élargie à d'autres zones irriguées avec des zones climatiques et des systèmes de culture différents afin de pouvoir comparer avec notre étude de cas et de pouvoir généraliser nos résultats.

Globalement, pour expliquer le comportement d'adoption et les déterminants de l'adoption des technologies, trois paradigmes sont couramment utilisés. Il s'agit du modèle d'innovation-diffusion, du modèle de perception de l'adoption et du modèle des contraintes économiques. Des études récentes ont montré que l'utilisation des trois paradigmes dans la modélisation de l'adoption de technologies améliore le pouvoir explicatif du modèle par rapport à un paradigme unique (Adesina & Zinnah, 1993).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] A.N.R.H. (1993). Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle du 1/500 000, notice explicative. *Projet PNUD/ALG/88/021, Alger: Agence nationale des ressources hydrauliques.*
- [2] ANRH-GTZ (2004) Étude de synthèse sur les ressources en eaux de surface de l'Algérie du Nord (Rapport d'étude). Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH), Ager.
- [3] A.N.R.H (2009). Carte des ressources en eau des eaux souterraine –Présentation des unités hydrogéologiques région Ouest., 38p.
- [4] A.N.R.H. (2010). Réalisation de carte des ressources en eau souterraines du Nord de l'Algérie. Agence nationale des ressources hydrauliques.158p.
- [5] A.N.B.T. (2018). Rapport annuel de l'Agence National des Transfert et Barrages.
- [6] Abara, I.O. & Singh, S. (1993). Ethics and biases in technology adoption: The small-firm argument. *Technological Forecasting and Social Change*, 43(3-4): 289-300.
- [7] Abdulai, A. & Huffman, W. E. (2005). The diffusion of new agricultural technologies: The case of crossbred-cow technology in Tanzania. *American Journal of Agricultural Economics*, 87(3): 645-659.
- [8] Acemoglu, A. (2002). Directed technical change. *Review of Economic Studies*, 69(4): 781-809.
- [9] Achour, F., Bouzelboudjen, M. & Pieyns, S.A. (1998). Variabilité spatio-temporelle des ressources en eau en région semi-aride: Application au bassin du Chelif, Algérie. *IAHS*, (252): 225-234.
- [10] Adesina, A.A. & Zinnah, M.M. (1993). Technology characteristics, farmers' perceptions and adoption decisions: A Tobit model application in Sierra Leone. *Agricultural Economics*, 9(4): 297-311.
- [11] Aikens, M.T., Havens, A.E. & Flinn, W.L. (1975). The adoption of innovations: The neglected role of institutional constraints. Mimeograph. Columbus: The Ohio State University, Department of Rural Sociology.
- [12] Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*,19: 716-723.
- [13] Akli, S. (2015). Economie des ressources en eau en Algérie: Quelle place pour la gestion de la demande et quel impact sur l'économie de l'eau? Application au bassin côtier algérois 02A. Thèse de doctorat, ENSA, Algérie.
- [14] Alcon, F., de Miguel, M.D. & Burton, M. (2011). Duration analysis of adoption of drip irrigation technology in southeastern Spain. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(6), 991-1001.
- [15] Alriksson, S. & Öberg, T. (2008). Conjoint analysis for environmental evaluation. *Environmental Science and Pollution Research*, 15(3): 244-257.

- [16] Amare, M., Asfaw, S. & Shiferaw, B. (2012). Welfare impacts of maize–pigeonpea intensification in Tanzania. *Agricultural Economics*, 43(1): 27-43.
- [17] Amosson, S., Almas, L., Golden, B., Guerrero, B., Johnson, J., Taylor, R. & Wheeler-Cook, E. (2009). Economic impacts of selected water conservation policies in the Ogallala Aquifer. Ogallala Aquifer Project, 50.
- [18] Anderson, D.M. (2013). Distinguishing water conservation from water savings in the western USA. *International Journal of River Basin Management*, 11(3): 269-276.
- [19] Antle, J.M. & Capalbo, S.M. (2010). Adaptation of agricultural and food systems to climate change: an economic and policy perspective. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 32(3): 386-416.
- [20] Antle, J.M. (1987) Econometric estimation of producers' risk attitudes. *American Journal of Agricultural Economics*, 69(3): 509-522.
- [21] Arega, M. (2009). Determinants of intensity of adoption of old coffee stumping technology in Dale Wereda, SNNPRS, Ethiopia. Master Dissertation, Haramaya University.
- [22] Ashby, J. A., & Sperling, L. (1995). Institutionalizing participatory, client-driven research and technology development in agriculture. *Development and Change*, 26(4), 753-770.
- [23] Asrat, S., Yesuf, M., Carlsson, F. & Wale, E. (2010). Farmers' preferences for crop variety traits: Lessons for on-farm conservation and technology adoption. *Ecological Economics*, 69(12): 2394-2401.
- [24] Assaba, M., Laborde, J., & Rezak, S. (2013). Les effets d'une baisse de la pluviométrie sur les volumes regularisables des barrages d'Algérie. *Revue scientifique et technique, Issue LJEE*, (21).
- [25] Atkins, D.C. & Gallop, R.J. (2007). Rethinking how family researchers model infrequent outcomes: A tutorial on count regression and zero-inflated models. *Journal of Family Psychology*, 21(4): 726.
- [26] Azumah, S.B., Donkoh, S.A. & Ansah, I.G.K. (2017). Contract farming and the adoption of climate change coping and adaptation strategies in the northern region of Ghana. *Environment, Development and Sustainability*, 19(6): 2275-2295.
- [27] Amemiya, T. (1981). Qualitative response models: A survey. *Journal of economic literature*, 19(4), 1483-1536.
- [28] Amemiya, T. (1984). Tobit models: A survey. *Journal of econometrics*, 24(1-2), 3-61
- [29] Arvanitis, R., Callon, M., & Latour, B. (1986). *Evaluation des politiques publiques de la recherche et de la technologie: analyse des programmes nationaux de la recherche, mission scientifique et technique*. Documentation française, 89 p.
- [30] Adeoti, A., Barry, B., Namara, R., Kamara, A., & Titiati, A. (2007). *Treadle pump irrigation and poverty in Ghana* (Vol. 117). IWMI. International Water Management Institute. Reaserch Report, 34p.

- [31] Alston, J. M., Norton, G. W., & Pardey, P. G. (1995). *Science under scarcity: principles and practice for agricultural research evaluation and priority setting*. Cornell University Press.
- [32] Amichi, H., Mayaux, P. L., & Bouarfa, S. (2015). Encourager la subversion: recomposition de l'État et décollectivisation des terres publiques dans le Bas-Chéouli, Algérie. *Politique africaine*, (1), 71-93.
- [33] Adesina, A. A., & Zinnah, M. M. (1993). Technology characteristics, farmers' perceptions and adoption decisions: A Tobit model application in Sierra Leone. *Agricultural economics*, 9(4), 297-311.
- [34] Badr, M.A., Abou Hussein, S.D., El-Tohamy, W.A. & Gruda, N. (2010). Efficiency of subsurface drip irrigation for potato production under different dry stress conditions. *Gesunde Pflanzen*, 62(2): 63-70.
- [35] Baidu-Forson, J. (1999). Factors influencing adoption of land-enhancing technology in the Sahel: lessons from a case study in Niger. *Agricultural Economics*, 20(3): 231-239.
- [36] Banque Mondiale (2007). A la recherche d'un investissement public de qualité: Une Revue des dépenses publiques. Groupe pour le Développement Socioéconomique, Région Moyen Orient et Afrique du Nord. Document de la Banque Mondiale, Rapport No. 36270-DZ.
- [37] Barta, R., Broner, I., Schneekloth, J. & Waskom, R. (2004). Colorado high plains irrigation practices guide. Colorado Water Resources Research Institute Special Report, 14.
- [38] Batchelor, C., Reddy, V.R., Linstead, C., Dhar, M., Roy, S. & May, R. (2014). Do water-saving technologies improve environmental flows? *Journal of Hydrology*, 518: 140-149.
- [39] Bedjou, A. (2012). Identification et organisation des connaissances utiles pour l'aide à la décision dans la gestion de la maintenance des réseaux d'assainissement et des cours d'eau urbains. Thèse de Doctorat, Université de Batna 2.
- [40] Bedrani S., Chehat F. & Ababsa S. (2001). L'agriculture algérienne en 2000, Une révolution tranquille: Le PNDA. *Prospectives Agricoles*, v(1) 51pp.
- [41] Beharry-Borg, N., Smart, J.C., Termansen, M. & Hubacek, K. (2013). Evaluating farmers' likely participation in a payment programme for water quality protection in the UK uplands. *Regional Environmental Change*, 13(3): 633-647.
- [42] Bekkar, Y., Errahj, M. & Mahdi, M. (2011). Economie de l'eau et action collective publié sous : Ahorro de agua y acción colectiva en Tadla y el Sus marroquíes. *El agua en el mundo árabe: Percepciones globales y realidades locales*. Casa Árabe e Instituto Internacional de Estudios Árabes y del Mundo Musulmán.
- [43] Benblidia M. & Thivet G. (2010), Gestion des ressources en eau : les limites d'une politique de l'offre, Plan Bleu, Les Notes d'Analyse du CIHEAM, no. 58.
- [44] Benblidia, M. (2011), L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique : Etude nationale, Algérie. Plan Bleu, Centre d'Activités Régionales PNUE-PAM, Sophia Antipolis, Juin 2011, 24p.

- [45] Benhamiche, N., Madani, K. & Laignel, B. (2014). Impact of climate changes on water resources in Algeria. *Vulnerability of Agriculture, Water and Fisheries to Climate Change*. Springer, Dordrecht. 193-205.
- [46] Benmihoub, A. & Bedrani 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 Cahier du CREAD*, 98-99: 75-101.
- [47] Benouniche M., Imache A. & Kuper M. (2010). Les locataires : Des acteurs à part entière et entièrement à part. In: Imache A., Bouarfa S., Hartani T. & Kuper M. (eds.). *La Mitidja 20 ans après: Réalités agricoles aux portes d'Alger*. Editions Alpha, Alger.
- [48] Benouniche M., Kuper M. & Hammani A. (2014a). Mener le goutte à goutte à l'économie d'eau: ambition réaliste ou poursuite d'une chimère? *Alternatives Rurales*(2).
- [49] Benouniche M., Kuper M., Hammani A. & Boesveld H. (2014b). Making the user visible: analyzing irrigation practices and farmers' logic to explain actual drip irrigation performance. *Irrigation Science*, 32(6): 405-420.
- [50] Benouniche M., Kuper M., Poncet J., Hartani T. & 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.
- [51] Berbel J. & Mateos L. (2014). Does investment in irrigation technology necessarily generate rebound effects? A simulation analysis based on an agro-economic model. *Agricultural Systems*, 128: 25-34.
- [52] Berbel J., Gutiérrez-Martín C., Rodríguez-Díaz J.A., Camacho E. & Montesinos P. (2015). Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study. *Water Resources Management*, 29(3): 663-678.
- [53] Besley T. & Case A. (1993). Modeling technology adoption in developing countries. *American Economic Review*, 83(2): 396-402.
- [54] Besley T. & Case A. (1994). Diffusion as a Learning Process: Evidence from HYV Cotton. Working Paper No. 228. Princeton University, Woodrow Wilson School of Public and International Affairs, Research Program in Development Studies.
- [55] Bessaoud O., Pellissier J.P., Rolland J.P. & Khechimi W. (2019). Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie. Rapport de recherche, CIHEAM-IAMM. hal-02137632.
- [56] Binswanger H.P. (1980). Attitudes toward risk: Experimental measurement in rural India. *American Journal of Agricultural Economics*, 62(3): 395-407.
- [57] Bisconer I. (2010). Why field crop growers love drip irrigation: Alfalfa, corn, cotton, onions, potatoes and processing tomatoes. Pittsburgh, Pennsylvania, June 20-June 23. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [58] Blazy J.M., Carpentier A. & Thomas A. (2011). The willingness to adopt agroecological innovations: Application of choice modelling to Caribbean banana planters. *Ecological Economics*, 72: 140-150.

- [59] Bogle C.R., Hartz T.K. & Nunez C. (1989). Comparison of subsurface trickle and furrow irrigation on plastic-mulched and bare soil for tomato production. *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)*.
- [60] Boserup B. (1965). *The conditions of agricultural growth: The economics of agrarian change under population pressure*. With foreword by Nicholas Kaldor. Aldine Publishing Company, Chicago.
- [61] Bouarfa S., Brelle F. & Coulon C. (2020). *Quelles agricultures irriguées demain ? Répondre aux enjeux de la sécurité alimentaire et du développement durable*. Éditions-Quæ.
- [62] Bouarfa S., Imache A., Aidaoui A. & Sellami F. (2010). Les besoins et la demande en eau d'irrigation dans la Mitidja. *La Mitidja 20 ans après : Réalités agricoles aux portes d'Alger* Editions Alpha, Alger.
- [63] Boubou N. (2015). Eau, environnement et énergies renouvelables: Vers une gestion intégrée de l'eau en Algérie. Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, Algérie.
- [64] Bouchedja A. (2012). La politique nationale de l'eau en Algérie. Euro-RIOB : 10^{ème} Conférence Internationale, Istanbul, Turquie. 17-19 Octobre.
- [65] Bouderbala A. (2019). The impact of climate change on groundwater resources in coastal aquifers: Case of the alluvial aquifer of Mitidja in Algeria. *Environmental Earth Sciences*, 78(24): 1-13.
- [66] Boudjadja A., Messahel M. & Pauc H. (2003). Ressources hydriques en Algérie du Nord. *Journal of Water Science*, 16(3): 285-304.
- [67] Boukhari, S., Djebbar, Y., Abida, H., (2008). *Prix des services de l'eau en Algérie, un outil de gestion durable*. In 4^{ème} Conférence internationale sur les ressources en eau dans le bassin Méditerranéen, Alger, 22-23 Mars 2008.
- [68] Bouri C. (2011). Les politiques de développement agricole : Le cas de l'Algérie. Impact du PNDA/PNDAR sur le développement économique. Thèse de Doctorat, Université d'Oran II, Algérie.
- [69] Bowerman B.L. & O'connell R.T. (1990). *Linear statistical models: An applied approach*. Ed. Brooks/Cole.
- [70] Brabez F. & Bedrani S. (2015). Les coopératives agricoles de services en Algérie: Etude de cas. *Les Cahiers du CREAD*, 113: 193-217.
- [71] Burnham M., Ma Z. & Zhu D. (2015). The human dimensions of water saving irrigation: lessons learned from Chinese smallholder farmers. *Agriculture and Human Values*, 32(2): 347-360.
- [72] Burt C.M., Howes D.J. & Mutziger A. (2001). Evaporation estimates for irrigated agriculture in California. Irrigation Training and Research Center. Rapport no. 01-002.
- [73] Bekkar, Y., Kuper, M., Hammani, A., Dionnet, M., & Eliamani, A. (2007). Reconversion vers des systèmes d'irrigation localisée au Maroc quels enseignements pour l'agriculture familiale. *Hommes, terre et eaux*, 137, pp.7-20.

- [74] Barham, B. L., Boucher, S., & Carter, M. R. (1996). Credit constraints, credit unions, and small-scale producers in Guatemala. *World development*, 24(5), 793-806.
- [75] Boussard, J. M. (1973). La notion d'économie d'échelle dans un secteur multiproduits, et l'avenir de l'agriculture. *Annales d'Economie et de Sociologie Rurales*, 2(1), 25-44.
- [76] Boudedja, K & Messaoudi A. (2014). Les coopératives agricoles en Algérie. Institut de la Vulgarisation Agricole, 40 p.
- [77] Bezu, S., Kassie, G. T., Shiferaw, B., & Ricker-Gilbert, J. (2014). Impact of improved maize adoption on welfare of farm households in Malawi: a panel data analysis. *World Development*, 59, 120-131.
- [78] Brennan, D. (2007). Policy interventions to promote the adoption of water saving sprinkler systems: the case of lettuce on the Ghangara Mound. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 51(3), 323-341.
- [79] Bultena, G. L., & Hoiberg, E. O. (1983). Factors affecting farmers' adoption of conservation tillage. *Journal of soil and water conservation*, 38(3), 281-284.
- [80] Byerlee, D., & De Polanco, E. H. (1986). Farmers' stepwise adoption of technological packages: evidence from the Mexican Altiplano. *American journal of agricultural economics*, 68(3), 519-527.
- [81] Bilgi, M. (1999). Socio-economic study of the IDE-promoted micro irrigation systems in Aurangabad and Bijapur. *International Development Enterprises, New Delhi*.
- [82] Brouwer, C., Prins, K., Kay, M., & Heibloem, M. (1988). Irrigation water management: irrigation methods. *Training manual*, 9(5), 5-7. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- [83] Benzerra A. (2016). Méthodologie pour l'évaluation de la durabilité en matière d'assainissement urbain. Thèse de doctorat, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 225 p.
- [84] Belkated E. (2012). Usagers de l'Eau en Algérie. Athènes-Grèce 23-24 Avril 2012, ,p19.
- [85] C.N.E.S. (2000). L'eau en Algérie : Le grand défi de demain. Projet de rapport, 15ème session plénière. Rapport du Conseil National Economique et Social, 128p.
- [86] Cahuzac E. & Bontemps C. (2008). *Stata par la pratique : Statistiques, graphiques et éléments de programmation*. Stata Press.
- [87] Caprio G. & Honohan P. (1991). Réforme du secteur financier et processus d'ajustement. *Techniques Financières et Développement*, 23: 14-21.
- [88] Carey J.M. & Zilberman D. (2002). A model of investment under uncertainty: Modern irrigation technology and emerging markets in water. *American Journal of Agricultural Economics*, 84(1): 171-183.
- [89] Cason T.N. & Uhlener R.T. (1991). Agricultural production's impact on water and energy demand: A choice modeling approach. *Resources and Energy*, 13(4): 307-321.
- [90] Caswell M. & Zilberman D. (1985). The choices of irrigation technologies in California. *American Journal of Agricultural Economics*, 67(2): 224-234.

- [91] Caswell M. & Zilberman D. (1986). The effects of well depth and land quality on the choice of irrigation technology. *American Journal of Agricultural Economics*, 68(4): 798-811.
- [92] Caswell M. (1991). Irrigation technology adoption decisions: Empirical evidence. *The Economics and Management of Water and Drainage in Agriculture*. Springer. 295-312.
- [93] Caswell M., Fuglie K.O., Ingram C., Jans S. & Kascak C. (2001). Adoption of agricultural production practices: Lessons learned from the US Department of Agriculture Area Studies Project. No. 1473-2016-120785.
- [94] Caswell M., Lichtenberg E. & Zilberman D. (1990). The effects of pricing policies on water conservation and drainage. *American Journal of Agricultural Economics*, 72(4): 883-890.
- [95] Caswell, M., Zilberman, D., & Goldman, G. (1984). Economic implications of drip irrigation. *California Agriculture*, 38(7), 4-5.
- [96] Caswell, M. (1982). The diffusion of Low-Volume Irrigation Technology in California Agriculture. Ph.D Thesis, University of California, Berkeley.
- [97] Clark, W. A., & Finley, J. C. (2008). Household water conservation challenges in Blagoevgrad, Bulgaria: a descriptive study. *Water International*, 33(2), 175-188.
- [98] Clark, B., & Foster, J. B. (2001). William Stanley Jevons and the coal question: An introduction to Jevons's "Of the Economy of Fuel". *Organization & Environment*, 14(1), 93-98.
- [99] Chandran K.M. & Surendran U. (2015). Effect on crop yield and perceptions of farmers on drip fertigation: Study from Kerala State, India. *International Journal of Scientific Research*, 4(10).
- [100] Chandran K.M. & Surendran U. (2016). Study on factors influencing the adoption of drip irrigation by farmers in humid tropical Kerala, India. *International Journal of Plant Production*, 10(3): pp.347-364.
- [101] Chavas J.-P. (2008). On the economics of agricultural production. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 52(4): 365-380.
- [102] Chebah M. (2011). Etude comparative des modes d'irrigation par aspersion et au goutte à goutte appliquée à la Tomate industrielle, Variété hybride ISMA. Atelier National sur la filière Tomate Industrielle, Guelma. 06 Avril.
- [103] Chehat F., Bedrani S., Bessaoud O., Sahli S., Lazreg M. & Bouzid A. (2018). Analyse de l'état de la sécurité alimentaire et nutritionnelle en Algérie. *Revue stratégique de la sécurité alimentaire et nutritionnelle en Algérie*, CREAD.
- [104] Chetibi I. (2007). Défi alimentaire et irrigation : Cas du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest. Mémoire de Magister, USTHB, Algérie.
- [105] Colman D. & Young T. (1989). *Principles of agricultural economics: Markets and prices in less developed countries*. Cambridge University Press.
- [106] Conley T.G. & Udry C.R. (2010). Learning about a new technology: Pineapple in Ghana. *American Economic Review*, 100(1): 35-69.

- [107] Colaizzi, P.D., A.D. Schneider, T.A. Howell, S.R. Evett. 2003. Comparison of SDI, LEPA, and Spray Efficiency for Grain Sorghum. ASAE Annual International Meeting. July 27-30, 2003, Las Vegas, Nevada. American Society of Agricultural Engineers.
- [108] Cragg, J. G. (1971). Some Statistical Models for Limited Dependent Variables with Application to the Demand for Durable Goods. *Econometrica*, 39(5), 829-844.
- [109] Coady, D. P. (1995). An Empirical analysis of fertilizer in Pakistan, *Econometrica*, 62: 213-234.
- [110] Carletto, C., De Janvry, A., & Sadoulet, E. (1996). Knowledge, toxicity, and external shocks: the determinants of adoption and abandonment of non-traditional export crops by smallholders in Guatemala. *Working paper N° 791. -University of California, Berkeley. Dept. of Agriculture and Resource Economics (USA)*.34p.
- [111] Cameron, L. A. (1999). The importance of learning in the adoption of high-yielding variety seeds. *American Journal of Agricultural Economics*, 81(1), 83-94.
- [112] Carter C. A. (2013). *Futures and Options Markets. An Introduction*. Rebel Text ed., 366p.
- [113] Colaizzi, P.D., A.D. Schneider, T.A. Howell, S.R. Evett.(2003). Comparison of SDI, LEPA, and Spray Efficiency for Grain Sorghum. ASAE Annual International Meeting. July 27-30, 2003, Las Vegas, Nevada. American Society of Agricultural Engineers.
- [114] Chiang, A. (1984). *Fundamental Methods of Mathematical Economics*, 3rd Edition.
- [115] D.S.A. (2020). *Statistiques agricoles*. Direction des Services Agricoles, Wilaya de Blida.
- [116] Daoudi A. & Wampfler B. (2010). Le financement informel dans l'agriculture algérienne: Les principales pratiques et leurs déterminants. *Cahiers Agricultures*, 19(4): 243-248.
- [117] Daoudi A. (2010). Les mécanismes de gestion des risques de défaillance dans les transactions de financement informel dans le secteur agricole en Algérie : Entre contrat et convention. Thèse de Doctorat, ENSA, Algérie.
- [118] Daoudi A. (2016). Les leçons du fonctionnement du financement informel en Algérie. *Grain de Sel*, 72: 20-21.
- [119] Daoudi A., Wampfler B. & Bedrani S. (2011). Contrat et confiance pour la gestion des risques de défaillances dans les transactions de financement informel dans le secteur agricole en Algérie. *Les Cahiers du CREAD*, 95: 79-99.
- [120] Darouich H., Gonçalves J.M., Muga A. & Pereira L.S. (2012). Water saving vs. farm economics in cotton surface irrigation: An application of multicriteria analysis. *Agricultural Water Management*, 115: 223-231.
- [121] Darouich H.M., Pedras C.M., Gonçalves J.M. & Pereira L.S. (2014). Drip vs. surface irrigation: A comparison focussing on water saving and economic returns using multicriteria analysis applied to cotton. *Biosystems Engineering*, 122: 74-90.
- [122] De Janvry A. & Sadoulet E. (2002) World poverty and the role of agricultural technology: direct and indirect effects. *Journal of Development Studies*, 38(4): 1-26.
- [123] Dhawan, B. D. (2000). Drip irrigation: Evaluating returns. *Economic and Political Weekly*, 3775-3780.

- [124] Dhehibi B., Zucca C., Frija A. & Kassam S.N. (2018). Biophysical and Econometric Analysis of Adoption of Soil and Water Conservation Techniques in the Semiarid Region of Sidi Bouzid (Central Tunisia). *New Medit*, 17(2): 15-28.
- [125] Dinar A. & Yaron D. (1990). Influence of quality and scarcity of inputs on the adoption of modern irrigation technologies. *Western Journal of Agricultural Economics*, 15(2): 224-233.
- [126] Dinar A. & Yaron D. (1992). Adoption and abandonment of irrigation technologies. *Agricultural Economics*, 6(4): 315-332.
- [127] Dinar A., Campbell M.B. & Zilberman D. (1992). Adoption of improved irrigation and drainage reduction technologies under limiting environmental conditions. *Environmental and Resource Economics*, 2(4): 373-398.
- [128] Ding Y., Schoengold K. & Tadesse T. (2009). The impact of weather extremes on agricultural production methods: Does drought increase adoption of conservation tillage practices? *Journal of Agricultural and Resource Economics*, VN 395-411.
- [129] Djaffar S. & Kettab A. (2018). La gestion de l'eau en Algérie: quelles politiques, quelles stratégies, quels avenir?. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*, 4(1). pp.641-648.
- [130] Djelouah K. (2018). Accès à l'eau et à l'assainissement en Algérie : UNCTAD Multi-year Expert Meeting on Trade, Services and Development. Water and Sanitation, Energy and Food-related Logistics Services. Geneva 7-8 May.
- [131] Dong D. & Saha A. (1998). He came, he saw,(and) he waited: An empirical analysis of inertia in technology adoption. *Applied Economics*, 30(7): 893-905.
- [132] Doorenbos J. & Pruitt W.O. (1997). La petite irrigation dans les zones arides : Principes et options. Collection FAO: Développement. Rome.
- [133] Doessel, D. P., & Strong, S. M. (1991). A neglected problem in the analysis of the diffusion process. *Applied Economics*, 23(8), 1335-1340.
- [134] Dinar, A., & Zilberman, D. (1991). The economics of resource-conservation, pollution-reduction technology selection: the case of irrigation water. *Resources and energy*, 13(4), 323-348.
- [135] Drouiche, N., Khacheba, R., & Soni, R. (2020). Water policy in Algeria. In *Water policies in MENA countries* (pp. 19-46). Springer, Cham.
- [136] El-Osta, H. S., & Morehart, M. J. (1999). Technology adoption decisions in dairy production and the role of herd expansion. *Agricultural and Resource Economics Review*, 28(1), 84-95.
- [137] Ellis F. (1993). *Peasant Economics: Farm Households in Agrarian Development*. Cambridge University Press.
- [138] Elmeddahi Y., Issaadi A., Mahmoudi H., Abbes T.M. & Goossen M.F.A. (2014): Effect of climate change on water resources of the Algerian Middle Cheliff basin. *Desalination and Water Treatment*, 52(9-12): 2073-2081.

- [139] Elmeddahi, Y. (2016). Les changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau, cas du bassin du Cheliff Université Hassiba Ben Bouali – Chlef, 245p.
- [140] Espinosa-Goded M., BarreiroHurlé J. & Ruto E. (2010). What do farmers want from agri-environmental scheme design? A choice experiment approach. *Journal of Agricultural economics*, 61(2): 259-273.
- [141] Evenson R.E. & Westphal L.E. (1995). Technological change and technology strategy. *Handbook of Development Economics*. v. 3. North-Holland, Elsevier. 2209-2299.
- [142] El Amrani M. (2002) Evaluation de l'impact de la diffusion d'une innovation technique agricole sur les systèmes de production et sur la durabilité de l'agriculture. Le cas de la motopompe à eau dans la zone semi-aride de Saïs au Maroc- Thèse de doctorat. Faculté Universitaire des sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, p.151.
- [143] F.A.O. (2012). Le passage à l'irrigation localisée collective. Les résultats d'une expérience dans le périmètre des Doukkala. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Rome: Italie.
- [144] F.A.O. (2015a). Indicateurs sensibles au genre pour l'agriculture et l'eau en Algérie. Rapport interne. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Rome: Italie.
- [145] F.A.O. (2015b). Aquastat Profil de Pays: Algérie. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Rome: Italie. 21p.
- [146] Fanack Water (2019). *Water Use in Algeria*. Retrieved from (URL : <https://water.fanack.com/algeria/water-use/>).
- [147] Feder G. & O'Mara G.T. (1981). Farm size and the diffusion of green revolution technology. *Economic Development and Cultural Change*, 30(1): 59-76.
- [148] Feder G. & O'Mara G.T. (1982). On information and innovation diffusion: A Bayesian approach. *American Journal of Agricultural Economics*, 64(1): 145-147.
- [149] Feder G. & Slade R. (1984). The acquisition of information and the adoption of new technology. *American Journal of Agricultural Economics*, 66(3), 312-320.
- [150] Feder G. & Umali D.L. (1993). The adoption of agricultural innovations: A review. *Technological Forecasting and Social Change*, 43(3-4): 215-239.
- [151] Feder G., Just R.E. & Zilberman D. (1985). Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. *Economic Development and Cultural Change*, 33(2): 255-298.
- [152] Feder, G., & Umali, D. L. (1993). The adoption of agricultural innovations: a review. *Technological forecasting and social change*, 43(3-4), 215-239.
- [153] Feltz, N. (2016). Evaluation de l'efficience et de la performance des périmètres irrigués en transition: une méthodologie intégrée appliquée au cas de la plaine des Triffa au Maroc. Doctoral dissertation, UCL-Université Catholique de Louvain.
- [154] Ferchichi I., Marlet S. & Zairi A. (2017). How Farmers deal with water scarcity in community-managed irrigation systems: A case study in Northern Tunisia. *Irrigation and Drainage*, 66(4): 556-566.

- [155] Ferchichi I., Zaïri A.A., Marlet S. & Ajmi T. (2018). Gestion de la pénurie d'eau dans les périmètres de sauvegarde des agrumes au Cap Bon: une analyse croisée des politiques publiques et des pratiques locales d'irrigation. *Alternatives Rurales*(6).
- [156] Fernandez-Cornejo J. (1996). The microeconomic impact of IPM adoption: Theory and application. *Agricultural and Resource Economics Review*, 25(2): 149-160.
- [157] Ferrah A. & Yahiaoui S. (2004). Eau et agriculture en Algérie. Groupe de recherche pour le développement de l'agriculture algérienne, Alger,17p.
- [158] Feuillette, S. (2001). Vers une gestion de la demande en eau en accès libre: Exploration des interactions entre ressource et usages par les systèmes Multi-Agent : Application à la nappe de Kairouan, Tunisie Centrale. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France.
- [159] Foster, J. B. (2002). Capitalism and ecology: The nature of the contradiction. *Monthly review*, 54(4), pp.6-16.
- [160] Friedlander L., Tal A. & Lazarovitch N. (2013). Technical considerations affecting adoption of drip irrigation in sub-Saharan Africa. *Agricultural Water Management*, 126: 125-132.
- [161] Foster, A. D., & Rosenzweig, M. R. (1995). Learning by doing and learning from others: Human capital and technical change in agriculture. *Journal of political Economy*, 103(6), 1176-1209.
- [162] Fabre , G. & De Abreu , B. (2018). Etude de la tarification de l'eau brute des barrages en Algérie ,BRL Ingénierie In : Atelier régional sur les instruments économiques pour la gestion de la demande en eau en Méditerranée , CMI, Marseille, 12-13 avril 2018, Rapport de synthèse p19.*
- [163] Foltz, J. D. (2003). The economics of water-conserving technology adoption in Tunisia: An empirical estimation of farmer technology choice. *Economic development and cultural change*, 51(2), 359-373.
- [164] Gallardo R.K. & Sauer J. (2018). Adoption of labor-saving technologies in agriculture. *Annual Review of Resource Economics*, 10: 185-206.
- [165] Garb Y. & Friedlander L. (2014). From transfer to translation: Using systemic understandings of technology to understand drip irrigation uptake. *Agricultural Systems*, 128:13-24.
- [166] García-Mollá M., Sanchis-Ibor C., Ortega-Reig M.V. & Avellá-Reus L. (2013). Irrigation associations coping with drought: the case of four irrigation districts in Eastern Spain. In:*Drought in arid and semi-arid regions*. Springer, Dordrecht. Pp.101-122.
- [167] Garcia-Vega M. & Lopez A. (2010). Determinants of abandoning innovative activities: Evidence from Spanish firms. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 13(45): 69-91.
- [168] Genius M., Koundouri P, Nauges C, Tzouvelekas V (2014) Information transmission in irrigation technology adoption and diffusion: Social learning, extension services, and spatial effects. *American Journal of Agricultural Economics*, 96(1):328-344.

- [169] Ghadim A.K.A. & Pannell D.J. (1999). A conceptual framework of adoption of an agricultural innovation. *Agricultural Economics*, 21(2): 145-154.
- [170] Ghosh S.K. (1991). *Econometrics theory and applications*. Prentice-Hall International Editions.
- [171] Giorgi F. & Lionello P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63(2-3): 90-104.
- [172] González-Cebollada C. (2015). Water and energy consumption after the modernization of irrigation in Spain. *WIT Transactions on The Built Environment*, 168: 457-465.
- [173] Graveline N., Majone B., Van Duinen R. & Ansink E. (2014). Hydro-economic modeling of water scarcity under global change: an application to the Gállego river basin (Spain). *Regional Environmental Change*, 14(1): 119-132.
- [174] Green G., Sunding D., Zilberman D. & Parker D. (1996a). Explaining irrigation technology choices: A microparameter approach. *American Journal of Agricultural Economics*, 78(4): 1064-1072.
- [175] Green G., Sunding D., Zilberman D., Parker D., Trotter C. & Collup S. (1996b). How does water price affect irrigation technology adoption? *California Agriculture*, 50(2): 36-40.
- [176] Green G.P. & Sunding D.L. (1997). Land allocation, soil quality, and the demand for irrigation technology. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 22(2): 367-375.
- [177] Greene W.H. (2003). *Econometric Analysis*. 5th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- [178] Griliches, Z. (1957), "Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change", *Econometrica* 25(4):501-522.
- [179] Gore, A. P., & Lavaraj, U. A. (1987). Innovation diffusion in a heterogeneous population. *Technological Forecasting and Social Change*, 32(2), 163-167.
- [180] Gladwin, C. H. (1979). Cognitive strategies and adoption decisions: A case study of nonadoption of an agronomic recommendation. *Economic development and cultural change*, 28(1), 155-173.
- [181] Gujarati, D.N. (2003). *Basic Econometrics*. 4th Edition, McGraw-Hill, New York.
- [182] Goldberger S. (1964). *Econometric theory*. *Nav. Res. Logistics Quart.*, vol. 11(2), pp. 230–231.
- [183] Goldberger, A. S. (1981). Linear regression after selection. *Journal of Econometrics*, 15(3), 357-366.
- [184] Gronau, R. (1974). Wage comparisons-A selectivity bias. *Journal of political Economy*, 82(6), 1119-1143.
- [185] Hadibi A., Chekired-Bouras F.Z. & Mouhouche B. (2008). Analyse de la mise en œuvre du plan national de développement agricole dans la première tranche du périmètre de la Mitidja Ouest, Algérie. *In: Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb*, CIRAD, 9p.

- [186] Hamiche A., Stambouli A. & 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.
- [187] Hamiche A., Stambouli A., Flazi S., Tahri A. & Koinuma H. (2018). Desalination in Algeria: Current State and Recommendations for Future Projects. In: *Thermo-Mechanics Applications and Engineering Technology*. Springer, Cham. 37-58.
- [188] Hausman J.A., Hall B.H. & Griliches Z. (1984). Econometric models for count data with an application to the patents-R and D relationship. *Econometrica*, 52(n): 909-938.
- [189] Hayami Y. & Ruttan V.W. (1971). *Agricultural development: An international perspective*. Baltimore: The John Hopkins University Press.
- [190] He X.F., Cao H. & Li F. M. (2007). Econometric analysis of the determinants of adoption of rainwater harvesting and supplementary irrigation technology (RHSIT) in the semiarid Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 89(3): 243-250.
- [191] Heckman J.J. (1976). The common structure of statistical models of truncation, sample selection and limited dependent variables and a simple estimator for such models. *Annals of Economic and Social Measurement*, 5(4): 475-492.
- [192] Heumesser C., Fuss S., Szolgayová J., Strauss F. & Schmid E. (2012). Investment in irrigation systems under precipitation uncertainty. *Water Resources Management*, 26(11):3113-37.
- [193] Hilbe J.M. (2007). *Negative Binomial Regression*: Cambridge University Press.
- [194] Holden S.T. & Quiggin J. (2017) Climate risk and state-contingent technology adoption: shocks, drought tolerance, and preferences. *European Review of Agricultural Economics*, 44(2):285-308.
- [195] Hosmer D.W. & Lemeshow S.L. (2000). *Applied Logistic Regression*. 2nd ed. NJ: Wiley-Interscience.
- [196] Huang Q., Wang J. & Li Y. (2017). Do water saving technologies save water? Empirical evidence from North China. *Journal of Environmental Economics and Management*, 82: 1-16.
- [197] Hui F.K.C., Warton D.I. & Foster S.D. (2015). Order selection in finite mixture models: complete or observed likelihood information criteria? *Biometrika*, 102(n): 724–730.
- [198] Hunecke C., Engler A., Jara-Rojas R. & Poortvliet P.M. (2017). Understanding the role of social capital in adoption decisions: An application to irrigation technology. *Agricultural Systems*, 153: 221-231.
- [199] Howell, T .A. (2003). Water Loss Comparisons of Sprinkler Packages. Central Plains Irrigation Short Course and Exposition. Colby, Kansas. Central Plains Irrigation Association, Colby, Kansas.
- [200] Howell, T.A. (2002). Irrigation System Efficiencies. Proceedings of Central Plains Irrigation Short Course and Exposition. Lamar, Colorado. Central Plains Irrigation Association, Colby, Kansas.

- [201] Heckman, J. (1976). The common structure of statistical models of truncation, sample selection and limited dependent variables and a simple estimation for such models. *Annals of Economic and Social Measurement*, 5: 475-492.
- [202] Hiebert, L. D. (1974). Risk, learning, and the adoption of fertilizer responsive seed varieties. *American Journal of Agricultural Economics*, 56(4), 764-768.
- [203] Hanemann, W. M. (1984). Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses. *American journal of agricultural economics*, 66(3), 332-341.
- [204] Hurlin, C. (2003). *Econométrie des variables qualitatives: Polycopié de cours. Maîtrise d'Econométrie, Université d'Orléans.*
- [205] I.N.T.E.R.A. (2013). Remote-sensing-based comparison of water consumption by drip-irrigated versus flood-irrigated fields. Deming, New Mexico. Report Prepared for New Mexico Interstate Stream Commission.
- [206] Ibrahim J.G., Zhu H. & Tang N. (2008). Model selection criteria for missing-data problems using the em algorithm. *Journal of the American Statistical Association*, 103: 1648-1658.
- [207] Imache A. & Belarbia F. (2010). L'agriculture dans la Mitidja : Des opportunités économiques à saisir. In: *La Mitidja 20 ans après, réalités agricoles aux portes d'Alger.* Editions Alpha, Alger.
- [208] Imache A. (2004). Les caractéristiques socio-économique de la gestion de l'eau d'irrigation dans la Mitidja Ouest . Mémoire de DEA, ENSA de Montpellier, France.
- [209] Imache A. (2009). Construction de la demande en eau agricole au niveau régional en intégrant le comportement des agriculteurs : Application aux exploitations agricoles collectives de la Mitidja-Ouest (Algérie). Thèse de Doctorat, Agro Paris Tech, France.
- [210] Imache A., Kuper M., Bouarfa S., Hartani T. & Dionnet M. (2011). Les « marchés » de l'eau et de la terre dans la plaine de la Mitidja en Algérie: opportunités et fragilités. pp9.
- [211] Imache, A., Chabaca, M., Djebbara, M., Merabet, B., Hartani, T., Bouarfa, S., ... & Le Grusse, P. (2006). Demandes en eau des exploitations agricoles du périmètre irrigué de la Mitidja ouest (Algérie). In *Economies d'eau en Systèmes Irrigués au Maghreb. Deuxième atelier régional du projet Sirma.* 15p.
- [212] Jackson T.M., Khan S. & Hafeez M. (2010). A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level. *Agricultural Water Management*, 97(10): 1477-1485.
- [213] Jansen H.G. (1992). Inter-regional variation in the speed of adoption of modern cereal cultivars in India. *Journal of Agricultural Economics*, 43(1): 88-95.
- [214] Jevons W.S. (1865). *The Coal Question.* London: Macmillan & Co.
- [215] Johnson G.S., Sullivan W.H. & Cosgrove D.M. (1999). Recharge of the snake river plain aquifer: Transitioning from incidental to managed. *Journal of American Water Resource Association*, 35 (1): 123-131.
- [216] Jones A.M. & Yen S. T. (2000). A Box–Cox double-hurdle model. *The Manchester School*, 68(2): 203-221.

- [217] Jones A.M. (1989). A double-hurdle model of cigarette consumption. *Journal of Applied Econometrics*, 4(1): 23-39.
- [218] Jordán C. & Speelman S. (2020). On-farm adoption of irrigation technologies in two irrigated valleys in Central Chile: The effect of relative abundance of water resources. *Agricultural Water Management*, 236: 106147.
- [219] Just R.E. & Zilberman D. (1983). Stochastic structure, farm size and technology adoption in developing agriculture. *Oxford Economic Papers*, 35(2): 307-328.
- [220] Just R.E., Zilberman D. & Rausser G.C. (1980). A putty-clay approach to the distributional effects of new technology under risk. *Operations Research in Agriculture and Water Resources*, v(n): 97-121.
- [221] Johns K (2017). Facteurs d'adoption de l'agroforesterie par les paysans de la province de Cienfuegos à Cuba. Mémoire de Maîtrise en agroforesterie. Université Laval Canada, 196p.
- [222] Jensen, R. (1982). Adoption and Diffusion of an Innovation of Uncertain Profitability. *Journal of economic theory*, 27(1), 182-193.
- [223] Karami, E. (2006). Appropriateness of farmers' adoption of irrigation methods: The application of the AHP model. *Agricultural Systems*, 87(1): 101-119.
- [224] Kennedy P. (2008). *A Guide to Econometrics*. John Wiley & Sons.
- [225] Khanna M. (2001). Sequential adoption of site-specific technologies and its implications for nitrogen productivity: A double selectivity model. *American Journal of Agricultural Economics*, 83(1): 35-51.
- [226] Kherbache N. (2014). La problématique de l'eau en Algérie: Enjeux et contraintes. Mémoire de Magister, Université de Béjaia, Algérie.
- [227] Kim K. & Chavas J.P. (2003). Technological change and risk management: An application to the economics of corn production. *Agricultural Economics*, 29(2): 125-142.
- [228] Kivlin J.E. & Fliegel F.C. (1967). Differential perceptions of innovations and rate of adoption. *Rural Sociology*, 32(1): 78-91.
- [229] Knudson M.K. (1991). Incorporating technological change in diffusion models. *American Journal of Agricultural Economics*, 73(3): 724-733.
- [230] Koundouri P., Nauges C. & Tzouvelekas V. (2006). Technology adoption under production uncertainty: Theory and application to irrigation technology. *American Journal of Agricultural Economics*, 88(3): 657-670.
- [231] Kuhfuss L., Préget R. & Thoyer S. (2014). Préférences individuelles et incitations collectives : quels contrats agroenvironnementaux pour la réduction des herbicides par les viticulteurs ? *Review of Agricultural and Environmental Studies*, 95(906-2016-71327): 111-143.
- [232] Kulecho I.K. & Weatherhead E.K. (2006). Adoption and experience of low-cost drip irrigation in Kenya. *Irrigation and Drainage*, 55(4): 435-444.

- [233] Kuper M., Faysse N., Hammani A., Hartani T., Hamamouche M.F. & Ameer F. (2016). Liberation or anarchy? The janus nature of groundwater use on North Africa's new irrigation frontiers. *In: Integrated Groundwater Management*, Springer. 583-615.
- [234] Koppel, B. (1995). *Induced innovation theory and international agricultural development: A reassessment*. Johns Hopkins University Press.
- [235] Landry R. Amara N. & Doloreux D. (2012). Knowledge-exchange strategies between KIBS firms and their clients. *Service Industries Journal*, 32(1-2): 291-320.
- [236] Laoubi K. (2009). Irrigation schemes management in Algeria: An assessment of water and agricultural policy impact and sustainable development perspectives. Thèse de Doctorat, Hiroshima University.
- [237] Lecina S., Isidoro D., Playan E. & Aragues R. (2010). Irrigation modernization in Spain: Effects on water quantity and quality—A conceptual approach. *Water Resources Development*, 26(2): 265-282.
- [238] Lecina S., Isidoro D., Playan E. & Aragues R. (2010b). Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragón. *Agricultural Water Management*, 97: 1663-1675.
- [239] Lewin S.B. (1996). Economics and psychology: Lessons for our own day from the early twentieth century. *Journal of Economic Literature*, 34(3): 1293-1323.
- [240] Li H. & Zhao J. (2018). Rebound effects of new irrigation technologies: The role of water rights. *American Journal of Agricultural Economics*, 100(3): 786-808.
- [241] Li, J., Ma, W., Renwick, A. and Zheng, H. (2020), "The impact of access to irrigation on rural incomes and diversification: evidence from China", *China Agricultural Economic Review*, 12 (4) :705-725.
- [242] Lichtenberg E. (1989). Land quality, irrigation development, and cropping patterns in the northern high plains. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(1):187-194.
- [243] Lichtenberg E. (2004). Cost-responsiveness of conservation practice adoption: A revealed preference approach. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, v(n): 420-435.
- [244] Lin Lawell C.Y.C. (2016). The management of groundwater: Irrigation efficiency, policy, institutions, and externalities. *Annual Review of Resource Economics*, 8: 247-259.
- [245] Long J.S. & Freese J. (2006). *Regression models for categorical dependent variables using Stata*. Vol. 7. Stata Press.
- [246] López-Gunn E., Mayor B. & Dumont A. (2012). Implications of the modernization of irrigation systems. *In: Water, agriculture and the environment in Spain: Can we square the circle*, Edition. 241-253.
- [247] Lucas Jr, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of monetary economics*, 22(1), 3-42.
- [248] Lamm, F.R., D.M. O'Brien, D.H. Rogers, T.J. Dumler.(2003). Center Pivot Sprinkler and SDI Economic Comparisons. Central Plains Irrigation Short Course and Exposition. Central Plains Irrigation Association, Colby, Kansas.

- [249] Langenberg V., Bruning B., de Vos A., van der Heijden A., de La Loma Gonzalez B. (2021). Water in agriculture in three Maghreb countries: Status of water resources and opportunities in Algeria, Morocco and Tunisia , Report,141p.
- [250] Lindner, R., Fischer, A., & Pardey, P. (1979). The time to adoption. *Economics Letters*, 2(2), 187-190.
- [251] Lindner, R., & Fischer, A. (1981). *Risk Aversion, Information Quality and the Innovation Adoption Time Lag* (No. 1981-17). University of Adelaide, School of Economics.
- [252] Leathers, H. D., & Smale, M. (1991). A Bayesian approach to explaining sequential adoption of components of a technological package. *American Journal of Agricultural Economics*, 73(3), 734-742.
- [253] Leathers, H. D., & Quiggin, J. C. (1991). Interactions between agricultural and resource policy: the importance of attitudes toward risk. *American Journal of Agricultural Economics*, 73(3), 757-764.
- [254] Lankford, B. (2006). Localising irrigation efficiency. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, 55(4), 345-362.
- [255] Moulai, A.(2009). Rethinking Rural Development in the Mediterranean: Proceedings of the Regional Workshop on Sustainable Agriculture and Rural Development. Reports Series No. 172.UNEP/MAP/BLUE PLAN/CIHEAM, p.1140.
- [256] M.A.D.R.(2003). Recensement General de L'agriculture – 2001.Rapport général des résultats définitifs. Direction des statistiques agricoles et des systèmes s'information,125p.
- [257] M.A.D.R. (2008). Décision no. 2023 du 15 décembre 2008 du MADR fixant les conditions d'éligibilité au soutien sur le compte d'affectation spéciale no. 306-067 intitulé « Fonds National de Développement de l'Investissement Agricole (FNDIA) » ainsi que les modalités de paiement des subventions.
- [258] M.A.D.R. (2010). Décision no. 161 du 07 avril 2010 définissant les mécanismes de mise en œuvre du soutien sur le FNDIA pour l'acquisition d'équipements d'irrigation au titre du programme 2010.
- [259] M.A.D.R. (2014). Décision no. 943 du 02 octobre 2014 du MADR fixant les conditions d'éligibilité au soutien sur le compte d'affectation spéciale no. 302-139 intitulé « Fonds National de Développement de l'Investissement Agricole (FNDIA) » ainsi que les modalités de paiement des subventions.
- [260] M.A.D.R. (2019). Final Report on Expansion of Irrigated Areas in Algeria. Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural, Algérie.
- [261] M.A.D.R. (2020). Feuille de route : Actions projetées 2020-2024. Document du Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural, Algérie.
- [262] M.A.T.E. (2001) : Élaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques. Projet ALG/98/G31. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Algérie.

- [263] M.A.T.E. (2010). Seconde communication nationale de Algérie sur les changements climatiques à la CCNUCC. Projet 00039149/GEF/PNUD. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Algérie.
- [264] MRE (2005) : « Géographie et hydrologie ». Cadre général de la planification des ressources en eau de l'Algérie : horizon de planification 2030, 12p.
- [265] M.R.E. (2014). Notes de synthèse sur l'hydraulique agricole. Ministère des Ressources en Eaux. Direction de l'Hydraulique Agricole, Algérie.
- [266] M.R.E. (2014a). Rapport statistique. Ministère des Ressources en Eau, Algérie.
- [267] M.R.E. (2014b). Mobilisation et transfert. Ressources conventionnelles : Ressources superficielles. Ministère des Ressources en Eaux, Algérie.
- [268] M.R.E. (2020). Rapport statistique. Ministère des Ressources en Eau, Algérie.
- [269] MacDonald, J. M., & Lattimore, P. K. (2010). Count Models in Criminology Handbook of Quantitative Criminology (pp. 683-698): Springer.
- [270] MacDonnell L.J. (2012). Montana v. Wyoming: Sprinklers, irrigation water use efficiency and the doctrine of recapture. *Golden Gate U. Env'tl. LJ*, 5, 265.
- [271] Mahama A., Awuni J.A., Mabe F.N. & Azumah S.B. (2020). Modelling adoption intensity of improved soybean production technologies in Ghana-a Generalized Poisson approach. *Heliyon*, 6(3): e03543.
- [272] Malik, R.P.S., Giordano, M., & Rathore, M.S. (2018). The negative impact of subsidies on the adoption of drip irrigation in India: evidence from Madhya Pradesh. *International Journal of Water Resources Development*, 34(1): 66-77.
- [273] Mansfield E. (1961). Technical change and the rate of imitation. *Econometrica*, 29(4): 741-766.
- [274] Marra M., Pannell D.J. & Ghadim A.A. (2003). The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: Where are we on the learning curve?. *Agricultural Systems*, 75(2-3): 215-234.
- [275] Masih I. & Giordano M. (2014). Constraints and opportunities for water savings and increasing productivity through resource conservation technologies in Pakistan. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187: 106-115.
- [276] McCullagh P. & Nelder J.A. (1989). *Generalized Linear Models*. NY: Chapman & Hall.
- [277] Mebarki A. (2010). La région du Maghreb face à la rareté de l'eau. L'exemple du défi algérien : Mobilisation et gestion durable des ressources. 2nd International Conference: Climate, Sustainability and Development in semi-arid regions August 16-20, Fortaleza, Ceará, Brazil.
- [278] Mebarki, A. (2005). Hydrologie des bassins de l'est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. These de doctorat, Université de Constantine I, Algérie.
- [279] Meddi H., Boufekane A. & Meddi M. (2014). Impact of climate change on groundwater (the Mitidja plain). 41st IAH International Congress on Groundwater : Challenges and Strategies. Marrakech, September, 15-19.

- [280] Melgar M.C., Ordaz J.A. & Guerrero F.M. (2005). Diverses alternatives pour déterminer les facteurs significatifs de la fréquence d'accidents dans l'assurance automobile. *Insurance and Risk Management*, 73(1): 31-54.
- [281] Mensah-Bonsu, A., Sarpong, D.B., Al-Hassan, R., Asuming-Brempong, S., Egyir, I.S., Kuwornu, J.K., & Osei-Asare, Y.B. (2017). Intensity of and factors affecting land and water management practices among smallholder maize farmers in Ghana. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 12(2): 142-157.
- [282] Messahel M., Benhafid M.S. (2007). Gestion du périmètre d'irrigation de la Mitidja Ouest tranche 1 (Algérie). Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches, 59: 59 -66.
- [283] Meddi, M., Talia, A., & Martin, C. (2009). Évolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, (Volume 3), 61-84.
- [284] Molden D., Murray-Rust H., Sakthivadivel R. & Makin I. (2003). A water productivity framework for understanding and action. In: *Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement*. UK: CABI Publishing. 1-18.
- [285] Molden D., Oweis T.Y., Pasquale S., Kijne J.W., Hanjra M.A., Bindraban P.S., & Zwart S. (2007). Pathways for increasing agricultural water productivity. Workong Paper No. 612-2016-40552.
- [286] Molle F. & Tanouti O. (2017). La micro-irrigation et les ressources en eau au Maroc: Un coûteux malentendu. *Alternatives Rurales*, 5: 22-39.
- [287] Monger R.G., Suter J.F., Manning D.T. & Schneekloth J.P. (2018). Retiring land to save water: participation in Colorado's Republican River Conservation Reserve Enhancement Program. *Land Economics*, 94(1): 36-51.
- [288] Montginoul M. (1997). Une approche économique de la gestion de l'eau d'irrigation : Des instruments, de l'information et des acteurs. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier I, France.
- [289] Moreno G. & Sunding D. L. (2003). Simultaneous estimation of technology adoption and land allocation. Annual Meeting, of the American Agricultural Economics Association. July 27-30, Montreal, Canada. No. 22134.
- [290] Moreno G. & Sunding D.L. (2005). Joint estimation of technology adoption and land allocation with implications for the design of conservation policy. *American Journal of Agricultural Economics*, 87(4): 1009-1019.
- [291] Mosbahi Z. (2019). Algeria country commercial guide: Algeria – Public works, infrastructure development, and water resources. International Trade Administration.
- [292] Mozas, M., & Ghosn, A. (2013). État des lieux du secteur de l'eau en Algérie. *Institut de Perspective Économique du Monde Méditerranéen (IPMED)*.p27.
- [293] Mounier, A. (1992). Les théories économiques de la croissance agricole. INRA, Paris, France, 427p.

- [294] Marshall, G. R. (2004). Farmers cooperating in the commons? A study of collective action in salinity management. *Ecological economics*, 51(3-4), 271-286.
- [295] Moore, M. R., Gollehon, N. R., & Carey, M. B. (1994). Multicrop production decisions in western irrigated agriculture: the role of water price. *American Journal of Agricultural Economics*, 76(4), 859-874.
- [296] Manski, C. F. (1977). The structure of random utility models. *Theory and decision*, 8(3), 229.
- [297] Noltze, M., Schwarze, S., & Qaim, M. (2012). Understanding the adoption of system technologies in smallholder agriculture: The system of rice intensification (SRI) in Timor Leste. *Agricultural systems*, 108, 64-73.
- [298] Nagaraj N., Frasier W.M. & Sampath R.K. (2000). A comparative study of groundwater institutions in the Western United States and Peninsular India for sustainable and equitable resource use. In: *Constituting the Commons: Crafting Sustainable Commons in the New Millennium, the Eighth Conference of the International Association for the Study of Common Property*. p43.
- [299] Namara R., Upadhyay B. & Nagar R. K. (2005). Adoption and impacts of microirrigation technologies: Empirical results from selected localities of Maharashtra and Gujarat States of India. IWMI, Vol. 93.
- [300] Namara R.E., Nagar R.K. & Upadhyay B. (2007). Economics, adoption determinants, and impacts of micro-irrigation technologies: empirical results from India. *Irrigation Science*, 25(3): 283-297.
- [301] Namegabe J.L.M. (2006). Le rôle des goulots d'étranglement de la commercialisation dans l'adoption des innovations agricoles chez les producteurs vivriers du Sud-Kivu, Est de la R.D. Congo. Thèse de Doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique.
- [302] Narayanamoorthy A. (1997). Economic viability of drip irrigation: An empirical analysis from Maharashtra. *Indian Journal of Agricultural Economics*, 52(4): 728-739.
- [303] Narayanamoorthy A. (2003). Averting water crisis by drip method of irrigation: A study of two water-intensive crops. *Indian Journal of Agricultural Economics*, 58(3): 427-437.
- [304] Narayanamoorthy A. (2004). Impact assessment of drip irrigation in India: the case of sugarcane. *Development Policy Review*, 22(4): 443-462.
- [305] Negri D.H. & Brooks D.H. (1990). Determinants of irrigation technology choice. *Western Journal of Agricultural Economics*, 15(2): 213-223.
- [306] Nieswiadomy M.L. (1988). Input substitution in irrigated agriculture in the high plains of Texas, 1970-80. *Western Journal of Agricultural Economics*, 13: 63-70.
- [307] Nagy, J. G., & Sanders, J. H. (1990). Agricultural technology development and dissemination within a farming systems perspective. *Agricultural Systems*, 32(4), 305-320.
- [308] A.G.I.D. (1990). Cahier d'instruction pour l'exploitation du périmètre irrigué de la Mitidja ouest, tranche I. Ministère des ressources en eau, AGID. Mai 1990.

- [309] O.N.I.D. (2010). Statistiques des Exploitations des Grands Périmètres d'Irrigation. Documents de l'ONID. Office National des Irrigations et du Drainage, Algérie.
- [310] O.N.I.D. (2014). Bilan annuel des campagnes d'irrigation des périmètres irrigués. Unité de la Mitidja Ouest, Blida. Office National des Irrigations et du Drainage, Algérie.
- [311] O.N.I.D. (2015). Bilan annuel des campagnes d'irrigation des périmètres irrigués. Unité de la Mitidja Ouest, Blida. Office National des Irrigations et du Drainage, Algérie.
- [312] O.N.I.D. (2016). Bilan annuel des campagnes d'irrigation des périmètres irrigués. Unité de la Mitidja Ouest, Blida. Office National des Irrigations et du Drainage, Algérie.
- [313] O.N.I.D. (2017a). Coût de revient de la vente de l'eau. Office National de l'Irrigation et Drainage, Algérie.
- [314] O.N.I.D. (2017b). Bilan annuel des campagnes d'irrigation des périmètres irrigués. Unité de la Mitidja Ouest, Blida. Office National des Irrigations et du Drainage, Algérie.
- [315] O.N.I.D. (2020). Bilan annuel des campagnes d'irrigation des périmètres irrigués. Office National des Irrigations et du Drainage, Algérie.
- [316] O.S.S. (2004). The North-Western Sahara Aquifer system, Basin Awareness, Hydrogeology – Vol. II. Observatoire du Sahara et du Sahel.
- [317] Olen B., Wu J. & Langpap C. (2015). Irrigation decisions for major west coast crops: Water scarcity and climatic determinants. *American Journal of Agricultural Economics*, 98(1): 254-275.
- [318] O'Mara G.T. (1971). A decision theoretic view of the microeconomics of technique diffusion in a developing country. Ph.D Dissertation, Stanford University, USA.
- [319] Omari C. & Moisson J.Y. (2012). L'agriculture algérienne face aux défis alimentaires. *Revue Tiers Monde*, V(2): 123-141.
- [320] Oubraham F., Bédrani S. & Belhouadjeb F. A. (2021). La bonification du crédit favorise-t-elle vraiment le financement des exploitations agricoles? Cas de la Wilaya de Laghouat en Algérie. *Cahiers Agricultures*, v30, 23pp.
- [321] Oulmane A. (2018). Gestion de l'eau d'irrigation en Algérie: d'une politique de l'offre vers une politique de gestion de la demande. Thèse de Doctorat, ENSA, Algérie.
- [322] ONS. (2015). Statistiques sur l'environnement. Collections Statistiques N° 177/2013. *La Direction Technique Chargée des Statistiques Régionales et de la Cartographie, Algérie, 110p.*
- [323] O'Brien, D., D.H. Rogers, F. Lamm, G. Clark.(1998). Economic Comparison of SDI and Center Pivots For Various Field Sizes. Proceedings of Central Plains Irrigation Short Course and Exposition. Central Plains Irrigation Association, Colby, Kansas.
- [324] O'Brien, D.M, F.R. Lamm.(2000). The Economics of Converting from Surface to Sprinkler Irrigation Systems for Lower Pumping Capacity Wells. Proceedings of Central Plains Irrigation Short Course and Exposition. Central Plains Irrigation Association, Colby, Kansas.
- [325] Olsen, R. J., (1978). Note on the uniqueness of the maximum likelihood estimator for the Tobit model. *Econometrica* , 46(5):1211-15.

- [326] O'Brien, D.M. and F.R. Lamm (1999). Economics of Surface and Sprinkler Irrigation System Conversion for Lower Capacity Systems. Proceedings of Central Plains Irrigation Short Course and Exposition. Central Plains Irrigation Association, Colby, Kansas.
- [327] P.N.E. (2010a). Les ressources en eau souterraine. Rapport de la mission 2, Volet 2, Tome 1. Réalisation de l'étude d'actualisation du Plan National de l'Eau. Groupement SOFRECO-Grontmij/Carl-Bro-Progress-OIEau.
- [328] PNE (2010b) : « Les ressources en eau superficielles : Étude des volumes régularisables ». Rapport de la mission 2-volet 1-tome 2. Réalisation de l'étude d'actualisation du Plan National de l'Eau. Groupement SOFRECO-Grontmij/Carl-Bro-Progress-OIEau. p.108.
- [329] P.N.E. (2011). Adéquation des ressources et demandes. Rapport de la mission 4, volet A. Réalisation de l'étude d'actualisation du Plan National de l'Eau. Groupement SOFRECO-Grontmij/Carl-Bro-Progress-OIEau. p207 .
- [330] P.N.U.D. (2009). Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie. Rapport du Programme des Nations Unies pour le Développement. Algérie, 19 p.
- [331] P.N.U.D. (2020). Algérie -Rapport National Volontaire – Progression de la mise en œuvre des ODD. Programme des Nations Unies pour le Développement. Algérie, 176 p.
- [332] Pan Y., Smith S.C. & Sulaiman M. (2018) Agricultural extension and technology adoption for food security: evidence from Uganda. *American Journal of Agricultural Economics*, 100(4):1012–1031.
- [333] Pellissier J.P., Frayssignes J. & Ahmed Z. (2015). Les territoires ruraux en Méditerranée, quelles politiques publiques pour accompagner les dynamiques de développement?. No. 112, CIHEAM.
- [334] Perry C., Steduto P. & Karajeh F. (2017). Does improved irrigation technology save water? A review of the evidence. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Cairo, 42.
- [335] Perry C.J. (1999). The IWMI water resources paradigm — definitions and implications. *Agricultural Water Management*, 40: 45–50.
- [336] Peterson J.M. & Ding Y. (2005). Economic adjustments to groundwater depletion in the high plains: Do water-saving irrigation systems save water? *American Journal of Agricultural Economics*, 87(1): 147-159.
- [337] Pfeiffer L. & Lin C.Y.C. (2010). The effect of irrigation technology on groundwater use. *Choices*, 25(3). Published By: *Agricultural & Applied Economics Association*.
- [338] Pfeiffer L. & Lin C.Y.C. (2014a). Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? Empirical evidence. *Journal of Environmental Economics and Management*, 67(2): 189-208.
- [339] Pfeiffer L. & Lin C.Y.C. (2014b). Perverse Consequences of Incentive-Based Groundwater Conservation Programs; Discussion Paper 1415; Global Water Forum: Canberra, Australia.
- [340] Playán E. & Mateos L. (2006). Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management*, 80(1-3): 100-116.

- [341] Polak P., Nanes B. & Adhikari D. (1997). A low cost drip irrigation system for small farmers in developing countries 1. *Journal of the American Water Resources Association*, 33(1): 119-124.
- [342] Postel S.L. (2000). Entering an Era of water Scarcity: the challenges ahead. *Ecological Applications*, 10 (4): 941-948.
- [343] Polson, R. A., & Spencer, D. S. (1991). The technology adoption process in subsistence agriculture: the case of cassava in southwestern Nigeria. *Agricultural systems*, 36(1), 65-78.
- [344] Parent, D. (2013, April). Pour en finir avec le mythe de «l'agriculteur résistant au changement». Comprendre l'adoption des innovations en agriculture. In : *Présentation ppt du Colloque « L'entrepreneuriat public : soutenir l'innovation bioalimentaire » UQAR* (Vol. 24).
- [345] Putler, D. S., & Zilberman, D. (1988). Computer use in agriculture: evidence from Tulare County, California. *American Journal of Agricultural Economics*, 70(4), 790-802.
- [346] Qureshi M.E., Wegener M.K, Harrison S.R. & Bristow K.L. (2001), Economic evaluation of alternative irrigation systems for sugarcane in the Burdekin delta in north Queensland, Australia. In: *Water Resource Management*. Boston: WIT Press. 47-57.
- [347] Rashidi M. & Keshavarzpour F. (2011). Effect of different irrigation methods on crop yield and yield components of cantaloupe in the arid lands of Iran. *World Applied Sciences Journal*, 15(6): 873-876.
- [348] Remini B. (2010). La problématique de l'eau en Algérie du nord. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 08, pp. 27-46.
- [349] Remini B. (2017). Une nouvelle approche de gestion de l'envasement des barrages. *LARHYSS Journal*, 31: 51-81.
- [350] Richefort L. (2008). Processus de sélection des technologies d'irrigation par les agriculteurs: entre interactions sociales et choix rationnels. Thèse de Doctorat, Université de la Réunion, France.
- [351] Rinaudo J.D. & Morardet S. (1999). Acceptabilité des réformes des politiques de gestion de l'eau. *Économie Rurale*, 254(1): 36-44.
- [352] Riverside A. (2010). Satellite based evapotranspiration mapping and water use by rural communes of Morocco. Study for World Bank, Final report. Riverside, Fort Collins.
- [353] Rivest A. (2012). La régression de Poisson multiniveau généralisée au sein d'un devis longitudinal : un exemple de modélisation du nombre d'arrestations de membres de gangs de rue à Montréal entre 2005 et 2007. Mémoire de Maître ès Sciences (M.Sc.) en sociologie. Université de Montréal, p77.
- [354] Rodrigues G.C., Paredes P., Gonçalves J.M., Alves I. & Pereira L.S. (2013). Comparing sprinkler and drip irrigation systems for full and deficit irrigated maize using multicriteria analysis and simulation modelling: Ranking for water saving vs. farm economic returns. *Agricultural Water Management*, 126: 85-96.
- [355] Rogers E.M. (2003). *Diffusion of innovations*. 5th ed. NY: The Free Press.

- [356] Roussy C., Ridier A. & Chaib K. (2015). Adoption d'innovations par les agriculteurs: Rôle des perceptions et des préférences. Working Paper SMART – LERECO N°15-03 INRA, France, 35p.
- [357] Rundquist, F. M., 1984. Hybrid maize diffusion in Kenya. Land University, CWK Glerup. pp 65 –72.
- [358] Ruttan V.W. (1985). Technical and institutional change in agricultural development: Two lectures. Working Paper No. 1702-2016-139916.
- [359] Ruttan V.W. (1997). Induced innovation and agricultural development. *Food Policy*, 2(3): 196-216.
- [360] Romer, P. M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of political economy*, 94(5), 1002-1037.
- [361] Ruthenberg, H. (1980). Farming Systems in the Tropics. 3rd Edition, Clarendon Press, Oxford.
- [362] Rahm, M. R., & Huffman, W. E. (1984). The adoption of reduced tillage: the role of human capital and other variables. *American journal of agricultural economics*, 66(4), 405-413.
- [363] Rodríguez Díaz JA, Pérez Urrestarazu L, Camacho Poyato E, Montesinos P (2012) Modernizing water distribution networks – lessons from the Bembézar MD irrigation district, Spain. *Outlook Agric* 41(4): 229–236.
- [364] Rauniyar, G. P., & Goode, F. M. (1996). Managing green revolution technology: an analysis of a differential practice combination in Swaziland. *Economic Development and Cultural Change*, 44(2), 413-437.
- [365] Ryan, J. G., & Subrahmanyam, K. V. (1975). Package of Practices Approach in Adoption of High-Yielding Varieties an Appraisal. *Economic and Political Weekly*, A101-A110.
- [366] Safar-Zitoun M (2018). Plan National Sècheresse Algerie: lignes directrices en vue de son opérationnalisation. Convention des Nations Unies de Lutte contre la Désertification. 88p.
- [367] Saha A., Love H.A. & Schwart R. (1994). Adoption of emerging technologies under output uncertainty. *American Journal of Agricultural Economics*, 76(4): 836-846.
- [368] Sahnoune, F., Belhamel, M., Zelmat, M., & Kerbachi, R. (2013). Climate change in Algeria: vulnerability and strategy of mitigation and adaptation. *Energy Procedia*, 36, 1286-1294.
- [369] Salazar C. & Rand J. (2016). Production risk and adoption of irrigation technology: evidence from small-scale farmers in Chile. *Latin American Economic Review*, 25(1): 1-37.
- [370] Salem A. (2007). La tarification de l'eau au centre de la régulation publique en Algérie. Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 Novembre.

- [371] Salhi S. & Bedrani S. (2010). Reconversion au goutte-à-goutte : Les limites du PNDA. *In:La Mitidja 20 ans après, Réalités agricoles aux portes d'Alger*. Éditions Alpha, Alger. 220-226.
- [372] Salhi S., Imache A., Tonneau J.P. & Ferfera M.Y. (2012). Les déterminants de l'adoption du système d'irrigation par goutte-à-goutte par les agriculteurs algériens de la plaine de la Mitidja. *Cahiers Agricultures*, 21(6): 417-426.
- [373] Sanchis-Ibor C., Macian-Sorribes H., García-Mollá M. & Pulido-Velazquez M. (2015). Effects of drip irrigation on water consumption at basin scale (Mijares river, Spain). 26th Euro-Mediterranean regional conference and workshops on “innovate to improve irrigation performances”. Montpellier, France. 12-15.
- [374] Sattar A.A. & Demmak A.M. (2014). Algeria Water Sector M&E Rapid Assessment Report. Monitoring & evaluation for water in North Africa (MEWINA) project. Water resources management program.
- [375] Schaible G.D., Kim C.S. & Whittlesey N.K. (1991). Water conservation potential from irrigation technology transitions in the Pacific Northwest. *Western Journal of Agricultural Economics*, 16(2): 194-206.
- [376] Scheierling S.M., Young R.A. & Cardon G.E. (2006). Public subsidies for water-conserving irrigation investments: Hydrologic, agronomic, and economic assessment. *Water Resources Research*, 42(3): pp1-11.
- [377] Schnaiberg A. & Gould K.A. (1994). *Environment and Society: The Enduring Conflict*. New York: St. Martin's Press.
- [378] Schoengold K. & Zilberman D. (2007). The economics of water, irrigation, and development. *Handbook of Agricultural Economics*. vol. 3. Elsevier. 2933-2977.
- [379] Schuck E.C. & Green G.P. (2001). Field attributes, water pricing, and irrigation technology adoption. *Journal of Soil and Water Conservation*, 56(4): 293-298.
- [380] Schuck E.C., Frasier W.M., Webb R.S., Ellingson L.J. & Umberger W.J. (2005). Adoption of more technically efficient irrigation systems as a drought response. *Water Resources Development*, 21(4): 651-662.
- [381] Schultz T.W. (1975). The value of the ability to deal with disequilibria. *Journal of Economic Literature*, 13(3): 827-846.
- [382] Sears L., Caparelli J., Lee C., Pan D., Strandberg G., Vuu L. & Lin C.Y.C. (2018). Jevons' paradox and efficient irrigation technology. *Sustainability*, 10(5): 1590.
- [383] Sears L., Lim D. & Lin C.Y.C. (2017). Agricultural groundwater management in California: Possible perverse consequences. *Agricultural and Resource Economics*, 20(3): 1-3.
- [384] Sese Mínguez S. (2012). Perspectives of different stakeholders to implement drip irrigation systems and its consequences for land and water use: A case study in Canyoles river basin, Valencia (Spain). Master Dissertation, Wageningen University, Wageningen.

- [385] Sese-Minguez S., Boesveld H., Asins-Velis S., van der Kooij S. & Maroulis J. (2017). Transformations accompanying a shift from surface to drip irrigation in the Canyoles Watershed, Valencia, Spain. *Water Alternatives*, 10: 81-99.
- [386] Shah F.A., Zilberman D. & Chakravorty U. (1995). Technology adoption in the presence of an exhaustible resource: The case of groundwater extraction. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(2): 291-299.
- [387] Shah T. (1995). *Making Farmers' Cooperatives Work*. New Delhi: Sage.
- [388] Shah T. (1996). *Catalysing Co-operation: Design of Self-governing Organisations*. New Delhi: Sage.
- [389] Shampine A. (1998). Compensating for information externalities in technology diffusion models. *American Journal of Agricultural Economics*, 80(2): 337-346.
- [390] Shani U., Tsur Y., Zemel A. & Zilberman D. (2009). Irrigation production functions with water-capital substitution. *Agricultural Economics*, 40(1): 55-66.
- [391] Shields M.L., Rauniyar G.P. & Goode F.M. (1993). A longitudinal analysis of factors influencing increased technology adoption in Swaziland, 1985-1991. *The Journal of Developing Areas*, 27(4), 469-484.
- [392] Shrestha R.B. & Gopalakrishnan C. (1993). Adoption and diffusion of drip irrigation technology: An econometric analysis. *Economic Development and Cultural Change*, 41(2): 407-418.
- [393] Singer J. D. & Willett J.B. (2003). *Applied longitudinal data analysis: Modeling change and event occurrence*. Oxford University Press.
- [394] Sivanappan R.K. (1994). Prospects of micro-irrigation in India. *Irrigation and Drainage Systems*, 8(1): 49-58.
- [395] Sivanappan R.K., Padmakumari O. & Kumar V. (1987). *Drip Irrigation*. Coimbatore, India: Keerthi Publishing House.
- [396] Slatni A., Mailhol J.C., Zairi A., Château G. & Ajmi T. (2004). Analyse et diagnostic de la pratique de l'irrigation localisée dans les périmètres publics irrigués de la basse vallée de la Medjerda en Tunisie. Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée, 2004, Rabat, Maroc. 11 p.
- [397] Smale M., Just R.E. & Leathers H.D. (1994). Land allocation in HYV adoption models: An investigation of alternative explanations. *American Journal of Agricultural Economics*, 76(3): 535-546.
- [398] Song J., Guo Y., Wu P. & Sun S. (2018). The agricultural water rebound effect in China. *Ecological Economics*, 146: 497-506.
- [399] Soto-García M., Martínez-Alvarez V., García-Bastida P.A., Alcon F. & Martín-Gorriz B. (2013). Effect of water scarcity and modernisation on the performance of irrigation districts in south-eastern Spain. *Agricultural Water Management*, 124: 11-19.
- [400] Sunding D. & Zilberman D. (2001). The agricultural innovation process: Research and technology adoption in a changing agricultural sector. *Handbook of Agricultural Economics*. vol. 1. Elsevier. 207-261.

- [401] Schwab, G.O., D.D. Fangmeier, W.J. Elliot, R.K. Frevert. 1993. Soil and Water Conservation Engineering Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- [402] SOGREAH. (2006) Étude d'inventaire et de développement de la petite et moyenne hydraulique PMH. Rapport de sous-mission A1 collecte des données et analyse des études antérieures. p75.
- [403] Sahal, D. (1981). Patterns of Technological Innovation. Addison-Wesley, New York.
- [404] Stoneman, P. (1983). *The economic analysis of technological change*. London : Oxford University Press.
- [405] Swanson, L.E., Camboni, S.M. and Napier, T.L. (1986). Barriers to adoption of soil conservation practices on farms. In: S.B. Lovejoy and T.L. Napier (Editors), *Conserving Soil: Insights from Socioeconomic Research*. Soil and Water Conservation Society of America Press, Ankeny, IA, pp.108-120.
- [406] Soule, M. J., Tegene, A., & Wiebe, K. D. (2000). Land tenure and the adoption of conservation practices. *American journal of agricultural economics*, 82(4), 993-1005.
- [407] Supe, S.V. (1983). An introduction to extension education. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co
- [408] Schultz, T.W. (1964). *Transforming Traditional Agriculture*. New Haven, Conn.: Yale University Press.
- [409] Schwab, G.O., D.D. Fangmeier, W.J. Elliot, R.K. Frevert. (1993). Soil and Water Conservation Engineering Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- [410] Shah, T.; and Keller, J. (2002). Micro-irrigation and the poor: A marketing challenge in smallholder irrigation development. *In Private irrigation in sub-Saharan Africa: Regional seminar on private sector participation and irrigation expansion in sub-Saharan Africa, 22-26 October 2001, Accra, Ghana, 21p.*
- [411] Stolyarova, E. (2016). Rénovation énergétique de l'habitat en France: analyse microéconométrique du choix des ménages. Thèse de Doctorat en Contrôle, Optimisation, prospective. Université Paris sciences et lettres, 234p.
- [412] Scarffe, C.(2018). Diversité géographique des exportations canadiennes. ([URL/https://www.international.gc.ca](https://www.international.gc.ca)).
- [413] Sivanappan, R. K. (1994). Prospects of micro-irrigation in India. *Irrigation and drainage systems*, 8(1), 49-58.
- [414] Taylor R. & Zilberman D. (2015). The diffusion of process innovation: The case of drip irrigation in California. Working Paper No. 330-2016-13447.
- [415] Taylor R., & Zilberman D. (2017). Diffusion of drip irrigation: The case of California. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 39(1): 16-40.
- [416] Terra M. (2011). Comment construire un cadre institutionnel et des instruments juridiques pour la GRENC Exposé sur l'expérience de l'Algérie. Conférence régionale sur la promotion de la gestion des ressources en eau non conventionnelles en méditerranée, Athènes, Grèce 14 et 15 Sept. Session 3.

- [417] Thirtle, C. G. and V. W. Ruttan (1987). *The Role of Demand and Supply in the Generation and Diffusion of Technical Change*. London: Harwood Academic Publishers.
- [418] Thorenson B., Lal D. & Clark B. (2013). Drip irrigation impacts on evapotranspiration rates in California's San Joaquin valley. *In: Using 21st century technology to better manage irrigation water supplies*. Phoenix, Arizona: USCID. 155-169.
- [419] Tiwari D. & Dinar A. (2002). Role and use of economic incentives in irrigated agriculture. *World Bank Technical Paper*. 103-122.
- [420] Tobin J. (1958). Estimation of relationships for limited dependent variables. *Econometrica*, 26(1): 24-36.
- [421] Torkamani J. & Shajari S. (2008). Adoption of new irrigation technology under production risk. *Water Resources Management*, 22(2): 229-237.
- [422] Törnqvist R. & Jarsjö J. (2012). Water savings through improved irrigation techniques: basin-scale quantification in semi-arid environments. *Water Resources Management*, 26(4): 949-962.
- [423] Trambly Y., Jarlan L., Hanich L. & Somot S. (2018). Future scenarios of surface water resources availability in North African dams. *Water Resources Management*, 32(4): 1291-1306.
- [424] Tsakmaki I., Kokkos N., Pisinaras V., Papaevangelou V., Hatzigiannakis E., Arampatzis G. & Sylaios G. (2017). Operational precise irrigation for cotton cultivation through the coupling of meteorological and crop growth models. *Water Resources Management*, 31(1): 563-580.
- [425] Tuabu O.K. (2012). The Innovation of Low-Cost Drip Irrigation Technology in Zambia. A study of the development of KB low-cost drip by International Development Enterprises and smallholder farmers. Master Dissertation, Wageningen University.
- [426] Tversky A., Sattath S., & Slovic P. (1988). Contingent weighting in judgment and choice. *Psychological Review*, 95(3): 371-384.
- [427] Tiercelin, J.R. (2006). *Traité d'irrigation. : 2^{ème} Édition*. Tec & Doc Lavoisier.
- [428] Upadhyay B. (2003). Drip irrigation: An appropriate technology for women. *Appropriate Technology*, 30(4): 31-pp.
- [429] Tjornhom, J. D. (1995). *Assessment of policies and socio-economic factors affecting pesticide use in the Philippines* (Master of science Thesis, Virginia Tech), 145p.
- [430] Upadhyay B. (2004). Gender aspects of smallholder irrigation technology: Insights from Nepal. *Journal of Applied Irrigation Science*, 39(2): 315-327.
- [431] Van der Kooij S. (2009). Why Yunquera will get drip irrigation: social groups, identify and construction of meanings as an approach to understand technological modernization. Wageningen (The Netherlands). Master Dissertation, Wageningen University.
- [432] Van der Kooij S., Zwarteveen M., Boesveld H. & Kuper M. (2013). The efficiency of drip irrigation unpacked. *Agricultural Water Management*, 123: 103-110.
- [433] Van Oorschot J.A., Hofman E. & Halman J.I. (2018). A bibliometric review of the innovation adoption literature. *Technological Forecasting and Social Change*, 134: 1-21.

- [434] Varian H. (1992). *Microeconomic Analysis*. 3rd ed. NY: W.W. Norton & Company, Inc.
- [435] Walker, W.R. (1989). Guidelines for Designing and Evaluating Surface Irrigation Systems. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 45. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy, p137.
- [436] Wang X. (2008). Economic analysis of adoption of water saving land improvements in Northern China. Doctoral Dissertation, Clemson University.
- [437] Wanvoeke J., Venot J.P., Zwarteveen M. & de Fraiture C. (2016). Farmers' logics in engaging with projects promoting drip irrigation kits in Burkina Faso. *Society & Natural Resources*, 29(9): 1095-1109.
- [438] Ward F.A. & Pulido-Velazquez M. (2008). Water conservation in irrigation can increase water use. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(47): 18215-18220.
- [439] Wheeler S., Bjornlund H., Olsen T., Klein K.K. & Nicol L. (2010). Modelling the adoption of different types of irrigation water technology in Alberta, Canada. 134: 189-201. WIT Press.
- [440] Wichelns D., Houston L., Cone D., Zhu Q. & Wilen J. (1996). Farmers describe irrigation costs, benefits: Labor costs may offset water savings of sprinkler systems. *California Agriculture*, 50(1): 11-18.
- [441] Willardson L.S., Allen R.G. & Frederiksen H.D. (1994). Elimination of irrigation efficiencies. Acta 13th Tech. Conf. USCID. Denver, CO, EEUU. 19-22.
- [442] Wittling C.S. & Molle B. (2017). Evaluation des économies d'eau à la parcelle réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation. Etude réalisée avec le soutien du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. UMR G-EAU Montpellier. p149.
- [443] Wolf G., Gleason J.E. & Hagan R.E. (1995). Conversion to drip irrigation: Water savings, fact or fallacy—lessons from the Jordan Valley. In: Proceedings of the 1995 water management seminar, irrigation conservation opportunities and limitations. US Committee on Irrigation and Drainage, Sacramento, CA, 5–7 October 1995, pp 209–217.
- [444] World Bank (2006). Reengaging in Agricultural Water Management: Challenges and Options. Directions in development. Washington, DC: World Bank. p.218
- [445] Weil, P. M. (1970). The introduction of the ox plow in central Gambia. *African food production systems: cases and theory*, 229-263.
- [446] Welch, F. (1978). The role of investments in human capital in agriculture. *Distortions of agricultural incentives*, 259-281.
- [447] Waller, B. E., Hoy, C. W., Henderson, J. L., Stinner, B., & Welty, C. (1998). Matching innovations with potential users, a case study of potato IPM practices. *Agriculture, ecosystems & environment*, 70(2-3), 203-215.
- [448] Whitehead, J. C., & Thompson, C. Y. (1993). Environmental preservation demand: altruistic, bequest, and intrinsic motives. *American Journal of Economics and Sociology*, 52(1), 19-30

- [449] Yaron D., Voet H. & Dinar A. (1992). Innovations on family farms: The Nazareth region in Israel. *American Journal of Agricultural Economics*, 74(2): 361-370.
- [450] York R. (2006). Ecological paradoxes: William Stanley Jevons and the paperless office. *Human Ecology Review*, 13(2) : 143-147.
- [451] Yonts, C. D. (2002). Technical Considerations of Converting from Surface Irrigation. Proceedings of Central Plains Irrigation Short Course and Exposition. February 5-6, 2002, Lamar, Colorado. Central Plains Irrigation Association, Colby, Kansas.
- [452] Zayani K. (2000). Evaluation de l'irrigation localisée de la vigne de table dans la région de mornag. *Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches*, 31 : 105-119.
- [453] Zhang B., Fu Z., Wang J. & Zhang L. (2019). Farmers' adoption of water-saving irrigation technology alleviates water scarcity in metropolis suburbs: A case study of Beijing, China. *Agricultural Water Management*, 212: 349-357.
- [454] Zhou S., Herzfeld T., Glauben T., Zhang Y. & Hu B. (2008). Factors affecting Chinese farmers' decisions to adopt a water-saving technology. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 56(1): 51-61.
- [455] Zhou X., Zhang Y., Sheng Z., Manevski K., Andersen M., Han S. & Yang Y. (2021). Did water-saving irrigation protect water resources over the past 40 years? A global analysis based on water accounting framework. *Agricultural Water Management*, 249: 106793.
- [456] Zilberman D., Zhao J., Heiman A. (2012). Adoption versus adaptation, with emphasis on climate change. *Annual Review of Resources Economics*, 4(1):27-53.
- [457] Zou X., Li Y.E., Gao Q. & Wan Y. (2012). How water saving irrigation contributes to climate change resilience—a case study of practices in China. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 17: 111-132.
- [458] Zeller, M. (1998). Determinants of repayment performance in credit groups: The role of program design, intragroup risk pooling, and social cohesion. *Economic development and cultural change*, 46(3), 599-620.

ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire d'enquête

I. Secteur : _____ Commune : _____ Enquête n° _____ Date de l'enquête _____

Q1. Nom de l'exploitant : _____ Age : _____

Q2. Niveau d'éducation de l'exploitant ? _____ (en années)

Analphabète Primaire Moyen Secondaire Supérieur

Niveau le plus élevé dans sa famille ?

Analphabète Primaire Moyen Secondaire Supérieur

Q3. Nombre d'années en agriculture _____

Q4. Relation de l'exploitant au propriétaire

Fils Frère Métayer Locataire Métayer chez un locataire

Autre : _____

Q5. Avez-vous effectué une formation agricole ? Oui Non

Si Oui, laquelle ? _____

Q6. Avez-vous une carte d'agriculteur ? Oui Non

Q7. Adhérez-vous à une association ou coopérative ? Oui Non

Si Oui, laquelle ? _____

Q8. Pratiquez-vous une autre activité en dehors de l'agriculture ? Oui Non

Si Oui, dans quel secteur : _____

II. L'EXPLOITATION AGRICOLE

Q1. Quel est le statut juridique de l'exploitation agricole ?

1. EAC 2. EAI 3. EP 4. Autres

Si EAC ou EAI, indiquer le Domaine : _____ Nombre d'attributaire : _____ N° EAC /EAI : _____

Q2. L'EAC est-elle éclatée ? Oui Non

Q3. Nombre d'hectares total (ha)? _____

En propriété (ha) : _____ En copropriété (ha) : _____ Location (ha) : _____ Métayage (ha) : _____

Quote-part de l'EAC (ha) : _____

Q4. Quelle est l'occupation du sol de l'année dernière ?

1. En sec (ha) : _____ 2. En irriguée (ha) : _____

Arboricole (ha) : _____ Agrumes (ha) : _____ Cultures maraichères de plein champ (ha) : _____

Nombre de serres : _____ Céréales (ha) : _____ Jachère (ha) : _____ Surface abandonnée (ha) : _____

Q5. Quel est le contrat d'association sous lequel vous recevez les terres ?

Si Location : Dinars par hectare. _____

Si Métayage : Bénéfices partagés (en %) _____

Combien d'années êtes-vous sous le même contrat? _____

Y-a-t-il un lien de parenté avec le propriétaire ? _____

Qui paye les semences, les produits phytosanitaires et les engrais ? _____

Qui paye les travailleurs ? _____

Q6. Si l'exploitant est propriétaire : Avez-vous donné des terres en association ? Oui Non

Quel contrat d'association ?

Si Location : Dinars par hectare _____

Si Métayage : Bénéfices partagé (en %) _____

Depuis combien d'années donnez-vous ces terres sous le même contrat ? _____

Qui paye les semences, les produits phytosanitaires et les engrais ? _____

Qui paye les travailleurs ? _____

Q7. Si la terre que vous exploitez est parcellée quelle est la distance la plus éloignée entre les parcelles _____

Q8. Les terres que vous exploitez possèdent-elles des titres ? Oui Non

Qui tient le titre des terres ? _____

III. FAMILLE DE L'EXPLOITANT ET SON TRAVAIL

Q1. Nombre total dans la famille qui vit de l'exploitation agricole (Inclus CE) ? _____

Hommes _____ Femmes _____ Enfants _____

Q2. Est-ce qu'ils travaillent avec vous ? Oui Non

Nombre de personnes qui travaillent avec vous ?

(Homme) _____ (Femme) _____

Combien de temps travaillent-ils ? _____

Q3. Recrutez-vous de la main d'œuvre permanente ?

Oui Non Spécialisée ? Oui Non Quelle spécialité _____

Combien de personnes ?

(Homme) _____ (Femme) _____ Pendant combien de temps ? _____

Pendant quelle période de l'année ? _____ Combien sont-ils payés _____

Q4. Recrutez-vous de la main d'œuvre journalière ? Oui Non

Combien de personnes ? (Homme) _____ Pendant combien de temps ? _____

Pendant quelle période de l'année ? _____ Combien sont-ils payés _____

IV. MATERIEL

Q1. Matériel agricole de l'exploitation agricole

Tracteur utilisé sur l'exploitation Oui Non

Nombre..... Spécifier l'âge Statut du matériel 1) En propriété , 2) Location , 3) Autre.. ,

Matériel de transport Oui Non

Nombre..... Spécifier l'âge Statut du matériel 1) En propriété , 2) Location , 3) Autre.. ,

Nombre..... *Matériel de récolte* Oui Non

Nombre..... Spécifier l'âge Statut du matériel 1) location, 2) En propriété , 3) Autre.. ,

Nombre..... *Matériel d'irrigation* Oui Non

Nombre..... Spécifier l'âge Statut du matériel 1) location, 2) En propriété , 3) Autre.. ,

V. SYSTEME DE PRODUCTION

Q1. Qu'est-ce que vous avez planté dans vos parcelles cette année? (Culture dont sous serre, Hectares et rendement) _____

Q2. Quelle culture considérez- vous la principale ? _____

Q3. Système de production de l'année dernière ? _____

A) Arboriculture et agrumes

Culture #1 : _____ Superficie (en ha) : _____ Système d'irrigation : _____ Variété : _____

Densité [m*m] ou le Nombre de pieds /ha : _____ Rendement(Qx/ha ou kg/ arbre) _____

Année de plantation _____ Nombre d'irrigation total (N) : _____

Temps minimum par irrigation (en heure) : _____ Temps maximum par irrigation (en heure) : _____

Culture #2 : _____ Superficie (en ha) : _____ Système d'irrigation : _____ Variété : _____

Densité [m*m] ou le Nombre de pieds /ha : _____ Rendement(Qx/ha ou kg/ arbre) _____

Année de plantation _____ Nombre d' irrigation total (N) : _____

Temps minimum par irrigation (en heure) : _____ Temps maximum par irrigation (en heure) : _____

Culture #3 : _____ Superficie (en ha) : _____ Système d'irrigation : _____ Variété : _____

Densité [m*m] ou le Nombre de pieds /ha : _____ Rendement(Qx/ha ou kg/ arbre) _____

Année de plantation _____ Nombre d' irrigation total (N) : _____

Temps minimum par irrigation (en heure) : _____ Temps maximum par irrigation (en heure) : _____

Charges opérationnelles pour un hectare des arbres fruitiers(agrumes)

Unité : 1ha

Opérations	Matériels		Culture: Surfa :.....	Rend (q/ha) :
	Nbre d'heures (h)	Coût unitaire (DA)	Densité:.....Age :.....	Tech. Irrigat.:
1.Travail du sol				
Défoncement				
Labour				
Discage Simple				
Discage Croisé				
Scarifiage				
Epannage mécanique d'engrais				
Opérations	Main d'œuvre		Approvisionnement	
	Nbre de jours(J)	Coût unit. (DA)	Quantité	Coût unit. (DA)
2.Entretien & Engrais				
N				
P.K				
N.P.K				
Organique				
Taille				
Ramassage de bois				
Masticage				
Badigeonnage				
3.Traitement				
Fongicide				
Insecticide				
Herbicide				
Désherbage manuel				
4.Confection de cuvettes				
5.Irrigation				
6.Récolte				
7.Gardiennage				

B) Cultures maraîchères dont sous serres

Culture #1 (SS / PC) : _____ Superficie(en ha) : _____ Ou le Nombre de serres : _____
Système d'irrigation : _____ Variété : _____ Densité [cm*cm] ou le Nombre de pieds /ha ou par serre : _____
Rendement(q/ha ou par serre) : _____ Nombre d' irrigation total (N) : _____
Temps minimum par irrigation (en heure) : _____ Temps maximum par irrigation (en heure) : _____

Culture #2 (SS / PC) : _____, Superficie(en ha) : _____ Ou le Nombre de serres : _____
Système d'irrigation : _____ Variété : _____ Densité [cm*cm] ou le Nombre de pieds /ha ou par serre : _____
Rendement(q/ha ou par serre) : _____ Nombre d' irrigation total (N) : _____
Temps minimum par irrigation (en heure) : _____ Temps maximum par irrigation (en heure) : _____

la couverture d'une serre(kg) : _____ (Prix/Kg) : _____

Culture #3 (SS / PC) : _____ Superficie(en ha) : _____ Ou le Nombre de serres : _____
Système d'irrigation : _____ Variété : _____ Densité [cm/m] ou le Nombre de pieds /ha ou par serre : _____
Rendement(q/ha ou par serre) : _____ Nombre d' irrigation total (N) : _____
Temps minimum par irrigation (en heure) : _____ Temps maximum par irrigation (en heure) : _____

C) Céréales

Culture #1 : _____ Surface Totale (ha): _____ Dont Surface irriguée (ha): _____ Système d'irrigation : _____

Variété : _____ Densité(Kg/ha) : _____ Rendement en grain (Qx/ha) : _____ Rendement en paille(bottes/ha) : _____

Prix/ botte(DA) : _____

Culture #2 : _____ Surface Totale (ha): _____ Dont Surface irriguée (ha): _____ Système d'irrigation : _____

Variété : _____ Densité(Kg/ha) : _____ Rendement en grain (Qx/ha) : _____ Rendement en paille(bottes/ha) : _____

Prix/ botte(DA) : _____

D) L'activité d'élevage

Q4. Pratiquez-vous l'élevage ? Oui Non

Si Oui, quels sont les élevages pratiqués ?

Ovins(têtes) _____ Bovin(têtes) _____ Caprin(têtes) _____ Aviculture

_____ Autres : _____

G) COMMERCIALISATION

Q1. Quel est le type de commercialisation de vos produits agricoles?

VI. FINANCES FAMILIALES DE L'EXPLOITANT

Q2. Avez-vous une source de revenu autre que l'exploitation agricole ? Oui Non

Q3. Quelles sont les autres sources? _____

Q4. Quel est la plus importante? 1. _____ 2. _____ 3. _____

Q5. Si vous auriez besoin des liquidités pour la production agricole, ou trouveriez-vous cette argent?

(Propres finances Revenu agricole Crédit familial Crédit bancaire Sources privées Crédit de campagne de l'Etat Crédit du fournisseur Revenu extra-agricole Impossible de trouver Autre: _____)

Q8. Avez-vous des dettes à rembourser? Oui Non

Q9. Pour quels raisons avez-vous emprunté l'argent? 1. _____ 2. _____ 3. _____

Q10. A qui devez-vous rembourser? 1. _____ 2. _____ 3. _____

Q11. Quel est le montant original du prêt 1. _____ 2. _____ 3. _____

Q12. Quel taux d'intérêt? 1. _____ 2. _____ 3. _____

Q13. En quel année avez-vous prêté l'argent? 1. _____ 2. _____ 3. _____

Q14. Montant qui reste à payer 1. _____ 2. _____ 3. _____

Q15. Avez-vous obtenu un prêt de la banque? Oui Non
Quand? _____ Quel somme d'argent? _____

Q16. Avez-vous rembourser le prêt à temps? Oui Non

Q17. Avez-vous fait une demande de prêt qui n'a pas été accordée? Oui Non
Quel sorte de prêt? _____ Pourquoi le prêt n'était pas accordé? _____

Q18. Si vous n'avez jamais demandé de prêt bancaire quels en sont les raisons?

Religion Bureaucraties Autofinancement Taux d'intérêts élevés Crédit trop coûteux/ trop difficiles à obtenir Garanties insuffisantes Je ne veux pas d'un prêt
Autre : _____

Q19. Avez-vous un compte bancaire ? Oui Non Si Oui, Quelle Banque _____

Q20. Si vous pourriez emprunter pendant un an, est-ce que vous l'accepterez? Oui Non

Si Oui, Pour quel projet l'utiliserez-vous? Matériel Agricole Matériel d'irrigation Achat de terre
 Construction de Maison Véhicule Commerce Autre : _____

Q21. Si vous pourriez emprunter pendant cinq ans, l'accepterez-vous? Oui Non

Si Oui, pour quel projet l'utiliserez-vous? Matériel Agricole, Matériel d'irrigation, Achat de terre
 Construction de Maison Véhicule Commerce Autre : _____

VII.SUBVENTION

Q1. Avez-vous accès aux subventions et aides de l'Etat ? Oui Non

Si Non, pourquoi ? _____

Q2. Avez-vous bénéficié des subventions et aides de l'Etat ? Oui Non

Si Oui, dans quel cadre ?

Q3. Avez-vous bénéficié des subventions pour investissement en équipements d'irrigation ? Oui Non

Quel type de matériel d'irrigation ? _____ Quand? ___ Quel somme d'argent? _____

Si Non, pourquoi ?

Q4. Avez-vous fait une demande de subvention qui n'a pas été accordée? Oui Non

Quel type de subvention? _____ Pourquoi la subvention n'était pas accordée?

Q5. Si vous n'avez jamais demandé de subventions quels en sont les raisons?

Q6. Si vous pourriez accéder aux subventions et aides de l'Etat, pour quel projet l'utiliserez-vous?

Matériel Agricole Matériel d'irrigation Achat de terre Construction de maison Véhicule, Commerce

Construction de forage, Autre :

VIII. IRRIGATION

Q1. Avez-vous accès à l'eau d'irrigation ? Oui Non

Si Oui, Depuis quand ? _____

Q2. Recevez-vous l'eau de l'ONID? Oui Non

Si Oui , A quelle période de l'année ? _____ Cela vous convient-il? Oui Non

Q3. Les volumes d'eau alloués par l'ONID répondent-ils à vos besoins déclarés ? Oui Non

Q4. Superficie souscrite à l'ONID (en ha): _____ Superficie irriguée (en ha) : _____

Q5. La prise d'eau ou la borne ONID est- elle disponible sur votre exploitation ? Oui Non

Si Non ,Indiquer approximativement la distance _____

Q6. Quel est le montant de votre facture de l'eau d'irrigation ONID? _____

Q7. Que pensez-vous du prix de l'eau de l'ONID ?

Trop cher, cher, juste, faible, Pas cher du tout, je ne sais pas

Q8. Quel est votre niveau de satisfaction vis-à-vis des services de l'ONID ?

Très satisfait, Plutôt satisfait, Pas du tout satisfait, Ne se prononce pas

Q9. Avez-vous recours à l'eau de la nappe ? Oui Non

Si Oui , A partir de quand ? _____ jusqu'au _____ Pourquoi ? _____

Q8. La plupart de votre eau d'irrigation provient de quelle source? _____

Q9. Combien de forages sont-ils sur les terres que vous exploitez? _____

Q10. Quel est la profondeur de chaque forage ? 1. _____ 2 . _____

3. _____

Q11. Quel était l'année de réalisation de chaque forage 1. _____ 2. _____
3. _____

Q12. Quel était le coût de réalisation de chaque forage ?

1. _____ 2. _____ 3. _____

Q13. Quels étaient les moyens de financement de ces forages : _____

Q14. Les forages sont-ils partagés ? Oui Non

Si Oui, Combien d'agriculteurs? _____

Q15. Est-ce que vous avez approfondi vos forages? Oui Non

Q16. Quel est la date du dernier approfondissement ? 1. _____ 2. _____ 3. _____

Q17. Quel est le coût de l'approfondissement? 1. _____ 2. _____ 3. _____

Q18. Avez-vous fait descendre votre pompe encore plus bas par rapport au niveau initial ? Oui Non

Si Oui, Depuis quand ? _____ De Combien de mètres (ou tuyaux de 3 ou 6m) ? _____

Q19. Avez-vous d'autres forages qui sont asséchés ? Oui Non

Si Oui, Depuis quand ? _____

Q20. Votre source d'irrigation suffit-elle pour irriguer vos cultures ? Oui Non

Q21. Dans le cas où l'eau de vos forages ne vous suffit pas que faites-vous ?

Q22. Avez-vous des problèmes de qualité de l'eau d'irrigation ? Oui Non

Si Oui, lesquels ? Salinités Charges en alluvions Autres :

Q23. Êtes-vous confronté au manque d'eau ? Oui Non

Si Oui, Ponctuel Récurrent Si "Récurrent", Depuis quand ? _____

Q24. Face à un problème de manque d'eau, quelles solutions adoptez-vous ? _____

Q25. Quels types de pompes utilisez-vous?

Immersée Groupe motopompe Essence Groupe motopompe Diesel

Le plus souvent, durant combien de temps faites-vous tourner votre pompe pendant l'irrigation?

8-12H/24 4-8H/24 2-4 H/24 Moins 2H/24 Autre : _____ H/24

Q26. Quel est son débit (déclaré en l/s ou m³/h) ?

1. _____ 2. _____ 3. _____

Q27. Quels types de carburants utilisez-vous pour l'irrigation?

Electricité Mazout Essence Autre : _____

Q28. A combien s'élève votre facture énergétique pour l'année dernière?

De _____ (DA) .A _____ (DA)

a) Le montant des factures d'électricité(en DA) :

F₁ : _____ F₂ : _____ F₃ : _____ F₄ : _____

b) La quantité utilisée de Gasoil en (L) Mazout : _____ Essence :

Q29. A combien s'élevaient vos frais d'entretiens (maintenance ,pannes, nettoyages) l'année dernière ?

De _____ (DA) .A _____ (DA)

Q30. Avez-vous un bassin pour le stockage de l'eau d'irrigation? Oui Non

Si Oui, la capacité de stockage en (m³) _____ Durée de remplissage (en heures)

Est -t-il un bassin intermédiaire entre votre ouvrage de prélèvement/pompage et les parcelles à irriguer? Oui

Non

Combien de bassins avez-vous remplis durant l'année dernière ?

Q31. Quel est le système d'adduction depuis votre ouvrage de prélèvement/pompage jusqu'à vos parcelles ?

Système sous pression Système gravitaire

Q32. Disposez-vous d'un compteur sur le ou les ouvrage(s) de prélèvement Oui Non

Q33. Connaissez-vous les volumes totaux que vous utilisez pour l'irrigation de vos terres? Oui Non

Si Oui, quels sont-ils ? _____ (m³)

Q34. Quels sont les volumes consommés via la structure d'irrigation collective(ONID) ?

_____ (m³)

Q35. Quels sont les volumes prélevés via votre système d'irrigation individuel(Forages)?

_____ (m³)

Q36. Connaissez-vous les volumes d'eau que vous utilisez pour chaque culture? Oui Non

Si Oui, quels sont-ils ? 1. _____ 2. _____ 3. _____ (m³)

Q37. Sur quelle base déterminez-vous les quantités d'eau pour l'irrigation ?

1. Besoins en eau de la plante (climat, sol, etc.)

2. Optimisation rendement/qualité de la récolte

3. Autre : _____

Q38. Quel est le système d'irrigation adopté ? 1. Gravitaire 2. Aspersion 3. Goutte à goutte

Pourquoi avoir choisi ce(s) système(s) : _____

Q39. Avez-vous le matériel d'aspersion? Oui Non

Si Oui, Combien d'hectares équipés? _____ Année d'achat? _____ Nombre de Kit : ____ Coût d'achat (en DA)? _____

Depuis quand utilisez-vous l'aspersion: ____ Type de Kit d'Aspersion : 1. Plastique 2. Acier, la Marque du

kit : _____ Source de financement : _____

Q40. Quels sont les avantages et inconvénients de l'aspersion ?

Q41. Avez-vous l'irrigation goutte à goutte? Oui Non

Si Oui, Combien d'hectares équipés? _____ Année d'achat? _____ Coût d'achat (en DA) _____

Depuis quand utilisez-vous le goutte à goutte : _____ Source de financement : _____

Q42. Quels sont les avantages et inconvénients du goutte à goutte ?

Q43. Vous utilisez l'irrigation goutte à goutte sur quelles cultures? 1. _____ 2. _____ 3. _____

Q44. Quelles sont les fréquences et les durées d'irrigation par goutte à goutte ?

Q45. La manipulation du système goutte à goutte est-elle ?

Très facile, Facile, Ni facile ni difficile, Difficile, Très difficile

Q46. Pourquoi vous ne l'avez pas essayé sur les autre cultures? _____

Q47. Qui vous a montré comment utiliser l'irrigation goutte à goutte? _____

Q48. Si Non, (*Sur #Q41*) connaissez-vous le goutte à goutte? Oui Non

Q49. Avez-vous utilisé et puis abandonné le goutte à goutte ? Oui Non

Si Oui, Depuis quand (Année d'arrêt)? _____Durée de l'expérience _____

Pourquoi avez-vous abandonné le goutte à goutte ? _____

Q50. Est-ce que ce serait intéressant pour vous d'utiliser le goutte à goutte ? Oui Non

Si Oui, Pourquoi jusqu'à maintenant, vous n'avez pas adopté le goutte à goutte? _____

Q51. Quand avez-vous vu le goutte à goutte pour la première fois? _____

Q52. Où avez-vous vu le goutte à goutte pour la première fois? _____

Q53. Est-ce que vous connaissez des voisins qui utilisent le goutte à goutte? Oui Non

Si Oui, Combien de de voisins ? _____

IX.VULGARISATION , CONSILS,ET SOURCES D'INFORMATION

Q1. Recevez-vous des conseils et informations et appui technique ? Oui Non

Si Oui, Préciser le(s) nom(s) de (s) l'institution(s)/entreprise(s) : _____

Et dans quelles activités ? _____ Quelle est la fréquence ?

Tous les 15 jours Tous les mois Tous les trimestres , A la demande Autre :

b) Sous quelle forme ?

Visite d'un agent Formation Information technique, Parcelle de démonstration, Autre :

Q2. Depuis quand bénéficiez-vous de cet appui technique ? _____

Q3. Etes-vous satisfait de cet appui technique? Oui Non

Si Non, pourquoi? _____

Q4. Avez-vous reçu des visites du vulgarisateur ? Oui Non

Si Oui ,Combien de fois depuis ces 5 dernières années? _____ et dans quelles activités ? _____

Q5. Avez-vous bénéficié d'un appui technique sur l'utilisation des **TIEE**? Oui Non

Q6. Avez-vous assisté à une démonstration sur le terrain pour voir comment utiliser les **TIEE**? Oui Non

Q7. Êtes-vous encadrés par une structure sur les **TIEE**? Oui Non

Si Oui, laquelle ou lesquelles : _____

Q8. L'encadrement technique des **TIEE** est-il, d'après vous ? Insuffisant , Inadapté Satisfaisant

Q.9. Où trouvez-vous informations et conseils?

1. Famille, voisins, relations , agriculteurs

2. Vendeur de semences, fournisseurs

3. Association d'irrigants

4. Technicien de l'agriculture (vulgarisateur)

5. Journaux, télévision

6. Je n'ai pas accès à de l'information

7. Autres : _____

Annexe 2: Programme d'extension des superficies irriguée 2020-2024 sur le territoire national

Actions	Objectif	Impact	Volume	Observation
Extension dans la PMH et GPI	Extension des superficies irriguées Sécuriser la production des céréales par l'irrigation d'appoint et intégrale	Augmentation du revenu des exploitants Amélioration de la sécurité alimentaire	200 000 ha (40 000Ha /an)	Promouvoir la production nationale en équipement d'irrigation
Généralisation de l'utilisation des équipements économiseurs d'eau	Economie de l'eau	Gestion rationnelle de la ressource eau	150 000 ha (30 000 Ha /an)	Programme reconversion du gravitaire
Développement de Méthodes innovantes de Pilotage d'irrigation	Amélioration de la productivité et de la production	Valorisation et développement des nouvelles technologies		Promouvoir la fourniture de solutions innovantes (Start-up)

Source : (MADR ,2020)

Annexe 3 : Objectif des superficies céréalières en irrigué

Désignation	2021	2022	2023	2024
Superficie en irrigation d'appoint de la région de l'Est (ha)	147 000	167 000	187 000	207 000
Superficie en irrigation intégrale (wilaya du sud et sud des Hauts plateaux) en hectares	232 000	252 000	272 000	293 000
Superficie totale en irrigation (ha)	381 000	419 000	459 000	500 000

Source : (MADR ,2020)

Annexe 4: Bilan final des superficies irriguées par système d'irrigation 2018

Année	Localisée (ha)	Aspersion (ha)	superficies en économie d'eau (ha)	Gravitaire
2000-2001	5000,00	70000,00	75000,00	275000,00
2001-2002	56028,00	111978,00	168006,00	449421,00
2002-2003	63877,00	127570,00	191447,00	453531,00
2003-2004	99000,00	138301,00	237301,00	485019,00
2004-2005	124487,00	150739,00	275226,00	518108,00
2005-2006	151697,00	153006,00	304703,00	520503,00
2006-2007	158488,00	162056,00	320544,00	515046,00
2007-2008	187938,00	204859,00	392797,00	512496,00
Facteur de multiplication (2000-2008)	37,59	2,93	5,24	1,86
2008-2009	188136,00	205026,00	393162,00	513012,00
2009-2010	201334,00	230924,00	432258,00	540604,00
2010-2011	202184,00	233854,00	436038,00	545698,00
2011-2012	206401,00	241980,00	448381,00	556149,00
2012-2013	211529,00	263148,00	474677,00	578846,00
2013-2014	234184,00	284321,00	518505,00	617754,00
Facteur de multiplication (2009-2014)	1,24	1,39	1,32	1,20
2014-2015	249585,00	344726,00	594311,00	620950,00
2015-2016	250970,00	388081,00	639051,00	621457,00
2016-2017	260701,00	418473,00	679174,00	622057,00
2017-2018	312788,00	444706,00	757494,00	573175,00
Facteur de multiplication (2015-2018)	1,25	1,29	1,27	0,92
Facteur de multiplication (2000-2018)	62,56	6,35	10,10	2,08

Source : (MADR ,2019)

Annexe 5 : Bilan final : extension des superficies irriguées 2018, l'examen des bilans transmis par les wilayas au 30 septembre 2018.

N°	Wilaya	Gravitaire		Aspersion		Goutte à Goutte		Total équipé (ha)	Superficie irriguée totale (ha)
		Irriguée	Taux en (%)	Irriguée	Taux en (%)	Irriguée	Taux en (%)		
1	ADRAR	15626	42,73	8687	23,75	12257	33,52	20944	36570
2	CHLEF	9347	39,98	9532	40,77	4500	19,25	14032	23379
3	LAGHOUAT	21106	57,00	9656	26,08	6267	16,92	15923	37029
4	O.E. BOUAGHI	6255	27,49	16057	70,58	438	1,93	16495	22750
5	BATNA	39311	65,67	16684	27,87	3870	6,46	20554	59865
6	BEJAIA	7650	74,56	895	8,72	1715	16,72	2610	10260
7	BISKRA	58017	52,07	1154	1,04	52249	46,89	53403	111420
8	BECHAR	11290	50,60	712	3,19	10310	46,21	11022	22312
9	BLIDA	24700	76,52	3563	11,04	4017	12,44	7580	32280
10	BOUIRA	4801	29,55	9861	60,69	1586	9,76	11447	16248
11	TAMANRASSET	11161	71,33	744	4,75	3743	23,92	4487	15648
12	TEBESSA	11401	40,53	12806	45,53	3922	13,94	16728	28129
13	TLEMCEN	11313	38,21	11912	40,24	6380	21,55	18292	29605
14	TIARET	7091	19,97	24172	68,09	4237	11,94	28409	35500
15	TIZI-OUZOU	4335	39,18	6177	55,83	551	4,98	6728	11063
16	ALGER	11961	57,62	2713	13,07	6086	29,32	8799	20760
17	DJELFA	5959	13,62	23323	53,29	14483	33,09	37806	43765
18	JIJEL	5351	70,61	232	3,06	1995	26,33	2227	7578
19	SETIF	17607	37,49	26844	57,16	2508	5,34	29352	46959
20	SAIDA	7774	25,61	16532	54,47	6045	19,92	22577	30351
21	SKIKDA	15487	68,71	5549	24,62	1505	6,68	7054	22541
22	S.B.ABBES	3013	32,52	3983	42,99	2270	24,50	6253	9266
23	ANNABA	3677	47,77	3141	40,80	880	11,43	4021	7698
24	GUELMA	2837	24,23	6461	55,18	2411	20,59	8872	11709

25	CONSTANTINE	786	20,55	2412	63,06	627	16,39	3039	3825
26	MEDEA	5352	40,62	5734	43,52	2091	15,87	7825	13177
27	MOSTAGANEM	11600	25,00	11742	25,31	23050	49,69	34792	46392
28	M'SILA	27052	65,84	7834	19,07	6201	15,09	14035	41087
29	MASCARA	16950	33,40	27100	53,40	6700	13,20	33800	50750
30	OUARGLA	31841	79,62	4194	10,49	3956	9,89	8150	39991
31	ORAN	5263	54,05	558	5,73	3917	40,22	4475	9738
32	EL-BAYADH	6843	39,01	6075	34,64	4622	26,35	10697	17540
33	ILLIZI	1448	69,68	19	0,91	611	29,40	630	2078
34	B.B.ARRERIDJ	6660	81,84	918	11,28	560	6,88	1478	8138
35	BOUMERDES	12688	55,54	5871	25,70	4287	18,76	10158	22846
36	EL-TARF	4622	33,46	6107	44,21	3084	22,33	9191	13813
37	TINDOUF	91	11,42	20	2,51	686	86,07	706	797
38	TISSEMSILT	4672	61,70	2469	32,61	431	5,69	2900	7572
39	EL-OUED	27187	26,40	40350	39,17	35463	34,43	75813	103000
40	KHENCHELA	42412	71,96	8604	14,60	7925	13,45	16529	58941
41	SOUK-AHRAS	3063	41,69	3010	40,97	1274	17,34	4284	7347
42	TIPAZA	5001	19,71	5432	21,41	14942	58,88	20374	25375
43	MILA	1459	11,50	11161	87,96	69	0,54	11230	12689
44	AIN-DEFLA	5964	10,11	44264	75,02	8772	14,87	53036	59000
45	NAAMA	5334	28,35	7633	40,57	5849	31,09	13482	18816
46	A.TEMOUCHENT	2123	22,36	3771	39,72	3599	37,91	7370	9493
47	GHARDAIA	11991	33,72	10602	29,81	12972	36,47	23574	35565
48	RELIZANE	15703	52,32	7436	24,78	6875	22,91	14311	30014
	TOTAL ALGERIE	573175	43,07	444706	33,42	312788	23,51	757494	1330669

Annexe 6 : 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	Equipé	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	Equipé	-	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	Equipé	-	-	506 000	-	1 229 907	-	-
	Irrigué	164 000	282 000	350 000	816 898	1 064 578	1 119 259	1 226 000

Annexe 7 : Evolution des superficies de la PMH par origine de l'eau utilisée

Natures de la res- source	2003	2004	2005	2009	2010	2011	2012	2013
	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Superficie (ha)
Petits barrages	7775	7 661	4 891	4 019	5 194	5 938	9 325	11 172
Retenues colli- naires	5673	4 505	7 291	6 090	8 416	7 663	6 407	6 205
Forages	300050	324 061	363 083	445 322	457 207	486 806	487 872	535 280
Puits	218550	234 712	222 844	293 253	301 356	316 198	331579	346 716
Au fil de l'eau	62417	69 570	63 831	68 012	66 822	75 637	77 157	59 949
Sources	6717	8 667	8 149	75 509	76 434	19 043	20 640	19 349
Autres	11110	16 747	31 419	18 748	24 078	12 558	22 158	19 035
Total	612292	665923	701508	910953	939507	923843	955138	997706

Annexe 8: Evolution de l'infrastructure hydraulique de la PMH 2003-2013

Natures de la res- source	2003	2004	2005	2009	2010	2011	2012	2013
	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre
Petits barrages	53	54	48	96	91	86	141	140
Retenues collinaires	413	410	345	273	296	309	294	281
Forages	33024	36983	38 110	57 826	60 044	62 967	65 967	66 810
Puits	120595	127 805	110 142	133 333	140 326	144 050	140 343	147 310
Au fil de l'eau	4283	4 667	8 387	9 936	11 690	9 247	11 677	12 145
Sources	3192	5 494	3 791	6 288	6 029	5 939	5 892	6 139
Autres	749	763	768	934	953	1 115	1 146	1 156

Annexe 9 : Évolution des superficies irriguées de la PMH par technique d'irrigation

Technique Année	Gravitaire		Aspersion		Goutte à Goutte		Total
	Superficie (ha)	(%)	Superficie (ha)	(%)	Superficie (ha)	(%)	Superficie (ha)
2003	429666	70,17	111336	8,18	71287	11,64	612289
2005	524503	63,56	153006	18,54	147697	17,90	825206
2006	480653	57,55	175056	20,96	179488	21,49	835197
2011	553424	59,90	180732	19,56	189686	20,53	923842

Annexe 10 :Charges moyennes opérationnelles moyennes pour un hectare d'agrume en production.

DESIGNATION	OPERATIONS	MAIN D'ŒUVRE			MATERIELS			APPROVISIONNEMENT			Total	Taux (%)
		NBRE DE JOURS	COUT UNITAIRE	MONTANT (DA)	NBRE D'HEURE	COUT UNITAIRE	MONTANT (DA)	QUANTITE	COUT UNITAIRE	MONTANT (DA)		
Travail du sol	Labour				4	1500	6000				6000	1,09
	Disquage simple				10	1000	10000				10000	1,82
	Disquage croisé				7	4000	28000				28000	5,09
	Rayonnage				7	2000	14000				14000	
	Scarifiage				12	1000	12000				12000	2,18
Fertilisation	N	5	1500	7500				10	6000	60000	67500	12,27
	PK	2	1500	3000				8	7000	56000	59000	10,72
	ORGANIQUE	6	1500	9000				20	400	8000	17000	3,09
Entretien	TAILLE	15	2500	37500							37500	6,82
	RAMASSAGE DE BOIS	4	4000	16000							16000	2,91
	MASTICAGE	2	2500	5000				5	300	1500	6500	1,18
	BADIGEONNAGE	3	1500	4500				25	10	250	4750	0,86
Traitement	FONGICIDE	5	1500	7500				4	500	2000	9500	1,73
	INSECTICIDE	5	1500	7500				6	2500	15000	22500	4,09
	HERBICIDE	5	1500	7500				10	1100	11000	18500	3,36
	DESHERBAGE MANUEL	18	1500	27000							27000	4,91
Irrigation	CONFECTION DE CUVETTE	10	1500	15000							15000	2,73
	IRRIGATION FO-RAGE	8	1500	12000						36000	48000	8,72
	IRRIGATION BAR-RAGE	8	1500	12000				4000	2,5	10000	22000	4,00
	RECOLTE	28	1500	42000							42000	7,63
	GARDIENNAGE JOUR ET NUIT	45	1500	67500							67500	12,27
	TOTAL										550250	100,00

Annexe 11. Le coefficient de corrélation de Pearson

Correlations	Farm size	Drilled wells	Ratio of drilled wells on farm surface
Pearson Correlation	1	0.311**	-,173*
Sig. (bilateral)		0.000	0.044
N	136	136	136
Pearson Correlation	0.311**	1	-0.132
Sig. (bilateral)	0.000		0.126
N	136	136	136
Pearson Correlation	-,173*	-0.132	1
Sig. (bilateral)	0.044	0.126	
N	136	136	136

Annexe 12 : Résultats du modèle *logit* d'analyse des déterminants de l'adoption des TIEE

<i>Variables</i>	<i>Coefficient</i>	<i>Erreurs standard</i>	<i>z</i>	<i>P>z</i>	<i>[95% Conf.]</i>	
<i>Cons.</i>	22,60224	5,640434	(4.01)***	0.000	11,54719	33,65729
<i>Taille de l'exploitation</i>	-0,0427474	0,0685743	(-0.62)	0,533	-	0,0916557
<i>Indice de Diversification de l'exploitation</i>	12,79971	8,487164	(1.51)	0,132	-3,834823	29,43425
<i>Main oeuvre agricole</i>	0,0132418	0,138903	(-0.10)	0,924	-	0,2854868
<i>Accès au crédit</i>	5,643629	1,497762	(3.77)***	0,000	2,70807	8,579188
<i>Investissement</i>	-2,485976	0,7873515	(-3.16)***	0,002	-4,029157	-0,9427957
<i>Âge de l'exploitant</i>	-0,3450212	0,0826967	(-4.17)***	0,000	-	-0,1829387
<i>Sources d'information</i>	-2,519884	1,474948	(-1.71)*	0,088	-5,410729	0,3709607
<i>Membre d'une organisation Professionnelle Agricole</i>	-2,292514	1,403935	(-1.63)	0,102	-5,044176	0,4591471
<i>Subventions publiques</i>	-0,9064598	1,005898	(-0.90)	0,368	-2,877984	1,065064
<i>Ratio de forage/Superficie irriguée</i>	-2,273852	5,325285	(-0.43)***	0,0067	-12,71122	8,163515
Nombre d'observations	136					
Pseudo-R ²	0.6674					
Adjusted R ²	0.474					
Log likelihood	-38.40					
LR chi ² (df)	125.52 ***					
Aire sous la courbe ROC	0.96					
Cases correctly predicted	89.00 %					

*** significatif au seuil de 1% ($p < 0,01$) ; ** significatif au seuil de 5% ($p < 0,05$) ; * significatif au seuil de 10% ($p < 0,10$).

Annexe 13 : Effets marginaux des variables explicatives *logit*

<i>Variables</i>	<i>Coefficient (dy/dx)</i>	<i>Erreurs standard</i>	<i>z</i>	<i>P>z</i>	<i>[95% Conf.]</i>		<i>X</i>
<i>Taille de l'exploitation</i>	-0,0105685	0,01702	-0,62	0,535	-0,043928	0,022791	20,5184
<i>Indice de Diversification de l'exploitation</i>	3,164482	2,11137	1,5	0,134	-0,973718	7,30268	0,040515
<i>Main oeuvre agricole</i>	0,0032738	0,03433	0,1	0,924	-0,064003	0,07055	10,1618
<i>Accès au crédit *</i>	0,8316335	0,08	10,39	0,000	0,674827	0,98844	0,272059
<i>Investissement *</i>	-0,5444632	0,13386	-4,07	0,000	-0,80683	-0,282096	0,470588
<i>Âge de l'exploitant</i>	-0,0852999	0,02022	-4,22	0,000	-0,124924	-0,045676	62,3235
<i>Sources d'information *</i>	-0,5043784	0,19772	-2,55	0,011	-0,891897	-0,11686	0,279412
<i>Membre d'une organisation Professional Agricole *</i>	-0,4178722	0,16525	-2,53	0,011	-0,741753	-0,093992	0,117647
<i>Subventions publiques *</i>	-0,2156703	0,22778	-0,95	0,344	-0,662111	0,23077	0,323529
<i>Ratio de forage/Superficie irriguée</i>	-0,562166	1,32027	-0,43	0,0067	-3,14985	2,02552	0,081394

(*) *dy/dx* is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

Annexe 14 : Résultats du modèle *Tobit* d'analyse du taux de l'adoption des TIEE

<i>Variables</i>	<i>Coefficient</i>	<i>Erreurs standard</i>	<i>t</i>	<i>P>t</i>	<i>[95% Conf.]</i>	
<i>Cons.</i>	3,918595	0,6402473	6,12***	0,000	2,651565	5,185626
<i>/sigma</i>	0,5362468	0,0672951	---	----	0,4030717	0,6694219
<i>Taille de l'exploitation</i>	-0,006919	0,0125906	-0,05	0,956	-0,0256083	0,0242246
<i>Indice de Diversification de l'exploitation</i>	-0,1117186	2,117279	-0,05	0,958	-4,301751	4,078313
<i>Main oeuvre agricole</i>	-0,023834	0,0258867	-0,92	0,359	-0,075063	0,027395
<i>Accès au crédit</i>	0,5870023	0,1722784	3,41***	0,001	0,2460683	0,9279362
<i>Investissement</i>	-0,3653991	0,134051	-2,73***	0,007	-0,630682	-0,1001162
<i>Âge de l'exploitant</i>	-0,0555266	0,0094872	-5,85***	0,000	-0,0743016	-0,0367516
<i>Sources d'information</i>	-0,071603	0,1869218	-0,38	0,702	-0,4415158	0,2983098
<i>Membre d'une organisation Professionnelle Agricole</i>	-0,1046752	0,2123865	-0,49	0,623	-0,5249818	0,3156313
<i>Subventions publiques</i>	-0,1882265	0,1585071	-1,19	0,237	-0,5019073	0,1254544
<i>Ratio de forage/Superficie irriguée</i>	-1,747081	1,047316	-1,67*	0,098	-3,819689	0,3255272
<i>Nombre d'observations</i>	136					
<i>Pseudo-R²</i>	0,4490					
<i>Adjusted R²</i>	-					
<i>Log likelihood</i>	-72.528381					
<i>LR chi² (df)</i>	118,21***					

*** significatif au seuil de 1% ($p < 0,01$) ; ** significatif au seuil de 5% ($p < 0,05$) ; * significatif au seuil de 10% ($p < 0,10$).

Annexe 15: Effets marginaux des variables explicatives Tobit

<i>Variables</i>	<i>Coefficient (dy/dx)</i>	<i>Erreurs standard</i>	<i>t</i>	<i>P>t</i>	<i>[95% Conf.]</i>	
<i>Taille de l'exploitation</i>	-0,006919	0,01259	-0,05	0,956	-0,025369	0,023985
<i>Indice de Diversification de l'exploitation</i>	-0,1117186	2,11728	-0,05	0,958	-4,26151	4,03807
<i>Main oeuvre agricole</i>	-0,023834	0,02589	-0,92	0,357	-0,074571	0,026903
<i>Accès au crédit *</i>	0,5870023	0,17228	3,41	0,001	0,249343	0,924662
<i>Investissement *</i>	-0,3653991	0,13405	-2,73	0,006	-0,628134	-0,102664
<i>Âge de l'exploitant</i>	-0,0555266	0,00949	-5,85	0,000	-0,074121	-0,036932
<i>Sources d'information *</i>	-0,071603	0,18692	-0,38	0,702	-0,437963	0,294757
<i>Membre d' une organisation Professionnelle Agricole*</i>	-0,1046752	0,21239	-0,49	0,622	-0,520945	0,311595
<i>Subventions publiques *</i>	-0,1882265	0,15851	-1,19	0,237	-0,498895	0,122442
<i>Ratio de forage/Superficie irriguée</i>	-1,747081	1,04732	-1,67	0,098	-3,79978	0,305621

(*) *dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1*

Annexe 16 : Résultats du modèle *Poisson* d'analyse de l'intensité de l'adoption des TIEE

<i>Variables</i>	<i>Coefficient</i>	<i>Erreurs standard</i>	<i>z</i>	<i>P>z</i>	<i>[95% Conf.]</i>	
<i>Cons.</i>	3,015506	0,5152415	5,85***	0,000	2,005651	4,025361
<i>Indice de Diversification de l'exploitation</i>	-0,181041	0,988105	-0,18	0,855	-2,117691	1,755609
<i>Main oeuvre agricole</i>	0,1001912	0,0170111	5,89***	0,000	0,0668501	0,1335323
<i>Accès au crédit</i>	0,6065353	0,1242612	4,88***	0,000	0,3629878	0,8500828
<i>Investissement</i>	-0,6718828	0,1489851	-4,51***	0,000	-0,9638882	-0,3798774
<i>Âge de l'exploitant</i>	-0,0512177	0,0075401	-6,79***	0,000	-0,0659961	-0,0364393
<i>Education</i>	0,4135113	0,0466503	8,86***	0,000	0,3220784	0,5049441
<i>Sources d'information</i>	-0,3117771	0,1410627	-2,21**	0,027	-0,588255	-0,0352992
<i>Membre d'une organisation Professionnelle Agricole</i>	-0,356379	0,1523157	-2,34**	0,019	-0,6549124	-0,0578456
<i>Subventions publiques</i>	-0,3155954	0,1237812	-2,55**	0,011	-0,558202	-0,0729887
<i>Ratio de forage/Superficie</i>	-1,689572	0,7620783	-2,22**	0,027	-3,183218	-0,1959254
Nombre d'observations	136					
Pseudo-R ²	0.410					
Adjusted R ²	0.375					
Log likelihood	-315.70					
LR chi ² (df)	438.74***					

*** *significatif au seuil de 1% (p < 0,01) ; ** significatif au seuil de 5% (p < 0,05) ; * significatif au seuil de 10% (p < 0,10).*

Annexe 17 : Effets marginaux des variables explicatives pour le modèle poisson

<i>Variables</i>	<i>IRR</i>	<i>Erreurs standard</i>	<i>z</i>	<i>P>z</i>	<i>[95% Conf.]</i>	
Cons.	20,39942	10,51063	5,85	0,00	7,430933	56,00053
<i>Indice de Diversification de l'exploitation</i>	0,8344011	0,8244759	-0,18	0,86	0,1203091	5,786972
<i>Main oeuvre agricole</i>	1,105382	0,0188038	5,89	0,00	1,069135	1,142858
Accès au crédit	1,834066	0,2279033	4,88	0,00	1,437618	2,339841
<i>Investissement</i>	0,510746	0,0760935	-4,51	0,00	0,381407	0,6839453
<i>Âge de l'exploitant</i>	0,9500718	0,0071637	-6,79	0,00	0,9361345	0,9642166
<i>Education</i>	1,512118	0,0705407	8,86	0,00	1,379993	1,656893
<i>Sources d'information</i>	0,7321447	0,1032783	-2,21	0,03	0,5552955	0,9653165
<i>Membre d' une organization Professionnel Agricole</i>	0,7002072	0,1066526	-2,34	0,02	0,5194876	0,9437956
<i>Subventions publiques</i>	0,7293545	0,0902803	-2,55	0,01	0,572237	0,9296113
<i>Ratio de forage/Superficie irriguée</i>	0,1845986	0,1406786	-2,22	0,03	0,0414521	0,8220735

Annexe 18 : Résultats du modèle de la régression binomiale négative d'analyse de l'intensité de l'adoption des TIEE

<i>Variables</i>	<i>Coefficient</i>	<i>Erreurs standard</i>	<i>z</i>	<i>P>z</i>	<i>[95% Conf.]</i>	
<i>Cons.</i>	3.725812	1.177073	3.17***	0.002	1.418791	6.032833
<i>Indice de Diversification de l'exploitation</i>	0.1424472	2.094046	0.07	0.946	-3.961808	4.246702
<i>Main oeuvre agricole</i>	0.095856	0.0431335	2.22**	0.026	0.0113159	0.180396
<i>Accès au crédit</i>	1.098403	0.3118376	3.52***	0.000	0.4872122	1.709593
<i>Investissement</i>	-0.5294827	0.3047884	-1.74*	0.082	-1.126857	0.0678916
<i>Âge de l'exploitant</i>	-0.0766073	0.0174302	-4.40***	0.000	-0.11077	0.0424447
<i>Education</i>	0.988182	0.1947456	5.07***	0.000	0.6064876	1.369876
<i>Sources d'information</i>	-0.6390523	0.3978399	-1.61*	0.108	-1.418804	0.1406996
<i>Membre d'une organisation Professionnelle Agricole</i>	-0.8266025	0.4022845	-2.05**	0.040	-1.615066	0.0381394
<i>Subventions publiques</i>	-0.4352949	0.3370646	-1.29**	0.0197	-1.095929	0.2253396
<i>Ratio de forage/Superficie</i>	-0.8905801	2.310407	-0.39*	0.0700	-5.418894	3.637734
<i>/alpha</i>	0.1011275	.2200924			-0.3302456	0.5325006
<i>alpha /</i>	1.106418	0.2435141			0.7187472	1.703186
Nombre d'observations	136					
Pseudo-R ²	0.1699					
Adjusted R ²						
Log likelihood	-238.5046					
LR chi ² (df)	97.60					
LR test of alpha=0: chi-bar ² (01)	154.39					
Prob >= chibar2	0.000					

*** significatif au seuil de 1% ($p < 0,01$) ; ** significatif au seuil de 5% ($p < 0,05$) ; * significatif au seuil de 10% ($p < 0,10$).

Annexe 19 : Effets marginaux des variables explicatives pour le modèle de la régression binomiale négative

wst_area	IRR	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf. Interval]	
<i>Indice de Diversification de l'exploitation</i>	1.153092	2.414628	0.07	0.946	0.0190287	69.8746
<i>Main oeuvre agricole</i>	1.100601	0.0474727	2.22	0.026	1.01138	1.197692
Accès au crédit	2.999371	0.9353168	3.52	0.000	1.627772	5.526713
<i>Investissement</i>	0.5889095	0.1794928	-1.74	0.082	.3240502	1.070249
<i>Âge de l'exploitant</i>	0.9262535	0.0161448	-4.40	0.000	.8951446	.9584434
<i>Education</i>	2.686346	0.5231542	5.07	0.000	1.833978	3.934865
<i>Sources d'information</i>	0.5277924	0.2099769	-1.61	0.108	0.2420032	1.151079
<i>Membre d' une organisation Professionnelle Agricole</i>	0.4375333	0.1760129	-2.05	0.040	0.1988776	.9625788
<i>Subventions publiques</i>	0.6470738	0.2181057	-1.29	0.0197	0.3342289	1.252748
<i>Ratio de forage/Superficie irriguée</i>	0.4104176	0.9482316	-0.39	0.0700	0.004432	38.00562
_cons	41.50493	48.85433	3.17	0.002	4.132123	416.8943

Annexe 20: Akaike's information criterion and Bayesian information criterion pour la RBN

```

-----
Model |   Obs ll(null) ll(model)   df   AIC   BIC
-----+-----
. |   136 -290.2677 -240.7206   12  505.4413  540.3931
-----

```

Annexe 21 : Akaike's information criterion and Bayesian information criterion pour Poisson

```

-----
Model |   Obs ll(null) ll(model)   df   AIC   BIC
-----+-----
. |   136 -535.0739 -315.7015   11  653.4029  685.4421
-----

```

Note: N=Obs used in calculating BIC; see [R] BIC note.

Annexe 22: Bilans synthétiques des campagnes d'irrigation

Campagne	Direction régionale	Nbre de périmètre	Superficie irriguée (ha)	Eau distribuée (Hm ³)	Charges (10 ⁹ DA)	Vente en eau (10 ⁹ DA)	Ecart entre Recettes et charges (DA)	Coût ⁴¹ de l'eau m ³	Taux de Recouv. (%)
2014	Algérois	3	736926,00	25,01	346,43	64,76	-281,67	13,85	18,69
	Constantinois	7	12393,58	59,41	509,48	143,13	-366,35	8,58	28,09
	Oranie	4	11737,00	42,39	198,71	102,93	-95,78	4,69	51,80
	Cheliff	9	33025,46	195,89	749,69	424,82	-324,87	3,83	56,67
	Sahara	2	8578,96	111,61	161,60	41,66	-119,94	1,45	25,78
	Total	25	73104,26	434,31	1965,91	777,30	-1188,61	4,53	39,54
2015	Algérois	3	7949,73	31,78	385,5	81,78	-303,72	12,13	21,21
	Constantinois	7	13335,90	67,31	589,32			8,75	0,00
	Oranie	4	12167,00	50,37	180,55	120,00	-60,55	3,85	66,46
	Cheliff	9	39092,78	219,51	787,63	477,54	-310,09	3,59	60,63
	Sahara	2	7053,75	104,51	203,95	-	-	1,95	-
	Total	25	79599,16	473,48	2146,95	-	-	4,53	-
2016	Algérois	5	7040,44	23,02	406,84	57,02	-349,82	17,67	14,02
	Constantinois	8	12143,76	62,72	686,60	149,84	-536,76	10,95	21,82
	Oranie	5	14358,00	54,96	236,92	131,31	-105,61	4,31	55,42
	Cheliff	9	33132,67	183,33	1154,39	398,76	-755,63	6,30	34,54
	Sahara	2	6767,00	74,69	273,65	29,45	-244,20	3,66	10,76
	Total	29	73441,87	398,72	2758,40	766,38	-1992,02	6,92	27,78

Source : Réalisé par l'auteur à partir des données de l'ONID

⁴¹ Le coût du mètre cube d'eau distribuée se compose des charges d'unités d'exploitation (UD) plus les charges de la direction régionale (DR) et de la direction générale (DG).

Annexe 23 : Evolution des superficies et doses d'irrigation réelles par rapport à la dose d'irrigation théorique de 1988 jusqu'à 2016.

Perimètre	Année	superficie du périmètre(ha)	Superficie irriguée(ha)	Volume distribué(Hm ³)	Dotation réelle (m ³ /ha)	Dose théorique (m ³ /ha)	Superficie devant être irriguée (ha)
Mitidja Ouest Tr 1	1988	8600	1250,00	6,32	5056,00	5000,00	1264,00
Mitidja Ouest Tr 1	1989	8600	1590,19	9,72	6112,48	5000,00	1944,00
Mitidja Ouest Tr 1	1990	8600	1631,16	7,23	4432,43	5000,00	1446,00
Mitidja Ouest Tr 1	1991	8600	1635,22	7,20	4403,08	5000,00	1440,00
Mitidja Ouest Tr 1	1992	8600	2294,30	8,36	3643,81	5000,00	1672,00
Mitidja Ouest Tr 1	1993	8600	2798,25	14,55	5199,68	5000,00	2910,00
Mitidja Ouest Tr 1	1994	8600	283,40	1,13	3987,30	5000,00	226,00
Mitidja Ouest Tr 1	1995	8600	0,00	0,00	0,00	5000,00	0,00
Mitidja Ouest Tr 1	1996	8600	0,00	0,00	0,00	5000,00	0,00
Mitidja Ouest Tr 1	1997	8600	0,00	0,00	0,00	5000,00	0,00
Mitidja Ouest Tr 1	1998	8600	0,00	0,00	0,00	5000,00	0,00
Mitidja Ouest Tr 1	1999	8600	1364,20	7,10	5204,52	5000,00	1420,00
Mitidja Ouest Tr 1	2000	8600	1270,00	3,85	3031,50	5000,00	770,00
Mitidja Ouest Tr 1	2001	8600	973,50	2,85	2927,58	5000,00	570,00
Mitidja Ouest Tr 1	2002	8600	0,00	0,00	0,00	5000,00	0,00
Mitidja Ouest Tr 1	2003	8600	1055,66	6,10	5778,38	5000,00	1220,00
Mitidja Ouest Tr 1	2004	8600	1197,10	5,62	4694,68	5000,00	1124,00
Mitidja Ouest Tr 1& 2	2005	24200	1075,50	3,27	3040,45	5000,00	654,00
Mitidja Ouest Tr 1& 2	2006	24200	1119,00	5,58	4986,60	5000,00	1116,00
Mitidja Ouest Tr 1& 2	2007	24200	755,00	3,75	4966,89	5000,00	750,00
Mitidja Ouest Tr 1& 2	2008	24200	1279,70	6,39	4993,36	5000,00	1278,00
Mitidja Ouest Tr 1& 2	2009	24200	1438,00	7,48	5201,67	5000,00	1496,00
Mitidja Ouest Tr 1& 2	2010	24200	2008,52	8,18	4072,65	5000,00	1636,00
Mitidja Ouest Tr 1& 2	2011	24200	3403,8	13,67	4016,10	5000,00	2734,00
Mitidja Ouest Tr 1& 2	2012	24200	4542,70	23,91	5263,39	5000,00	4782,00
Mitidja Ouest Tr 1& 2	2013	24200	4673,10	22,7	4857,59	5000,00	4540,00
Mitidja Ouest Tr 1& 2	2014	24200	4652,05	15,007	3225,89	5000,00	3001,40
Mitidja Ouest Tr 1& 2	2015	24200	5274,89	22,514	4268,15	5000,00	4502,80
Mitidja Ouest Tr 1& 2	2016	24200	3550,07	8,841	2490,37	5000,00	1768,20
Moyenne			1762,60	7,63	3650,16	5000,00	1526,36

Source : ONID