

CIHEAM



Centre
International
de Hautes Etudes
Agronomiques Méditerranéennes

*International
Centre for
Advanced
Mediterranean Agronomic Studies*

Thèse / Thesis

requisse pour
l'obtention du Titre

*submitted
for the Degree of*

Master of Science

**Analyse économique de politiques
publiques pour la gestion durable
des eaux souterraines :le cas
de l'aquifère de la Mancha Occidentale
(bassin du Guadiana-Espagne)**

Irene Blanco

Série « Master of Science » n° 86

**Institut Agronomique Méditerranéen de
Montpellier**



**Analyse économique de politiques
publiques pour la gestion durable
des eaux souterraines :le cas
de l'aquifère de la Mancha Occidentale
(bassin du Guadiana-Espagne)**

Irene Blanco

Série « Master of Science » n° 86

**Analyse économique de politiques publiques
pour la gestion durable des eaux souterraines :
le cas de l'aquifère de la Mancha Occidentale
(bassin du Guadiana-Espagne)**

Irene Blanco

Série « Master of Science » n° 86

Série Thèses et Masters

Ce Master est le numéro 86 de la série *Master of Science* de l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier.

Cette collection réunit les Masters of Science du CIHEAM-IAMM ayant obtenu la mention « Publications », ainsi que les travaux doctoraux réalisés dans le cadre des activités scientifiques et pédagogiques de l'Institut et de ses enseignants chercheurs.

Le *Master of Science* du Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes :

Analyse économique de politiques publiques pour la gestion durable des eaux souterraines : le cas de l'aquifère de la Mancha Occidentale (bassin du Guadiana –Espagne)

a été soutenu par Irene Blanco le 12 juillet 2007 devant le jury suivant :

M. Jean-Marie Boisson, professeur à l'UM 1 Présidente
M. Thierry Rieu, directeur délégué ENGREF Centre de Montpellier Membre
Mme Consuelo Varela Ortega, professeur à l'UPM..... Membre
M. Guillermo Flichman, professeur associé CIHEAM-IAMM..... Membre

Le travail de recherche a été encadré par M. Guillermo Flichman et Mme Consuelo Varela Ortega.

CIHEAM-IAMM
Institut agronomique Méditerranéen de
Montpellier

Directeur : Vincent Dollé

3191 route de Mende – BP 5056
34093 Montpellier cedex 05
Tél. : 04 67 04 60 00
Fax : 04 67 54 25 27
<http://www.iamm.fr>

L'institut Agronomique Méditerranéen
n'entend donner aucune approbation ni improbation
aux opinions émises dans cette thèse

ISBN : 2-85352- 369-1 ; ISSN : 0989-473X

Numéros à commander au
CIHEAM- IAMM
Bureau des Publications
e-mail : tigoulet@iamm.fr
Prix : 50€
©CIHEAM, 2007

Fiche bibliographique

Irene Blanco - Analyse économique de politiques publiques pour la gestion durable des eaux souterraines : le cas de l'aquifère de la Mancha Occidentale (bassin du Guadiana -Espagne – Montpellier : CIHEAM-IAMM, 2007 – 179p. (Master of Science, IAMM, 2007, Série Thèses & Masters n°86)

Résumé : A l'heure actuelle, la diminution des ressources en eau constitue un des principaux soucis des institutions internationales. Dans les régions les plus menacées, telle que la Méditerranée, on a observé ces dernières années une forte augmentation de l'exploitation des eaux souterraines en raison de leur facilité d'accès et du faible coût d'investissement. Ce phénomène est à l'origine de la surexploitation de nombreux aquifères et d'une dégradation importante des zones humides de grande valeur écologique. Le cas de l'aquifère de la Mancha Occidentale en Espagne constitue l'un des exemples les plus importants au niveau national et international. Ce travail propose d'étudier les impacts sur les systèmes de production agricoles de différents instruments économiques de gestion de l'eau afin de réduire la consommation en eaux souterraines et d'assurer la durabilité de l'aquifère. Pour cela, nous avons construit un modèle agrégé de programmation mathématique qui simule le comportement des agriculteurs et leurs réponses aux divers scénarios de politiques d'eau, au niveau du sous-bassin. Tout particulièrement, ces scénarios sont : une politique tarifaire volumétrique uniforme, une politique tarifaire volumétrique par paliers, un système de quotas et un marché de l'eau. Les résultats montrent que prendre le contrôle de toutes les extractions, notamment des extractions illégales, est une condition nécessaire mais elle n'est pas suffisante pour réduire les consommations d'eau agricoles au niveau souhaité. L'établissement d'autres outils de gestion de la demande d'eau est pourtant nécessaire. Parmi les outils proposés, les politiques tarifaires s'avèrent les instruments les plus efficaces. Néanmoins, nous ne pouvons pas conclure qu'une seule politique tarifaire est la meilleure solution dans tous les contextes (efficacité et équité), surtout au niveau désagrégé. Par conséquent, il paraît raisonnable faire une combinaison des outils proposés, même introduire des instruments additionnels de protection environnementale.

Mots-clés : aquifère surexploitée, dégradation de zones humides, modèle de programmation mathématique, politiques de gestion de l'eau, analyse coût efficacité, Espagne.

Abstract: Nowadays, the decrease in water resources constitutes one of the main worries for several institutional organisms. Last years, it is observed in the most threatened regions, such as the Mediterranean, an important increase of the groundwater exploitation; due to its easy access and its moderate invest cost. This phenomenon has produced the over-exploitation of numerous aquifers and the degradation of some wetlands that have a high ecologic value. The case of Mancha Occidental aquifer, in Spain, is one of the most important examples at national and international level. This work proposes to study the impacts, on farming systems, of different economic instruments for water management, in order to reduce the groundwater consumption and assure the aquifer sustainability. Therefore, an aggregated mathematical programming model has been built, which simulates the farmer behaviour and their responses for different scenarios of water policies at sub-basin level. Particularly, these scenarios are the following: an uniform volumetric water pricing policy, block-rate water pricing system, water use quotas and water rights market. The results show us that controlling the illegal captures is a necessary condition. However, this step is not enough to reduce the irrigation water use to a desirable level. Consequently, other measures in the management of the water consumption will be necessary. Among the proposed systems, the water pricing systems seem the most cost-effective instruments. However, a unique pricing system will not be the best solution for all contexts (efficiency and equity), overcoat at desagregated level. It seems reasonable to make a combination of the tools proposed, even including additional measures that promote an effective environmental protection.

Key-words: over-drafted aquifer, wetlands degradation, mathematical programming model, water policies, cost-effective analysis, Spain.

Remerciements

En consonance avec le sujet d'étude, il est à signaler que ce travail n'a pu être réalisé que grâce à une bonne gestion collective. Loin d'être des *passagers clandestins*, je tiens donc à remercier ici toutes les personnes qui ont contribué à me faire avancer dans cette aventure.

Je tiens en premier lieu à remercier ceux qui ont accepté de m'encadrer dans une coopération franco-espagnole très réussie. J'exprime ma profonde gratitude à Consuelo Varela Ortega, du côté espagnol, et à Guillermo Flichman, du côté français, pour leur soutien inconditionnel personnel et professionnel, leur compréhension, leurs précieux conseils et leur confiance témoignée tout au long de ce travail.

Un grand remerciement à la Fondation Caja Madrid¹, principale source financière de mes études de Master et aussi aux contributions du projet européen NeWater² qui m'a donné le feu vert en me permettant de travailler dans le cas d'étude du Guadiana. Je remercie spécialement l'équipe de recherche du projet NeWater de l'Université Polytechnique de Madrid pour m'avoir accueillie pendant les mois de stage, sa responsable Consuelo Varela Ortega, et les différents stagiaires qui ont également contribué à faire avancer l'investigation empirique : Gema Carmona et Paloma Estevez. Un mot très particulier pour le professeur Manuel Ramón Llamas Madurga et pour le docteur Pedro Martínez Santos, de l'équipe de recherche de l'Université Complutense de Madrid, pour m'avoir invitée à leurs réunions et pour m'avoir aidée à comprendre ce qui est parfois incompréhensible dans le cas paradigmatique de l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Je tiens également à remercier tous les membres du gouvernement, avocats, écologistes, scientifiques, responsables des associations d'irrigants, agriculteurs, techniciens du terrain, etc., pour avoir joué le jeu des enquêtes et des interviews.

En France, je suis également très reconnaissante à tout le personnel de l'IAM, pour l'accueil et l'aide reçue.

Une petite pensée va à Rafik, qui a suivi de près l'évolution de ce travail.

Finalement, et bien qu'ils disent qu'il ne faut pas les remercier, je dois dire *muchas gracias* à ma famille pour être toujours avec moi et m'avoir encouragée malgré la distance.

A tous, encore MERCI !

¹ www.fundacioncajamadrid.es

² *New Approaches to Adaptive Water Management under Uncertainty*. N°: FP6-2003-GLOBAL-2-SUSTDEV-6.3.2 – 511179-2. 2005-2009. www.newwater.info

Table de matières

Résumé	1
Sommaire	1
Liste de tableaux.....	3
Liste de figures.....	4
Abréviations et unités de conversion	5
Introduction générale.....	7
Première Partie. Economie et gestion des eaux souterraines	10
I. Introduction.....	10
II. Les difficultés de la gestion des eaux souterraines	10
1. Spécificité des eaux souterraines	10
A. Différences physiques et chimiques	10
B. Différences sociales et économiques	11
2. Caractéristiques de la ressource.....	11
A. Des ressources naturelles	11
B. Des biens économiques	12
3. La « Théorie des ressources communes » et les externalités.....	12
4. La valeur économique des eaux souterraines	14
5. La définition des droits de propriété.....	15
6. Le développement durable et la gestion intégrée des eaux souterraines	16
III. L'analyse des instruments économiques pour la gestion des eaux souterraines	17
1. Les objectifs de la gestion : l'efficacité, l'équité, l'équilibre budgétaire.....	18
2. Des conditions pour la mise en place des instruments de gestion	20
3. Les mécanismes de gestion centralisés.....	21
A. Les quotas.....	21
B. Les systèmes tarifaires	22
C. Les subventions	24
4. Les mécanismes de gestion décentralisés	25
A. Les marchés de l'eau	25
B. Les banques de l'eau.....	27
IV. L'évaluation économique des différents outils de gestion de l'eau	28
1. La méthode coût-bénéfice.....	28
2. La méthode coût-efficacité	29
Deuxième Partie. La gestion des eaux souterraines dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.....	30
I. Introduction.....	30
II. Description de la zone d'étude.....	30
1. Le milieu hydro physique	30
2. Les caractéristiques socio-économiques.....	32
3. Le cadre institutionnel des eaux souterraines	34
III. Problématique.....	36
1. La surexploitation de l'aquifère de la Mancha Occidentale	36
2. Les causes	38
3. Les conséquences	38
IV. Les politiques de conservation des ressources mises en place dans l'aquifère d'étude	40
1. Un système de quotas par exploitation : le « Régime d'Exploitation »	40
2. Des paiements compensatoires : les « Aides agri-environnementales à l'épargne d'eau »	41

V. Discussion actuelle : la contribution de cette recherche.....	42
Troisième Partie. Méthodologie : application de la modélisation économique.....	44
I. Introduction.....	44
II. Travail du terrain.....	46
II. Typologie des exploitations	47
1. Les exploitations retenues : une perspective fonctionnelle au niveau du sous-bassin.....	47
2. Le problème de l'agrégation.....	52
IV. Modélisation.....	52
1. Description de la modélisation	53
2. Les limites	55
3. La formulation du modèle	55
A. Les variables de décision	55
B. La fonction objectif	56
C. Les contraintes	59
4. La calibration et la validation du modèle	61
V. Scénarios et politiques simulés	64
Quatrième Partie. Discussion des résultats : évaluation des politiques publiques	69
I. Introduction.....	69
II. Analyse de la situation actuelle dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.....	69
III. Une première approche : le contrôle des extractions d'eau souterraine	71
1. Le contrôle des extractions légales : le « Régime d'Exploitation »	71
2. Le contrôle des extractions illégales	72
A. La fermeture des puits illégaux	73
B. La légalisation des puits illégaux	73
3. Analyse comparée des impacts dérivés du contrôle des extractions.....	74
IV. Analyse d'instruments alternatifs de gestion d'eau.....	77
1. Les politiques tarifaires.....	78
A. La tarification volumétrique uniforme	78
2. La tarification par paliers.....	85
3. Le système de quota.....	90
4. L'établissement d'un marché d'eau	92
5. Analyse coût-efficacité des différents politiques publiques	94
Conclusion	97
Références bibliographiques.....	99
Annexes.....	107
Annexe 1. Exemple d'enquête aux exploitations agricoles.....	108
Annexe 2. Exemple de modélisation en GAMS.....	113
Annexe 3. Résultats pour exploitation.....	126

Liste de tableaux

Tableau 1. Typologie de biens économiques.	12
Tableau 2. Le dilemme du prisonnier et l'équilibre de Nash.	13
Tableau 3. Caractéristiques de différents systèmes tarifaires.	24
Tableau 4. Les principaux indicateurs structuraux dans la province de Ciudad Real, la région de Castilla-La Mancha et Espagne.	34
Tableau 5. Caractéristiques des Communautés d'Usagers des Eaux Souterraines (CUAS) retenues dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	36
Tableau 6. Différentes estimations officielles de la surface irriguée dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	37
Tableau 7. Différentes estimations officielles des extractions d'eau dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	37
Tableau 8. Le régime d'exploitation pour l'année 2006.	41
Tableau 9. L'évolution du programme agro-environnemental (1993-2006).	41
Tableau 10. Représentativité des enquêtes réalisées aux agriculteurs dans les cinq Communautés d'Irrigants les plus importantes de l'aquifère de la Mancha Occidentale.	47
Tableau 11. Structure des exploitations dans la région de La Mancha en 2005.	48
Tableau 12. Typologie des exploitations dans l'aquifère de la Mancha Occidentale en 2006.	49
Tableau 13. Caractéristiques des exploitations représentatives de l'aquifère de la Mancha Occidentale.	50
Tableau 14. Le type de sol dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	51
Tableau 15. Validation de l'agrégation au niveau régional par rapport à l'assolement.	52
Tableau 16. Caractéristiques du modèle de programmation mathématique construit.	54
Tableau 17. Combinaisons possibles des activités de production.	57
Tableau 18. Comparaison de l'assolement simulé avec l'assolement réel.	62
Tableau 19. Les valeurs duales de la terre et du travail.	63
Tableau 20. Scénarios simulés face à l'objectif intermédiaire du contrôle des extractions.	65
Tableau 21. Structure de la tarification volumétrique par paliers.	68
Tableau 22. La situation actuelle dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	70
Tableau 23. Effets de l'application du « Régime d'Exploitation » dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	71
Tableau 24. Effets de la fermeture et de la légalisation des puits illégaux dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	73
Tableau 25. Impact d'une politique tarifaire volumétrique uniforme sur la demande d'eau et les revenus des agriculteurs dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	79
Tableau 26. Impact d'une politique tarifaire volumétrique uniforme sur les recettes et les dépenses de l'Etat dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	79
Tableau 27. Impact d'une politique tarifaire volumétrique par paliers sur la demande d'eau et les revenus des agriculteurs dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	86
Tableau 28. Impact d'une politique tarifaire volumétrique par paliers sur les recettes et les dépenses de l'Etat dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	86
Tableau 29. Consommation d'eau avec un système de tarification volumétrique par paliers lorsque l'objective est atteint.	88
Tableau 30. Effets comparés sur la demande d'eau, les revenus, et le budget de l'Etat, des différents politiques de gestion qui permettent de réduire la consommation d'eau au niveau souhaité.	91
Tableau 31. L'assolement face aux différents politiques de gestion de l'eau qui permettent de réduire la consommation d'eau au niveau souhaité.	92
Tableau 32. Le marché d'eau face aux différents prix possibles d'échange.	93
Tableau 33. Quantités d'eau échangées dans un marché d'eau.	94
Tableau 34. Les valeurs de la vente de l'achat de droits d'eau.	94
Tableau 35. Analyse coût-efficacité des différents instruments de gestion de l'eau.	95

Liste de figures

Schémas

Schéma 1. Les coûts des eaux souterraines.	20
Schéma 2. Les structures de tarification.	23
Schéma 3. Le cadre institutionnel de la gestion de l'eau en Espagne.	35
Schéma 4. Méthodologie suivie.	45
Schéma 5. Structure d'un modèle agrégé régional.	54
Schéma 6. Politiques de gestion de la demande simulées.	67

Cartes

Carte 1. Carte de la situation de l'aquifère de la Mancha Occidentale.	31
--	----

Photos

Photo 1. Le Parc National de Tablas de Daimiel en 1980 et en 2005.	40
--	----

Figures

Figure 1. Distribution en pourcentage du Produit National Brut (PIB) et de l'emploi au niveau national, régional et local (1991).	33
Figure 2. L'évolution des extractions d'eau, de la surface irriguée et de la surface correspondante au programme environnemental, dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	42
Figure 3. Pourcentage des exploitations et de surface occupées classées par niveaux de surface, dans la région de La Mancha en 2005.	48
Figure 4. La fonction de coûts d'extraction.	61
Figure 5. Etapes du développement d'une aquifère importante.	65
Figure 6. Effets sur la demande d'eau face aux différents scénarios de politique simulés, dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	74
Figure 7. Effets sur les stratégies des agriculteurs face aux différents scénarios de politique simulés, dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	75
Figure 8. Effets sur les revenus des agriculteurs face aux différents scénarios de politique simulés, dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	76
Figure 9. Effets sur le budget de l'Etat face aux différents scénarios de politique simulés, dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.	77
Figure 10. Demande nette d'eau face à une politique de tarification volumétrique uniforme.	79
Figure 11. Changement de l'assolement face à une politique de tarification volumétrique uniforme.	81
Figure 12. Le revenu des agriculteurs face à une politique de tarification volumétrique uniforme.	82
Figure 13. Impact d'une politique tarifaire volumétrique uniforme sur le budget de l'Etat.	83
Figure 14. Demande nette d'eau face à une politique tarifaire volumétrique uniforme et par paliers.	86
Figure 15. Structure tarifaire par paliers lorsque l'objectif recherché est atteint.	87
Figure 16. Changement de l'assolement face à une politique de tarification volumétrique par paliers.	88
Figure 17. Courbe de revenu avec une politique tarifaire volumétrique uniforme et par paliers.	89
Figure 18. Le budget de l'Etat face à une politique tarifaire volumétrique uniforme et par paliers.	90

Abréviations et unités de conversion

Abréviations

Unités de conversion

1hm³ (hecto cube) = 1.000.000 m³ (mètre cube)

1ha (hectare) = 10.000 m² (mètre carré) = 0,01 km² (kilomètre carré)

GIRH	Gestion Intégrée des Ressources Hydriques
DCE	Directive Cadre de l'Eau
ACB	Analyse Coût-Bénéfice
ACE	Analyse Coût-Efficacité
CHG	<i>Confederación Hidrográfica del Guadiana</i>
CUAS	<i>Comunidades de Usuarios de Aguas Subterráneas</i>
DCE	Directive Cadre de l'Eau
GAMS	General Algebraic Modelling System
IGME	<i>Instituto Geológico y Minero de España</i>
INE	<i>Instituto Nacional de Estadística</i>
IWMI	<i>Internacional Water Management Institut</i>
MPM	Modèles de programmation mathématique
OCDE	<i>Organisation for Economic Cooperation and Development</i>
PAC	Politique Agricole Commune
PEAG	<i>Plan Especial del Alto Guadiana</i>
PHN	<i>Plan Hidrológico Nacional</i>
PIB	<i>Producto Interior Bruto</i>
SMI	Salaire Minimum Interprofessionnel
UE	Union Européenne
UH	<i>Unidad Hidrogeológica</i>
UN	<i>United Nations</i>
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>

You'll never miss the water; Till your well runs dry

William Christopher Handy, Joe Turner's Blues (1915)
Cité en Tietenberg (2006) (Chapitre 10)

Introduction générale

Le XXI^{ème} siècle a commencé avec une grave crise de l'eau. Cette crise est liée, d'une part à la croissance démographique du siècle dernier, et d'autre part, à la demande excessive en eau qui n'a cessé d'augmenter (UN, 2003). Parmi les différentes demandes en eau, l'agriculture apparaît comme la plus grande consommatrice en utilisant 70% des ressources hydriques en moyenne dans le monde et plus de 90% dans les régions les plus pauvres en eau (IWMI, 2000).

Dans ces régions de pénurie, la diminution des ressources en eau et par conséquent la croissante difficulté d'accès à l'eau constitue un des obstacles majeurs face au développement économique (Rosegrant *et al.* 2002). Néanmoins, quelques régions arides et semi-arides, tels que la Californie, l'Inde, le Mexique, la Jordanie et d'autres pays de la région Méditerranéenne, ont pu bénéficier d'un fort développement socio-économique grâce à la transformation des terres cultivées auparavant en sec en terres irriguées. Cette transformation a été effectuée à partir de l'exploitation intensive des eaux souterraines, assimilées comme des ressources stratégiques en raison de leur facilité d'accès, leur faible coût d'investissement et leurs gros bénéfices (Turner *et al.*, 2004).

Face à ces avantages et au progrès de la science hydrogéologique, à l'abaissement du prix de l'énergie et à l'implémentation de certaines politiques agricoles stimulatrices d'une agriculture irriguée, l'extraction des eaux souterraines pour l'agriculture a connu une forte augmentation ces dernières années. Ce phénomène popularisé par Llamas *et al.* (2005a) comme « *la Révolution Silencieuse* » a été conduit par des millions de petits agriculteurs de manière privée, individuelle et dans la plupart des cas en absence d'un cadre régulateur approprié. L'usage des eaux souterraines, pas ou très peu contrôlé, a conduit à la surexploitation des aquifères au-delà de leur renouvellement ce qui a augmenté encore plus la pression sur l'environnement, entraînant par exemple une régression des zones humides de grande valeur écologique (Coletto *et al.* 2003).

Au cours du siècle dernier, 50% des zones humides ont disparu et de nombreux aquifères ont été surexploités et endommagés (Banque Mondiale, 2002). À cet égard, différents mouvements internationaux ont demandé une vraie prise en compte de cette dimension du problème de l'eau. Les plus récents et les plus notables sont les résolutions VIII.40 et IX.1 annexe Cii, approuvées dans les dernières réunions de la Conférence Ramsar, Valencia (Novembre, 2002) et Kampala (Novembre, 2005) (Ramsar, 2002 et Ramsar, 2005). Celles-ci essayent d'impulser dans les pays arides et semi-arides la compatibilité entre la conservation des zones humides et les différentes utilisations des eaux souterraines, en particulier dans l'agriculture. La croissante prise de conscience environnementale a entraîné une nouvelle approche de politique de gestion d'aquifères qui met l'accent dans la gestion durable et la conservation des espaces naturels (Garduño *et al.*, 2004).

Le cas du Bassin Supérieur du Guadiana constitue, pour sa complexité, un des exemples les plus flagrants à l'échelle nationale et internationale des conflits entre une exploitation intensive des eaux souterraines et la conservation des zones humides (Llamas, 2005). Le présent travail s'intéresse à la gestion des eaux souterraines à partir du cas de l'aquifère de la Mancha Occidentale, l'unité hydrogéologique la plus importante en surface et en volume du Bassin Supérieur du Guadiana, situé dans la partie Ouest de la région de La Mancha, dans le plateau central-sud de l'Espagne.

Du fait de l'exploitation chronique des eaux souterraines pour l'agriculture pendant les 20 dernières années, l'aquifère de la Mancha Occidentale a été surexploité et la nappe phréatique a baissé vertigineusement provoquant le dessèchement et la disparition des précieuses zones humides, la plus importante celle de « Tablas de Daimiel » avec nombreuses désignations nationales et internationales (De la Hera, 2003).

Les mesures mises en place sur la zone jusqu'à présent, tels que les régimes d'exploitation ou les paiements agro-environnementaux, ont réussi à récupérer partiellement mais inégalement l'aquifère. Les

zones humides risquent encore de disparaître et les contestations sociales sont de plus en plus fortes. A l'heure actuelle, il est pourtant clair que les problèmes ne sont pas encore résolus. Les institutions espagnoles continuent à chercher des moyens pour gérer la demande en eaux souterraines du secteur agricole dans la région, c'est pourquoi un nouveau plan d'action est en train d'être discuté « Le Plan Spécial du Bassin Supérieur du Guadiana ».

Dans ce contexte, le but de ce travail de recherche est d'anticiper l'impact potentiel, sur les systèmes de production agricoles, de différents instruments politiques visant à aligner la consommation en eaux souterraines au taux de renouvellement naturel de l'aquifère de la Mancha Occidentale. Le terme *gestion* sera alors utilisé implicitement comme synonyme de *maîtrise*, d'un objectif de réduction de la demande agricole au nom de la durabilité de la ressource et d'une récupération des zones humides dégradées.

Pour atteindre nos objectifs, ce travail sera organisée en six parties comme suit :

1^{ème} partie : elle est consacrée à l'analyse de l'économie et de la gestion des eaux souterraines. Dans la première section, nous montrerons les problèmes de la gestion des eaux souterraines. Ensuite, nous analyserons les différents outils de gestion et les diverses méthodes d'évaluation des politiques publiques.

2^{ème} partie : sera consacré à la présentation du cas d'étude de cette recherche. Dans les premières sections, nous détaillons la situation et la problématique de l'aquifère objet d'étude. Ensuite, nous exposons les possibles solutions envisagées pour résoudre le conflit. Pour conclure, nous relatons la position politique actuelle et les possibilités qu'offre notre travail de recherche.

3^{ème} partie : elle se focalise sur la méthodologie utilisée, basée sur l'utilisation des techniques de programmation mathématique. Elle décrit le travail de terrain effectué, les exploitations types mobilisées, la construction, calibration et validation du modèle développé, et finalement les scénarios de simulation sélectionnés.

4^{ème} partie : elle présente les résultats des simulations. Pour cela, nous avons principalement analysé les impacts pour chaque scénario proposé précédemment et leurs implications sur l'environnement (la consommation de l'eau et la récupération des zones humides), le secteur privé (les revenus des agriculteurs et la viabilité économique des exploitations agricoles) et le secteur public (les dépenses et le recettes du gestionnaire).

Enfin, la **5^{ème} partie** expose les conclusions les plus importantes de cette recherche et la **6^{ème} partie** compile les références bibliographiques.

La partie finale de ce travail est constituée des **Annexes** qui montrent en détail le contenu des différentes sections : l'**Annexe 1** contient l'enquête-type réalisée auprès des exploitations agricoles du périmètre irrigué objet d'étude, l'**Annexe 2** montre le modèle de base écrit en langage GAMS, et l'**Annexe 3** détaille les résultats obtenus par exploitation pour chaque scénario de simulation.

Cette recherche représente une extension de celle réalisée dans le cadre de préparation du Master Recherche 2 EGDAAR (ex-DEA). Elle comporte divers points de renforcement :

- ❑ L'approfondissement du cadre théorique. Ce travail présente une partie plus approfondie et plus complète sur l'économie et la gestion de l'eau dans le champ de l'économie de l'environnement et incorpore une révision de la littérature spécialisée dans le cas particulier des eaux souterraines.
- ❑ L'amélioration de la base de données : un deuxième travail du terrain a été fait dans le cadre du projet NeWater entre les mois d'octobre et février 2006/2007. Le questionnaire a été amélioré, quelques communautés d'irrigants ont été à nouveau enquêtées et des nouveaux agriculteurs et experts ont été incorporés.

- La typologie des exploitations : On a incorporé des nouvelles exploitations et on les a reformulées afin de refléter plus fidèlement la réalité de la zone. Dans le travail précédent, la structure agricole de la région été représentée par deux exploitations représentatives des usagers d'eaux souterraines « légaux » (droits d'eau légaux) et « illégaux » (droits d'eau illégaux). Dans ce travail, cette dichotomie a été supprimée. La zone d'étude est ici représentée par quatre exploitations-types, lesquelles font référence à des exploitations avec des droits d'eau légaux et des exploitations qualifiées de « mixtes » avec une utilisation d'eau en partie légale et illégale.
- La modélisation économique : le modèle économique a été amélioré sur trois angles : (1) Les exploitations « mixtes » ont été divisées en deux sous-matrices : « légale » et « illégale ». Les variables d'état (surface cultivée) et la consommation d'eau sont affectées par cette nouvelle approche. (2) La restriction qui fait référence à la culture de la vigne a été relâchée. Maintenant, les agriculteurs peuvent augmenter et diminuer la surface cultivée, supportant les coûts correspondants. (3) On a incorporé le paramètre statistique « *Percent Absolute Déviation* » (PAD) pour évaluer la calibration du modèle.
- Les scénarios de simulation : cette étude explore l'option politique de la fermeture de puits illégaux vers la légalisation de puits illégaux, et paramétrise le prix de l'eau dans le cas de la tarification par paliers.

Première Partie

Economie et gestion des eaux souterraines

I - Introduction

L'objectif de cette première partie est d'offrir une perspective sur l'économie et la gestion des eaux souterraines afin d'exposer le cadre dans lequel cette recherche va être développée.

Le premier chapitre analyse les caractéristiques et la problématique des ressources souterraines. D'abord, on expose les particularités des eaux souterraines par rapport aux eaux de surface, beaucoup plus étudiées dans la littérature. Ensuite, on définit la place qu'occupent les aquifères dans le champ des ressources naturelles et des biens économiques, et on étudie la problématique spécifique des aquifères comme biens économiques communs en accès libre. L'un des problèmes les plus discutés concerne la prise en compte et l'évaluation des actifs naturels hors marché, telles que les zones humides associés aux réserves des aquifères. On analysera cette problématique et celle de la définition des droits d'eaux souterraines, condition nécessaire pour atteindre l'efficacité économique. Finalement, nous étudierons la prise en compte des eaux souterraines dans la gestion intégrée des ressources hydriques, une approche de plus en plus demandée mais difficilement applicable.

Le deuxième chapitre étudie les différents instruments économiques de gestion des eaux souterraines. Dans une première partie, on définit les objectifs des instruments politiques pour ensuite faire ressortir les conditions générales pour la mise en place de ces outils. Différents méthodes de gestion sont mobilisées pour résoudre la problématique des ressources communes. Les mécanismes de la gestion centralisés, les « favoris » de la théorie classique sont d'abord analysés. Parmi eux, les systèmes autoritaires comme les quotas, et les outils économiques, tels que les systèmes tarifaires et les subventions sont étudiés plus en détail. A l'opposé, les mécanismes de gestion décentralisés, proposés dans le corollaire de la Tragédie de Communs, sont moins utilisés mais ils suscitent de plus en plus d'intérêt. On analysera les caractéristiques des marchés d'eau et une typologie de marché organisé, les banques d'eau.

Finalement, dans le troisième chapitre, les différentes méthodes d'évaluation économique de politiques publiques sont explorées. L'analyse coût-bénéfice (ACB) avec toutes ses variantes, qui reste le plus souvent la méthode préférée pour comparer l'efficacité économique de différentes actions, néanmoins elle n'est pas toujours valide. En ce qui concerne cette recherche, l'analyse coût-efficacité (ACE) s'adapte mieux à nos besoins. Le pour et le contre de chaque méthode est analysé dans ce même chapitre.

II - Les difficultés de la gestion des eaux souterraines

1. Spécificité des eaux souterraines

Même si l'exploitation des eaux souterraines est très ancienne, ces ressources ont été longtemps considérées comme quelque chose de mystérieux puisque nos connaissances de leur quantité et leur provenance sont limitées. Le manque de connaissance a entraîné l'omission des nappes phréatiques du domaine de la gestion et de la planification des ressources hydriques et dans les meilleurs des cas, on suppose que les eaux souterraines peuvent être gérées de la même façon que les eaux de surface.

Il convient pourtant de souligner quelques différences entre le comportement des eaux superficielles et des eaux souterraines ce qui a une répercussion directe sur l'aboutissement d'une gestion adéquate des ressources.

A. Différences physiques et chimiques

- L'eau souterraine se déplace très lentement à travers des aquifères (strates perméables) de zones de recharge jusqu'à des zones de décharge. Sa vitesse de mouvement est parfois inférieure à 1 m/jour. Les eaux superficielles coulent dans les rivières à vitesses de 100 km/jour, autrement dit, elles sont 100 000 fois plus rapides (Tuinhof *et al.*, 2003a).
- L'eau stockée sous la croûte terrestre est entre dix et cent fois supérieure à celle stockée dans les lacs, barrages et rivières. Néanmoins, elle représente seulement 30% de l'eau douce disponible au niveau de la planète (Gleick, 2000).
- En comparaison avec les eaux de surface, les eaux souterraines fournissent une meilleure garantie vis-à-vis des sécheresses. Les systèmes de stockage des eaux de surface sont seulement valides pour une période de sécheresse de trois/quatre ans au maximum ; en même temps, ils subissent des pertes très importantes par évapotranspiration. Les eaux souterraines résistent beaucoup plus longtemps, elles peuvent donc tamponner des événements climatiques imprévisibles plus aisément que les eaux de surface.
- La qualité microbiologique des eaux souterraines est souvent supérieure à celle des eaux de surface. En effet, les eaux de surface proviennent souvent de rivières et de fleuves contaminés par les rejets des villes et des industries. Néanmoins, la dépollution d'un aquifère est un processus très lent, très coûteux et parfois irréversible.

B. Différences sociales et économiques

- Les eaux souterraines sont accessibles à un large nombre d'utilisateurs à un coût relativement modeste en comparaison avec la mise en place d'un grand périmètre irrigué, souvent subventionné par l'Etat. Elles fournissent donc une eau généralement peu chère à chaque individu car son développement ne repose pas sur des investissements importants. Ceux-ci sont souvent financés et gérés directement par les usagers sans aucune coordination entre eux (Llamas, 2005).
- Les eaux souterraines sont extraites près des points de consommation, ce qui limite considérablement les pertes de conduction. De plus, elles offrent une flexibilité d'utilisation qui ne sera jamais atteinte dans les grands périmètres irrigués. Il en résulte en général une meilleure productivité partielle des eaux souterraines, définie comme le ratio entre produit brut (en unités monétaires) et utilisation en eau, c'est pourquoi les terres irriguées à partir des eaux souterraines ont généralement un rendement plus élevé³.

2. Caractéristiques de la ressource

Les eaux souterraines peuvent être cataloguées dans plusieurs classifications des ressources. Dans cette recherche, nous avons considéré les eaux souterraines comme des ressources naturelles renouvelables et comme un bien économique en propriété commune.

A. Des ressources naturelles

Le terme « renouvelable » est ici lié aux vitesses respectives d'exploitation et de reconstitution de la ressource en eau. Les ressources naturelles renouvelables sont alors régénérées, si leurs vitesses sont voisines l'une de l'autre. Dans ce cas-là, le stock peut rester inchangé ou en tout cas suffisant pour que les flux sortants et les flux entrants puissent s'équilibrer (Conrad, 1999, Jourdain, 2004). Dans le cas de l'eau d'un aquifère, le renouvellement d'un aquifère ne dépend pas du stock mais de paramètres exogènes, pluviométrie, configuration du bassin versant, etc. On considère aussi qu'il n'y a pas d'irréversibilité dans la consommation, autrement dit, la cession des extractions critiques permet toujours de recharger l'aquifère à nouveau, ce qui n'est pas tout à fait vrai (Tsur *et al.*, 1995). Par exemple, des extractions excessives peuvent provoquer l'affaissement du terrain et rendre impossible toutes recharges futures.

³ En Espagne, le rendement socio-économique des terres irriguées avec des eaux souterraines est 4 ou 5 fois plus élevée que celui obtenu avec les eaux de surface (Llamas, 2005).

B. Des biens économiques

Depuis la proclamation de Dublin dans l'*International Conference on Water and the Environment* (1992), l'eau est largement considérée du moins dans la communauté scientifique comme un bien économique rare et coûteux que l'on peut affecter à différents usages (Agudelo, 2001). Nous allons rester sur cette approche en considérant l'eau comme un bien économique classique susceptible d'être alloué entre différents usages selon des mécanismes de marché compétitifs. Nous n'entrerons donc pas dans le débat de l'eau comme un besoin humain vital qui doit être exclu des mécanismes de marché.

Les biens économiques classiques sont traditionnellement décomposés en fonction de formes de consommations et des difficultés d'exclusion (voir tableau 1) :

Tableau 1. Typologie de biens économiques.

	Exclusion	Non-exclusion
Rivalité	Bien Individuel ou Privatif	Bien collectif « mixte » ou « bien communs »
Non-rivalité	Bien collectif « mixte » ou de « club » ou « biens à péage »	Bien collectif « pur »

Source : Adapté de Bromley (1991).

D'après cette classification, les *biens privés* sont caractérisés par un contrôle de l'accès et une consommation rivale (la consommation d'un bien par un individu empêche sa consommation par un autre). Les *biens publics* sont caractérisés par la non exclusion (le bien est à disposition de tous), et une consommation non rivale. Les biens définis comme des *biens de club* sont les biens dont on peut limiter l'accès, mais dont l'utilisation n'est pas rivale. Et finalement, les biens communs sont les biens pour lesquels il est coûteux d'exclure l'usage (caractéristique commun avec les biens collectifs purs), et pour lesquels la consommation est rivale (caractéristique commune avec les biens privés).

Généralement, les aquifères sont considérés comme des « *biens communs en accès libre total ou partiel* » car la définition des droits de propriété individuels n'empêchent pas l'appropriation privée du bien et d'ailleurs, ne suffit pas à considérer ces biens comme privés (Jourdain 2004). Les eaux souterraines sont souvent explicitement la propriété de l'Etat. Cependant, la difficulté de mettre en place un système de contrôle des consommations et de forages rend cette appropriation inopérante. Dans cette recherche, l'eau souterraine de l'aquifère de la Mancha Occidentale est dans la plupart des cas la propriété de l'Etat espagnol mais il reste encore des propriétaires de terrains qui sont également propriétaires de l'eau souterraine correspondante à leurs parcelles et de nombreux irrigants échappent ainsi à tout contrôle gouvernemental (comportements *free-riding*) ; des règles collectives existent, mais elles ne fonctionnent pas, c'est pourquoi on fera référence dans cette recherche à l'aquifère objet d'étude comme un « *bien commun en accès libre partiel* ».

3. La « Théorie des ressources communes » et les externalités

Les problèmes que pose l'absence de limitation et de contrôle de l'accès à l'usage des eaux souterraines sont explorés dans les travaux sur la Théorie des Ressources Communes et des externalités.

Les travaux de Gordon (1954), Scott (1955) et Hardin (1968), constituent la base de l'approche classique de la théorie des Ressources Communes. Hardin écrit en 1968 le chef-d'œuvre de sa carrière, la « *Tragédie des Communs* ». Ici, l'auteur décrit comment l'accès libre à une ressource limitée (dans ce cas, un champ de fourrage commun à tout un village) pour laquelle la demande est forte mène inévitablement à la surexploitation de cette ressource et finalement à sa disparition. Chaque individu ayant un intérêt personnel à utiliser la ressource commune de façon à maximiser son usage individuel, tout en distribuant entre chaque utilisateur les coûts d'exploitation, est la cause du problème. L'exploitation de la ressource est pourtant déterminée par la « *règle de la capture* », selon laquelle les individus « myopes » n'ont pas

des incitations pour considérer les bénéfices à long terme et ils maximisent leurs bénéfices à court temps sans tenir en compte les valeurs futures de la ressource.

Ce type de comportement a été reproduit en théorie de jeux sous la forme du « *dilemme du prisonnier* ». Chaque joueur ici appelé « prisonnier » essaye de maximiser ses bénéfices sans tenter d'en faire autant avec ceux de l'autre joueur. La forme stratégique générique est la suivante (voir tableau 2) :

« *C'est un jeu à deux joueurs. Chaque joueur a deux stratégies possibles : coopérer (C) ou ne pas coopérer (NC). Le gain de chacun dépend de sa stratégie et de la décision de l'autre. Les gains respectifs des joueurs (T, R, S et P) se lisent dans le tableau : gain du joueur 1, gain du joueur 2. On cherche l'équilibre de Nash « * » où chacun maximise de façon individualiste son gain* ».

Tableau 2. Le dilemme du prisonnière et l'équilibre de Nash.

		Joueur 1	
		C	NC
Joueur 2	C	(R ; R)	(S ; T)
	NC	(T ; S)	(P ; P)*

Avec $T > R > P > S$

Source : Nocentini (2001)

L'équilibre de Nash pour ce type de jeu ne conduit pas à un optimum de Pareto (c'est-à-dire un état dans lequel on ne peut pas améliorer le bien-être d'un individu sans détériorer celui d'un autre), A l'équilibre, lorsqu'il n'y a pas de confiance entre les « prisonniers », chacun est incité à non-coopérer, même si les gains individuels et le gain collectif sont inférieurs à la solution où les agents coopèrent. C'est le cœur du dilemme.

Les eaux souterraines sont un exemple classique de la problématique des communs. Dans l'exploitation des eaux souterraines, chaque individu tend à ignorer l'impact de son taux d'extraction sur les réserves futures de l'aquifère en atteignant un taux d'exploitation plus haut que le taux socialement optimal. D'ailleurs, dans les opérations individuelles d'extraction dérivent des coûts qui ne retombent pas forcément sur l'individu extracteur. La divergence entre les coûts privés et les coûts sociaux donne lieu à différents « *externalités* » associées à l'exploitation des eaux souterraines (Milliman, 1956, Vaux, 2005). La plus connue est l'*externalité des coûts d'extractions*, palpable dans presque tous les aquifères. Dans ce cas-là, les extractions de chaque individu retombent sur des autres extracteurs en raison de l'abaissement du niveau de la nappe et de l'augmentation généralisée du coût de pompage. Une autre externalité est l'*externalité de stock*. Elle reflète le coût d'opportunité associé à l'épuisement de la ressource (Provencher et al. 1993). D'autres externalités ont été aussi identifiées, par exemple celles liées à la qualité de l'eau (pollution) et aux effets liés à la baisse des nappes phréatiques (assèchement des zones humides). Une analyse plus approfondie des *externalités environnementales* liées à l'exploitation des eaux souterraines a été entreprise par Iglesias (2001) sur l'aquifère de la Mancha Occidentale, en Espagne. L'externalité environnementale est présentée comme conséquence de l'existence d'une zone humide de grande valeur écologique hydrologiquement dépendante de la nappe phréatique de l'aquifère.

Dans cette recherche, les externalités environnementales ont été considérées comme un facteur exogène dans la gestion et l'exploitation des eaux souterraines, en imposant la condition que les extractions ne doivent pas dépasser le taux de renouvellement de l'aquifère. Les externalités de pompage sont aussi implicitement prises en compte à travers une fonction de coût d'extraction liée à la consommation d'eau effectuée individuellement et globalement par les agriculteurs, de façon qu'au fur et à mesure que les extractions augmentent, les coûts d'extraction pour tous les usagers le font aussi.

La théorie classique des ressources communes conclut que même si les bénéfices obtenus à court terme sont plus élevés que les coûts d'extraction, le taux d'extraction excessif finira par épuiser ces ressources, et propose deux solutions pour promouvoir l'usage soutenable de la ressource et internaliser les externalités : la régulation de l'Etat (mécanismes centralisés) et le marché (mécanismes décentralisés). Des économistes institutionnelles introduisent plus tard une troisième voie, les mécanismes de gestion collective basés en règles imposées par la collectivité (Ostrom, 1990), Ostrom *et al.*, 1999). L'étude des

différents instruments de gestion de l'eau souterraine est effectuée plus en détail dans la section suivante (première partie, section 3).

4. La valeur économique des eaux souterraines

La valeur de la ressource en eau est généralement divisée en deux composantes intimement liées (Agudelo, 2001) :

- La valeur « d'usage », qui fait référence au bien-être obtenu de l'utilisation directe ou indirecte, présente ou future de l'eau.
- La valeur « de non usage », qui fait référence aux sources de valeur sans une utilisation proprement dite de la ressource, c'est-à-dire, à leur propre valeur d'existence.

Dans les cas des eaux souterraines, bien que ces ressources supportent beaucoup de fonctions et qu'elles soient potentiellement très précieuses, ses valeurs ont été souvent ignorées. La valorisation classique des eaux souterraines a été faite à partir de la valeur d'usage, valorisant des revenus obtenus par les principales activités productives (l'agriculture, l'industrie, les ménages) et sans tenir compte de leurs interrelations hydrogéologiques, tels que l'entretien de zones humides, c'est-à-dire, sans tenir compte de la valeur de non usage (Iglesias, 2001).

Dans la plupart des régions, l'agriculture est le principal usager de l'eau. En Espagne, l'agriculture utilise 80% des ressources disponibles, dont 38% proviennent des eaux souterraines (presque 5.500 Hm³/an). C'est pourquoi la plupart des méthodologies qu'on trouve dans la littérature font référence au calcul de la valeur de l'eau comme facteur de production de l'activité agricole.

Parmi elles, la méthodologie la plus utilisée est le calcul de l'excédent économique du producteur à partir de la fonction de demande (grâce aux modèles de programmation mathématique) ou de la fonction d'offre (grâce aux modèles économétriques) (Taylor *et al.* 1993). L'approche traditionnelle se base sur l'estimation de l'excédent à partir de modèles de programmation mathématique de la fonction de demande. Ces méthodes ont été les plus utilisées car ils s'adaptent mieux aux caractéristiques et à la disponibilité de données du secteur agricole (Boussard 1987).

Nous retenons ici une autre méthodologie pour calculer la valeur d'usage des eaux souterraines. Torell *et al.* (1990) calculant la valeur des eaux souterraines à partir de la différence de prix entre les terres irriguées et les terres cultivées en sec. Ces auteurs analysent les prix d'achat et de vente des différentes exploitations agricoles et soulignent une perte de la valeur lorsque la nappe phréatique baisse. On a voulu remarquer ce type de méthodologie car une approche similaire est utilisée à l'heure actuelle par le gouvernement espagnol pour calculer la valeur des droits d'eau dans l'aquifère de la Mancha Occidentale afin d'établir un prix d'achat aux droits d'eau. L'idée du gouvernement est d'acheter les droits d'eau aux agriculteurs par un procès connu sous le nom de « sauvetage de droits d'eau » (ce sujet est analysé plus en détail dans les parties suivantes).

D'autre part, on avait déjà dit que la valeur de « non-usage » de la ressource en eau a été longtemps ignorée. Cependant, l'incorporation de cette valeur dans le calcul de la valeur totale des ressources hydriques est de plus en plus demandée (Turner *et al.* 2004). Le *National Research Council* (NRC, 1997) et d'autres organismes et auteurs, tels que Bergstrom *et al.* (1994), soulignent le besoin de définir et de quantifier la Valeur Economique Totale de la ressource (VET) et rétablissent deux catégories de valeur : la valeur des « usages extractifs » et la valeur « in situ », qui correspondent à peu près à la valeur d'usage et la valeur de non-usage qu'on avait défini précédemment.

Le principal problème lorsqu'on inclut les services environnementaux dans la valorisation économique, réside dans la monétarisation des actifs naturels hors marché. Par exemple, les flux des eaux souterraines sont dans quelques cas (et dans notre cas particulier) liés à la formation et à la conservation d'habitats et de zones humides qui fournissent des services écologiques importants, et qui rend encore plus complexe le travail d'attribution de valeur monétaire à ces biens. Malgré tout, plusieurs méthodes essayent de

mesurer la valeur de ces actifs sans contrepartie monétaire, en ayant recours à des situations simulées et non plus observables.

Parmi eux, la méthode de « *l'évaluation contingente* » qui reste l'approche la plus développée pour déterminer la disposition à payer pour les biens collectifs (Mitchell *et al.*, 1990). Elle consiste en une interrogation des consommateurs sur leur *disposition à payer*, pour bénéficier de l'utilisation d'un service, d'un bien ou d'un actif, ou pour ne pas supporter un coût, et sur la compensation minimale acceptable, *disposition à recevoir*, si le bien service ou actif n'est pas offert ou un coût supporté. Son application au champ des eaux souterraines a été faite surtout pour calculer la valeur de préservation de la qualité de la ressource (voir le travail de Stenger *et al.*, 1998). La méthode de l'évaluation contingente est une méthode de révélation « directe » de préférences individuelles, mais il y a aussi des méthodes « indirectes ». Dans la méthode de « coûts de déplacement », les individus sont questionnés sur leur disponibilité à payer pour un déplacement et non sur la valeur qu'ils accordent à un bien. Une autre méthode est la méthode des « prix hédoniques », elle repose sur l'idée que le prix d'un bien immobilier dépend de multiples caractéristiques, dont certaines peuvent être liées à la qualité de l'environnement. Dans ce cas, les différences de prix constatées entre des biens fournissent une information sur le prix implicite (ou hédonique) de l'actif qui améliore la qualité de l'environnement (ou de l'eau). L'avantage de méthodes « indirectes » est qu'ils sont basés sur la conduite observée des individus. Par contre, ils révèlent seulement la valeur d'usage d'un bien environnemental, alors que l'évaluation contingente peut être appliquée à des valeurs d'usage en même temps que la valeur de non-usage dérivés des eaux souterraines.

Un autre défi que présente l'évaluation économique totale des eaux souterraines est la difficulté d'évaluer les bénéfices de la ressource dans le futur, de même que l'irréversibilité des impacts de certaines mesures de gestion. En effet, les eaux souterraines présentent une valeur dite « *d'option* », qui englobe les possibles bénéfices futurs de l'utilisation des réserves d'un aquifère en périodes par exemple de sécheresse, et une valeur de « *quasi-option* » qui permet de mesurer la valeur de réversibilité des événements liés à la diminution de la nappe phréatique (par exemple, le procès de pollution ou d'affaissement du terrain qui risquent d'être irréversibles) (Arrow *et al.* 1974).

Tandis que l'évaluation économique des valeurs d'usage des eaux souterraines est claire, de nouvelles études doivent se faire pour améliorer l'évaluation économique des valeurs de non-usage, car l'importance et l'ampleur des valeurs « *in situ* » est encore très incertaine (Iglesias 2001).

5. La définition des droits de propriété

La question de l'allocation et donc de l'appropriation des ressources naturelles est une question essentielle pour l'analyse économique. La plupart des économistes soulignent que des droits (de propriété) clairement définis (spécifiés, exclusifs, mis en place et transférables) sont la condition de l'efficacité économique (Gordon 1954, Coase 1960, Hardin, 1968, Randall 1981).

Les droits de propriété sont considérés dans la littérature économique classique comme des « *relations entre les hommes au sujet de choses rares et à usages concurrents* »⁴. (Fisher, 1923). L'appropriation des actifs est définie sans difficulté par la « théorie de la justice distributive », qui lie le droit de détenir des droits (dont propriété) aux « *fruits du travail* » (Kolm, 1986). Néanmoins, cette approche n'est pas si claire lorsque les actifs susceptibles d'appropriation sont des actifs naturels.

Les ressources naturelles sont distribuées dans la nature, du coup elles ne sont pas produites par personne et n'ont, de ce fait, pas de propriétaire légitime évident a priori. En plus, les ressources naturelles sont « *multi-attributs* ». Les droits en régissant l'accès, l'usage ou le prélèvement doivent ainsi préciser un ensemble plus ou moins étendu de caractéristiques physiques (situation dans l'espace, qualité, etc.) et de disponibilité dans le temps. Ces attributs vont déterminer les conditions d'utilisation : exclusives,

⁴ Ils ne sont pas pourtant contemplés comme des choses physiques, mais ils font référence aux relations sociales hommes-choses.

simultanées, conjointes, etc., et ainsi interagir avec le « régime » de la propriété : privée, publique (de l'Etat), commune (à un groupe social), ou en accès libre (Howe *et al.* 1998).

Dans le cas particulier des eaux souterraines, les ressources ont été longtemps considérées comme relevant de la propriété privée. Les approches de la « *propriété absolue* » et de « *l'utilisation raisonnable* » font que les propriétaires ont le droit d'extraire les eaux souterraines sous-jacentes à leurs propriétés (dans le deuxième cas, avec la condition de non gaspillage). Ces approches ont été suivies par beaucoup de pays, tels que l'Espagne jusqu'à l'année 1985 (nouvelle Loi de l'Eau), mais ils ont été fortement critiqués car l'attribution de la propriété ne s'est pas produite parce que l'eau n'était pas extraite, ce qui revient à dire que l'eau qui reste dans l'aquifère devient une ressource commune et du coup elle est gouvernée par la « règle de la capture » (Bogges *et al.* 1993).

A l'heure actuelle, ces approches ont été généralement rejetées. Iglesias (2001) souligne qu'ils ont été substitués par d'autres telles que l'approche de « *droit corrélatifs* » ou l'approche de « *droits historiques* ». Tous les deux établissent que la quantification des « droits d'eau » est un élément basique et différent dans la façon d'attribuer les droits, le premier plaide pour une répartition égalitaire et le deuxième attribue une priorité d'utilisation aux droits les plus anciens.

Dans cette ligne de pensée, la plupart des pays considèrent actuellement que les ressources hydriques relèvent de la propriété publique et le gouvernement a la responsabilité de gestion de la ressource. Les « droits d'eau souterraine » constituent un droit pour extraire et utiliser les ressources mais pas pour leur posséder, ce qui correspond au terme « d'usufruit » en droit. Les cessions (droits d'eau) pour extraire et utiliser les eaux souterraines sont conférées par l'autorité publique au moyen d'autorisations, de permis ou de concessions, lorsque ces droits sont transférables. Dans ce cas-là, et à la différence des droits de propriétés « *purs* », leur mise en œuvre ne peut pas se faire sans qu'il y est un contrôle explicite d'une autorité qui définit le niveau de disponibilité socialement désirable (Garduño *et al.* 2002). Notre recherche se positionne dans cette dernière approche. Désormais, nous utiliserons le terme plus court de « droit d'eau » pour faire référence réellement à un droit d'usage d'eau.

6. Le développement durable et la gestion intégrée des eaux souterraines

L'eau souterraine a été l'un des sujets clé dans le « Sommet Mondial pour le Développement Durable » de Johannesburg en 2002 et plus récemment dans le « Sommet Mondial des Nations Unis » en 2005. Une des lignes d'action signées dans le Sommet Mondial pour le Développement Durable (article 26) souligne que les pays doivent « *développer et instaurer des stratégies, plans et programmes nationales/régionales, pour la gestion intégrée de bassins et leur conservation qui incluent les eaux souterraines, et introduire des mesures pour améliorer l'efficacité de la structure hydraulique afin de réduire les pertes et augmenter leur réutilisation* ». D'ailleurs, le document de résultats du Sommet Mondial des Nations Unis renforce cette idée et sollicite l'apport de l'aide aux pays en développement pour mettre en place ce type de stratégies (IWMI, 2006).

L'Association Mondiale de l'eau a établi ultérieurement le cadre conceptuel et les lignes de comportement à suivre pour mener à bien la Gestion Intégrée des Ressources Hydriques (GIRH). Suivant ces directives, l'approche intégrée des eaux souterraines implique (Garduño *et al.*, 2004) :

- équilibrer les demandes croissantes en eau avec les besoins des écosystèmes terrestres et aquatiques,
- considérer l'efficacité, l'équité et la durabilité de l'usage de l'eau souterraine et ses relations avec l'extraction de l'eau de surface,
- rendre effectif la priorité de leur utilisation pour la consommation humaine,
- prendre en compte les relations (double sens) entre les facteurs économiques, sociaux, environnementaux et l'exploitation, la gestion et l'utilisation des eaux souterraines,
- s'assurer que les politiques hydriques prennent en compte l'intégration entre secteurs,
- s'assurer que les aspects importants des eaux souterraines sont pris en compte dans les arrangements territoriaux,

- prendre en compte la relation entre les permis d'extraction d'eau et les contrôles de décharges des eaux usées,
- assurer la participation des parties impliquées (« *stakeholders* »), en prêtant attention aux femmes et aux pauvres.

Au niveau européen, la gestion intégrée des eaux est promue dans la Directive Cadre de l'Eau (UE, 2000), laquelle exige une double intégration : horizontale (entre secteurs et usagers) et verticale (dès l'échelle locale à l'échelle globale). La DCE établit comme unité de gestion les « Bassins Versants ». La gestion au niveau des bassins permet de réunir toutes les parties intéressées dépendantes de la même quantité d'eau de surface et d'eau souterraine (de même que de l'utilisation du sol et de l'écologie associée), en fournissant un forum idéal pour la coordination, la participation, la résolution et l'évaluation des ressources.

Enfin, une troisième dimension devrait être intégrée, le temps. En effet, lorsque les réserves d'eau dans les aquifères soutiennent les écosystèmes naturels difficilement remplaçables, il est nécessaire d'intégrer des valeurs qui vont affecter l'utilité des générations présentes et futures. La comparaison de l'utilité des générations présentes et futures est intrinsèquement liée au concept d'équité intergénérationnelle, laquelle génère et continue à générer une controverse importante (Page 1997,).

En général, la GIRH (Gestion Intégrée des Ressources Hydriques) est encore hors de la capacité de beaucoup d'administrations de ressources hydriques. Sa mise en oeuvre demande une compréhension importante des interactions physiques entre les ressources, un cadre institutionnel de planification et de coordination solide et intégrée, ce qui n'est pas toujours le cas (IWMI, 2006). Les rares exemples existants se trouvent dans le milieu de l'approvisionnement domestique et pas à l'irrigation agricole.

Dans cette recherche, le terme « gestion » est utilisé implicitement comme synonyme d'un objectif de réduction de la demande agricole au nom de la durabilité de la ressource et d'une récupération des zones humides dégradées. Même si notre analyse est intra-temporelle, la prise en compte implicite de la durabilité de la ressource permet, en quelque sorte, la prise en compte des besoins de générations futures. De plus, notre modèle reflète une intégration spatiale au niveau du Sous-Bassin Les intégrations eaux souterraines-eaux de surface et les fonctions économiques-environnementales sont analysées au niveau global de l'aquifère, une échelle tout à fait appropriée pour promouvoir une analyse intégrée lorsque les aquifères sont grands, profonds et situés en régions arides (Garduño *et al.* 2004). En résumé, on fera référence dans cette recherche à une gestion intra-temporelle et partiellement « *intégrée* » au niveau du Sous-Bassin.

III - L'analyse des instruments économiques pour la gestion des eaux souterraines

On a vu dans les sections précédentes, comme les théoriciens classiques des ressources communes sont relativement pessimistes quant au devenir des biens communs. Ils prédisent que la seule analyse en terme de coût/avantage conduit les individus à la recherche de leur propre intérêt personnel et à une surexploitation des ressources de propriété commune.

Les solutions classiques proposées en terme de choix de gestion pour corriger ce type de comportement et aboutir à une gestion optimale des eaux souterraines sont ⁵:

1. La centralisation, c'est-à-dire, la gestion de la ressource à travers un organisme central (institution centralisée, l'Etat). D'après cette approche, le gestionnaire connaît a priori la rareté de la

⁵ Des économistes institutionnelles introduisent plus tard une troisième voie, les mécanismes de gestion collective basés en règles imposées par la collectivité (Ostrom, 1990 ; Ostrom *et al.*, 1999). Ce positionnement ne sera pas objet d'analyse dans notre recherche.

ressource et peut donc allouer l'eau en fonction des productivités marginales. Les instruments centralisés les plus utilisés dans la gestion d'eaux souterraines sont : les quotas, les taxes et les subventions.

2. La décentralisation, autrement dit, la privatisation (création et définition de droits de propriété) et la mise en place d'un marché concurrentiel (institution décentralisée) pour guider l'allocation de la ressource. Grâce aux rapports de force, le prix de marché reflète la rareté relative de la ressource. La valeur du produit marginal est alors égale dans tous les usages. Les instruments décentralisés les plus utilisés dans la gestion d'eaux souterraines sont : les marchés d'eau et les banques d'eau.

Les instruments économiques de gestion d'eaux souterraines (centralisés ou décentralisés) fournissent des incitations pour assigner et utiliser l'eau d'une façon efficiente. Ils contribuent à réduire la surexploitation et à stabiliser les niveaux des nappes phréatiques, diminuant ainsi les risques des impacts négatifs et de conflits sociaux, et retardent la nécessité d'investir en ressources hydriques alternatifs (Kemper *et al.* 2003). La mise en place de différents instruments de gestion exige une définition claire des objectifs à suivre et l'accomplissement de certaines conditions générales et spécifiques. Ils seront analysés dans les sections suivantes.

1. Les objectifs de la gestion : l'efficacité, l'équité, l'équilibre budgétaire

L'instauration d'instruments de gestion de l'eau nécessite la définition des objectifs à poursuivre. Dans la politique économique, deux types d'objectifs sont dans la plupart des cas mobilisés quand nous cherchons à analyser la convenance d'un instrument ou un outil politique : l'efficacité et l'équité. Un troisième élément est souvent pris en compte, notamment dans le cas particulier de la ressource en eau pour l'irrigation : l'équilibre budgétaire.

Ces trois critères sont fondamentaux mais ne sont pas toujours compatibles entre eux. Un instrument de gestion efficace (de caractère incitatif) génère souvent une situation d'iniquité (sociale) et peut ne pas permettre de couvrir les coûts supportés par le gestionnaire. Le décideur public devra dès lors choisir un compromis socialement désirable entre différentes valeurs que peuvent prendre ces indicateurs.

- *L'efficacité*

Différentes acceptions ont été mobilisées afin de définir le concept d'efficacité : efficacité de production, efficacité technique, efficacité d'allocation, efficacité environnementale, etc. Nous ne discuterons pas ici toutes ces acceptions, nous resterons dans « l'efficacité économique », connue dans la littérature comme « efficacité d'allocation », car elle est la plus pertinente pour cette étude.

L'efficacité d'allocation est atteinte lorsqu'il est impossible d'augmenter le bien-être d'une ou plusieurs personnes sans diminuer celui d'une autre personne (allocation optimale au sens de Pareto). Lorsqu'on traduit cette acception au domaine d'eau, l'allocation de la ressource est efficace, si elle égalise la valeur marginale au coût marginale (Montginoul, 1997).

Pour une quantité d'eau fixe, l'allocation optimale est atteinte lorsque le bénéfice marginal net est égal pour tous les usagers, de façon qu'aucun transfert d'eau ne soit possible sans diminution des bénéfices nets. Une allocation non optimale représenterait alors une situation où la réallocation des ressources, des usagers aux bénéfices marginaux nets bas vers les usagers assurant une valeur d'eau marginale plus élevée, implique une augmentation des bénéfices nets (Turner *et al.*, 2004).

Dans le cas particulier des eaux souterraines, cette approche doit être ajustée et prendre en compte la nature variable, même épuisable, de l'offre d'eau à travers le temps. En effet, lorsque les extractions excèdent la recharge de l'aquifère, la disponibilité des ressources commence à diminuer jusqu'à ce que la nappe soit épuisée ou le coût marginal de l'extraction d'une unité additionnelle d'eau devienne prohibitif. Le coût marginal est alors lié à l'extraction d'eau, reflétant le coût d'opportunité associé à la non disponibilité à l'avenir d'aucune unité d'eau utilisée au présent. Une allocation des eaux souterraines efficace au moyen d'un instrument de gestion qui envisage un objectif d'efficacité, devrait prendre en

compte ce coût. Par exemple : dans un marché efficient des eaux souterraines où il n'y a pas recours à d'autres sources d'eau (surface), le prix de l'eau devrait d'augmenter à travers du temps (Tietenberg 2006, page 213).

- *L'équité*

L'équité, de même que l'efficacité, a de nombreuses acceptions et définitions : équité horizontale, équité verticale, équité inter-temporelle, etc. De plus, la conception de l'équité diffère selon les cultures, pays, sexes, âge, etc.

Nous distinguerons ici trois types d'équité appliquée au domaine de l'eau :

- ❑ L'équité dans le sens de « chances et des opportunités ». L'équité représente l'égalité d'accès à la ressource, tous les usagers ont alors un accès comparable à l'offre en eau.
- ❑ L'équité dans le sens de la justice économique : « chacun selon ses apports ». L'équité est l'égalité du rapport entre la contribution et la rétribution personnelle, comparée à celle d'un autre ; chaque usager reçoit ce qu'il apporte.
- ❑ L'équité dans le sens de la justice sociale : « chacun selon ses besoins ». L'équité représente l'égalité des revenus. L'eau apparaît dans ce cas-là comme un instrument de redistribution des revenus et non comme un bien de production.

- *L'équilibre budgétaire*

Dans le passé, la plupart des projets d'irrigation ont été subventionnés par l'Etat, donnant lieu à un « déséquilibre budgétaire » avec un impact non négligeable sur les caisses de l'Etat. Les prix de l'eau reflètent rarement son coût réel. En Espagne, comme dans beaucoup d'autres régions du monde, le prix de l'eau de surface reflète les coûts de fonctionnement et de maintenance (O&M), une partie des coûts de capital, mais très rarement les coûts d'opportunité et les coûts externes de la ressource (Varela-Ortega *et al.* 2006a).

Les nouvelles politiques de gestion de la demande d'eau plaident pour une récupération de coûts. Ainsi, la Directive Cadre Européenne sur l'eau signale dans l'article 9, que « *tous les Etats membres devront tenir compte du principe de récupération de coûts des services en relation avec l'eau, inclus les coûts environnementaux et ceux relatifs aux ressources* ».

En plus, elle impose l'introduction de mesures de tarification d'eau nécessaires afin de transmettre des incitations aux usagers d'eau et de promouvoir une gestion efficace de la ressource (Commission Européenne, 2000).

En ce qui concerne les eaux souterraines, elles ont été le plus souvent exploitées de façon privée et individuelle. Les propres usagers ont, aux dépenses d'eux-mêmes, construit et entretenu leurs puits.

Le schéma I-1 montre comme, généralement, les usagers des eaux souterraines assument les coûts d'extraction (pourvu que l'énergie n'est pas subsidiée) et les coûts de capital (sans tenir en compte les subventions des crédits) sont assumées par les usagers, mais les coûts d'opportunité et les coûts externes sont rarement pris en compte .

Schéma 1. Les coûts des eaux souterraines.

		COÛTS D'APPROVISIONNEMENT DE L'EAU			COÛTS D'OPPORTUNITÉ	COÛTS EXTERNES	
LE COUT D'EXTRACTION DES EAUX SOUTERRAINES	Le coût économique total	Coûts de capital (coûts d'aménagement)		Coûts d'opération et de maintenance (O&M)	Coût administratif de la ressource	Valeur non utilisée des usages alternatifs (coût d'épuisement, présent/future)	Valeur <i>IN-SITU</i> (coût de dégradation, amortisseur de sécheresses, etc.)
	Le coût assumé par les usagers	Coûts de capital (crédits souvent subsidiés)	Coûts O&M (énergie souvent subsidiée)	Charges administratives de la ressource			

Source : Kemper *et al.* (2003)

2. Des conditions pour la mise en place des instruments de gestion

Les conditions générales pour la mise en place des instruments de gestion de l'eau d'irrigation ont été explorées par Montginoul (1997)⁶. Pour que l'instrument de gestion utilisé soit efficace, trois conditions générales doivent être réunies quelque soit l'objectif recherché :

- *L'existence d'un cadre légal adéquat.*

Il est absolument nécessaire d'établir les « règles du jeu », ce qui, dans le domaine de l'eau, va se traduire en « Lois sur l'eau ». Elles sont nécessaires pour définir les droits de propriétés, critère de base pour permettre aux mécanismes de marché de fonctionner efficacement. En Espagne, les lois sur l'eau datent de 1985, 1999 et 2001.

- *La production d'un bénéfice social net.*

Cette condition s'inspire de celle de la rentabilité financière d'un projet. En fait, la mise en place d'un instrument de gestion doit être moins coûteux que les bénéfices qui s'obtiennent. Les coûts à prendre en compte sont : les coûts d'information aux divers acteurs, les coûts d'application, les coûts de contrôle et les pertes de bien-être concernant les acteurs dont la satisfaction diminue suite à la mise en place de l'instrument de gestion. Tous ces coûts doivent être inférieurs au bénéfice social obtenu.

- *La possibilité d'application.*

La mise en place d'un instrument de gestion exige :

- ❑ L'accord de la société. Les usagers d'eau et la société en général doivent accepter le nouvel instrument de gestion mis en place.
- ❑ Une forte volonté politique. L'organisme gestionnaire doit faire prendre conscience à la société du changement et faire respecter l'application du système de gestion.
- ❑ Une applicabilité des instruments de gestion. Cette condition est parfois liée à la condition précédente. Les outils de gestion doivent pouvoir être mis en œuvre. L'eau doit être payée (systèmes tarifaires, marchés) et contrôlée (quotas).

⁶ Nous n'avons pas considéré des conditions spécifiques à l'atteinte d'objectifs particuliers.

- L'existence d'une infrastructure solide. Par exemple, l'installation de compteurs dans le cas de la tarification volumétrique ou des quotas, et d'une structure organisationnelle permettant l'échange pour les marchés d'eau.

3. Les mécanismes de gestion centralisés

Les instruments de gestion « centralisés », ceux imposés par une autorité externe, ont été traditionnellement les plus utilisés. Parmi eux, les plus importants sont les systèmes qui limitent autoritairement la consommation d'eau (les quotas) et les outils économiques qui taxent la consommation d'eau (les systèmes tarifaires) ou qui donnent des primes à la non consommation de la ressource (les subventions).

A. Les quotas

Les quotas sont un instrument de gestion autoritaire, qui consiste à limiter de manière normative la quantité maximale de ressources à consommer des agents économiques. Généralement, l'institution centralisée chargée de distribuer et de faire respecter les quotas est l'Etat. Dans ce cas-là, la littérature spécialisée parle d'une « *allocation administrative des ressources* », néanmoins nous parlerons toujours de « quotas » afin de simplifier la terminologie.

Contrairement aux incitations économiques des systèmes tarifaires et des subventions, où on cherche plutôt à générer un comportement voulu au travers de signaux économiques, un système de quotas limite le domaine des possibles pour les individus. Cette caractéristique implique dans la plupart de cas, que l'allocation de la ressource en eau par un système de quotas ne garantit pas d'atteindre l'efficacité. En général, l'organisme gestionnaire ne connaît pas les valeurs de la ressource associée aux usagers et rarement les agents égalisent la valeur marginale de la ressource avec son coût marginal. Ainsi, des usagers avec une valeur marginale très élevée, qui consommeraient une grande quantité de ressource, sont contraints par leur quota alloué, et au contraire, d'autres usagers, avec une valeur marginale plus petite optent pour consommer tout leur quota tandis que dans une situation concurrentielle leur consommation serait inférieure.

Le système de quotas est l'instrument de gestion le plus fréquemment rencontré dans la pratique. Montginoul (1997) explique les avantages et les inconvénients des trois principaux types de quotas rencontrés dans le domaine de l'eau d'irrigation : le quota volume, le quota débit, et le quota temps. Dans le cas particulier des eaux souterraines, les systèmes les plus utilisés sont le quota temps, et majoritairement le quota volume. Par la suite, on analysera seulement ces deux variantes.

- *Le quota volume.*

Le gestionnaire distribue le volume maximum prélevable par un système de quotas explicités par unité de référence (par unité de surface et/ou par préleveur) et par unité de temps (fixe ou variable). Lorsque l'objectif de la politique est de maintenir un état stationnaire, les quotas sont définis en fonction du taux de renouvellement de l'aquifère.

Iglesias (2001) décrit les systèmes de quota volume en fonction du temps. Les systèmes fixes dans le temps, établissent un volume maximum prélevable égal au « taux soutenable d'exploitation ». Ces systèmes n'exigent pas beaucoup d'information mais ils omettent la fluctuation de la disponibilité d'eau en raison de la variabilité climatique. Les systèmes variables prennent en compte ce paramètre, de façon que le quota soit défini chaque année (hydrologique) en fonction de la recharge de l'aquifère. Les méthodes variables sont souvent utilisées lorsque les aquifères sont surexploités et il existe un objectif de récupération, tel qu'est notre cas objet d'étude. Dans ce cas-là, le gestionnaire établit un plan d'extractions à travers le temps (système de quotas annuels) pour conduire les réserves de l'aquifère du niveau de surexploitation au niveau optimal.

En général, le quota volume est le meilleur système pour contrôler la ressource et pour éviter les situations de crise. Le fait de connaître le volume à consommer, confère une grande souplesse

d'utilisation de la ressource dans le temps, ce qui permet de faire face aux fluctuations climatiques. Néanmoins, ce système de gestion génère de très forts coûts d'information et de contrôle pour le gestionnaire. Il nécessite une mise en place de compteurs volumétriques des prélèvements, d'un suivi des quantités consommées, et d'une connaissance a priori du volume (et variation) d'eau disponible. Lorsque ces conditions ne sont pas remplies, le système devient inopérant. C'est la situation de l'aquifère de la Mancha Occidentale que nous étudions, où l'Etat n'a pas mis en place une structure de contrôle suffisamment dissuasive pour faire respecter le plan d'extractions : les compteurs volumétriques ne sont pas toujours en place et la menace d'un contrôle reste moyennement faible.

- *Le quota temps*

Cet instrument de gestion est généralement utilisé lorsque le gestionnaire ne connaît pas les volumes prélevés. Alors, le seul moyen pour restreindre la consommation des agriculteurs est de limiter le temps pendant lequel les usagers sont autorisés à prélever.

La formule la plus utilisée de quota temps sont les « tours d'eau », où les prélèvements des usagers sont autorisés pour une date et pour une durée précise et ils se relayent pendant ce temps. Un exemple pratique de cette méthode, utilisé en Mexique pour contrôler la consommation d'eau d'irrigation des puits collectifs, est analysé par Jourdain (2004).

Le quota temps est le meilleur système pour gérer les situations de pénurie lorsqu'elles ne sont pas connues avec certitude et les coûts de gestion ne sont pas trop élevés. Par contre, il permet aux usagers d'extraire davantage en dehors des dates d'interdiction, ce qui leur incite à augmenter leur capacité de pompage, notamment pour les usagers avec une capacité financière plus élevée. La répartition peut devenir alors inégale et le système inéquitable.

B. Les systèmes tarifaires

Les systèmes tarifaires sont des instruments économiques à caractère incitatif, capables de transmettre aux consommateurs un signal de rareté afin qu'ils utilisent la ressource de manière plus efficiente. Dans le cas particulier du secteur agricole, les politiques tarifaires cherchent à (Sumpsi *et al.* 2001):

- ❑ récupérer les coûts de la ressource en eau
- ❑ transmettre aux usagers des signaux de rareté et promouvoir l'usage rationnel de l'eau.
- ❑ limiter la consommation d'eau.
- ❑ faire que les paiements des irrigants soient proportionnels à leurs consommations individuels.
- ❑ réduire les impacts environnementaux que cause l'agriculture irriguée

La tarification de l'eau d'irrigation est un cas typique du problème de tarification des biens en présence d'un monopole naturel sur le marché. Le défaut de marché associé au monopole naturel est celui des rendements d'échelle croissants. Dans cette circonstance, la main invisible est mise en échec car la fixation du prix ou du tarif au coût marginal qui maximise la richesse collective (solution Pareto-optimale) entraîne un profit négatif pour le monopole, alors que la fixation du prix au coût moyen qui permet la couverture des coûts de production du monopole engendre une perte de bien-être collectif (Abbes, 2005). La question qui se pose est : doit-on alors tarifier au coût moyen ou au coût marginal ?

Les différentes solutions à ce problème théorique appliqués à la ressource en eau revient à identifier les différentes formules tarifaires telles quelles sont mise en oeuvre en pratique. Nous ne rentrerons pas dans le débat théorique de la tarification car ce qui nous intéresse est de connaître les réponses des usagers face à une tarification volumétrique, pas de connaître les tarifs qui permettraient de maintenir une infrastructure.

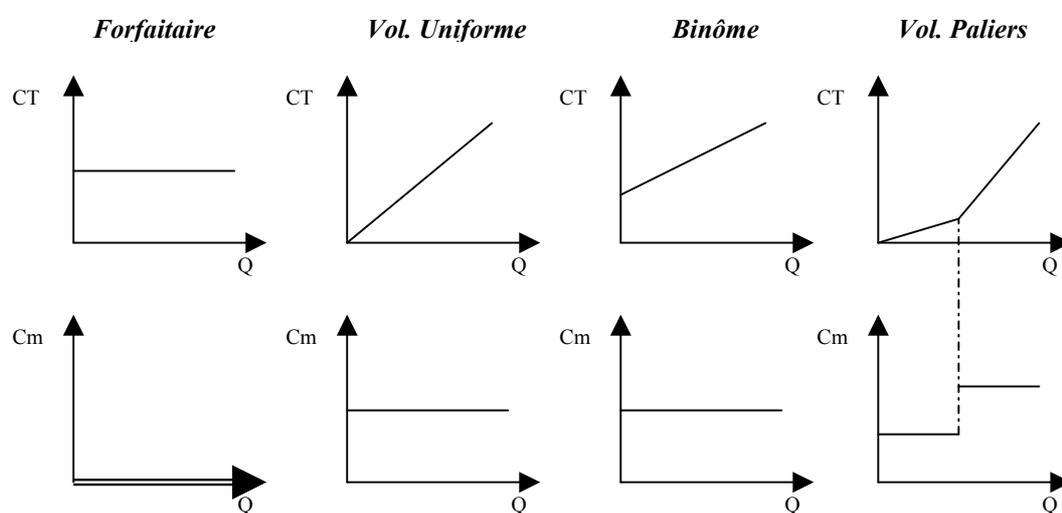
Dans le cas de l'eau, diverses méthodes de tarification existent (Sumpsi *et al.*, 1998, Chohin-Kuper *et al.*, 2002 ; Tsur *et al.*, 2004 ; Tietenberg 2006). Elle sont classés en fonction de l'assiette de tarification en :

- *Betterment levy*. Taxe que le consommateur paie sur le gain de valeur de la terre due à l'approvisionnement en eau d'irrigation.

- *Taxe sur la production obtenue.* Le consommateur paie avec un pourcentage de sa production (moindre production, moindre taxe).
- *Tarification forfaitaire à l'hectare.* Taxe appliquée à l'hectare irrigué ou irrigable. Elle a une influence sur la décision de recourir à l'irrigation mais non pas sur la dose d'eau apportée à l'hectare.
- *La tarification forfaitaire modulée en fonction du type de culture, les technologies d'irrigation.* Elle a un caractère plus incitatif que la tarification forfaitaire sur les choix des cultures irriguées ou des techniques d'irrigation.
- *La tarification volumétrique uniforme.* Paiement unitaire pour chaque unité d'eau consommé.
- *La tarification binôme simple (« two part tariff »).* Se compose d'une tarification volumétrique uniforme et d'une tarification forfaitaire à l'hectare. Des variantes sont aussi proposées comme dans le cas de la modulation en fonction du type de culture ou des technologies d'irrigation.
- *La tarification par palier progressive.* Charge les utilisateurs en proportion directe à la consommation, avec des tarifs progressifs et croissants. Elle n'est que rarement appliquée pour l'irrigation, elle est plus utilisée dans les centres urbains. Dans ce système, on pourra également inclure des charges forfaitaires (« tarification binôme par paliers »). Il existe aussi, la tarification par paliers décroissante.
- *Le système de bonification.* Il définit une bonification pour chaque unité d'eau non consommée au-dessous de la dotation disponible. Il n'y a aucune taxe à la consommation. Ce système a plusieurs variantes : système variable avec bonification, bonification par paliers, etc.

Un récapitulatif schématique des principales structures tarifaires rencontrées dans la pratique sont affichées dans le schéma I-2.

Schéma 2. Les structures de tarification.



Q : quantité d'eau consommé ; CT : coût total ; Cm : coût marginal

Source : Montginoul (1997) et Tietenberg (2006).

La comparaison des différentes assiettes de tarification par rapport aux objectifs envisageables peut être résumée dans le tableau 3.

Tableau 3. Caractéristiques de différents systèmes tarifaires.

Objectifs	Type de système tarifaire			
	Tarification forfaitaire à l'hectare	Tarification volumétrique uniforme	Tarification binôme	Tarification volumétrique par paliers
Efficience	Faible (premier rang)	Maximale (premier rang)	Bonne (premier rang)	Maximale (premier rang)
Temps horizon de l'efficience	-	Court terme	Court terme	Court terme
Equité (*)	Faible	Bonne	Bonne	Très bonne
Stabilité budgétaire	Elevée	Mauvais	Bonne	Mauvais
Récupération de coûts	Faible	Efficace	Très efficace	Efficace
Coût de mis en place et contrôle	Faible	Elevée	Elevée	Elevée
Implémentation	Facile	Complicqué	Relativement complicqué	Relativement complicqué
Habilité pour contrôler la demande	Complicqué	Facile	Relativement facile	Relativement facile
Flexibilité	Faible	Moyenne	Moyenne	Moyenne

(*) Distribution du coût de l'eau en fonction de la consommation de chaque irrigant.

Source : Adapté de Montginoul (1997), Sumpsi *et al.* (2001), Tsur *et al.* (2004), Varela (2003b).

La tarification volumétrique (uniforme et par paliers) dégage l'efficience maximale dès lors que la réaction des agriculteurs vis-à-vis de l'augmentation du prix de l'eau n'est pas neutre par rapport à l'adoption de techniques plus économes en eau. Elles sont les seules qui encouragent réellement à l'économie d'eau, plus les systèmes de tarification par paliers que la tarification uniforme. Cette structure est aussi la plus équitable lorsque on parle d'équité par rapport à la distribution du coût de l'eau en fonction de la consommation de chaque irrigant. Par contre, elle ne permet pas au gestionnaire d'avoir une stabilité dans son budget. De ce fait, la tarification forfaitaire est privilégiée, et à un degré moins élevé la tarification binôme. En effet, en appliquant une tarification binôme, la stabilité budgétaire du gestionnaire est acceptable, de même que l'équité et l'efficacité. En somme, la tarification binôme présente la meilleure structure pour concilier les trois objectifs.

Iglesias (2001) fait une révision des travaux sur l'application des taxes à la gestion des eaux souterraines. Dans cette révision, aucun travail fait ne référence à la mise en place de taxes à l'extraction individuelle des eaux souterraines pour l'irrigation. Ici, nous ferons seulement référence au travail de Sorensen *et al.* (1998), qui évalue les impacts (par rapport à une situation de non régulation) de l'application d'une taxe Pigouvienne et d'une tarification volumétrique uniforme pour corriger les défaillances de marché qui dérivent de l'exploitation des eaux souterraines ; et au travail de Reyes (1994), qui étudie la structure tarifaire qui conduit à la gestion durable de l'aquifère de la Laguna. Les résultats du travail de Sorensen montrent que les gains de bien-être obtenus grâce à une tarification volumétrique sont inférieurs à ceux obtenus avec une taxe Pigouvienne. Cependant, l'établissement d'une taxe Pigouvienne serait très complexe et coûteuse en termes d'information. Reyes conclut que la tarification par paliers est la politique tarifaire optimale pour aboutir à une gestion durable de l'aquifère étudié.

Nous resterons sur ces approches. La politique tarifaire mobilisé dans notre travail pour réduire la consommation d'eau d'irrigation et promouvoir une gestion durable de la ressource est la tarification volumétrique. Deux variantes seront testées ici: la tarification volumétrique uniforme et la tarification volumétrique par paliers.

C. Les subventions

Ces systèmes établissent un paiement aux usagers qui ne consomment pas de l'eau.

A l'heure actuelle, un système de paiements volontaires de ce type opère dans l'aquifère de la Mancha Occidentale. Cet outil sera analysé plus en détail dans la partie suivante (deuxième partie), mais il ne sera pas l'objet d'étude. Le « programme de paiements compensatoire » finalise cette année et ne s'envisage

pas qu'il soit renouvelé. De plus en plus de personnes considèrent inacceptable le fait de recevoir une compensation pour non polluer, ou dans ce cas là, pour non surexploiter l'aquifère.

4. Les mécanismes de gestion décentralisés

Les systèmes de gestion décentralisés, se basent sur le prix du marché pour guider l'allocation des ressources. L'application de ces mécanismes exige une définition claire de droits de propriétés sur la ressource en eau (dans le cas des eaux souterraines sur la recharge ou sur les réserves d'eau des aquifères). Dans les sections suivantes, nous analyserons les « marchés d'eau » proprement dit, et une typologie de marché connue comme « banques d'eau ».

A. Les marchés de l'eau

D'après Sumpsi *et al.* (2001), un marché d'eau est « *un système qui permet à deux agents d'échanger des droits d'eau (droit d'usage d'eau), en négociant de façon volontaire les conditions de l'échange* ». La confrontation entre l'offre et la demande sur un marché permet une allocation efficiente de la ressource entre les usagers à un prix d'équilibre établi sur marché.

L'objectif premier d'un marché d'eau consiste alors en améliorer l'efficacité économique de l'allocation de ressources en eau, autrement dit, d'augmenter la valeur économique totale générée par les ressources disponibles. Cependant, pour qu'un marché de l'eau permette d'atteindre l'efficacité d'allocation maximale, un certain nombre d'hypothèses fortes doivent être vérifiées (Kemper, 2002):

- Les offreurs et les demandeurs doivent être nombreux.
- Le bien échangé doit être homogène.
- Le système d'information doit être parfait.
- Les droits de propriété doivent être bien définis, de même que les coûts de mise en place et de contrôle doivent être faibles ou nuls.
- La demande doit être fluide.
- Les offreurs doivent pouvoir entrer et de sortir du marché librement.
- Les autres marchés (notamment celui du capital) doivent être présents et accessibles afin d'aider les agents ayant un moindre accès au capital à y participer.
- Les effets externes doivent être pris en compte pour que le marché de l'eau maximise le bien-être de la collectivité et non pas seulement celui des participants à la transaction.

Dans le cas particulier des eaux souterraines ces conditions ne sont pas toujours valides du fait que :

- Les marchés d'eau sont généralement segmentés et les coûts sont élevés : la mise en place de concessions de pompage et surtout du contrôle du respect de ces concessions soulèvent de coûts administratifs importants.
- Le droit d'eau n'est pas la plupart du temps un bien homogène, il varie selon les régions, les types d'acheteurs/vendeurs, etc., mais notamment de la variabilité de l'offre.
- Les impacts socioéconomiques ou environnementaux négatifs ne sont pas généralement inclus dans les analyses *ex-ante*.

Les marchés de l'eau tels qu'ils existent dans la pratique ne sont pas des marchés concurrentiels au sens théorique du terme, mais les expériences démontrent qu'ils contribuent activement à améliorer la gestion de l'eau en facilitant l'allocation de ressources en situation de rareté et en diffusant l'information sur la valeur réelle de la ressource (Kemper *et al.*, 2003 ; Tietenberg 2006).

Il n'existe pas un modèle unique de marché. Le type de marché sera spécifique à chaque situation en fonction des caractéristiques socioéconomiques, institutionnelles et hydrologiques pertinentes. Montginoul (1997) spécifie les principales caractéristiques d'un marché d'eau :

- ❑ L'objet de la transaction : la transaction concerne l'échange des eaux souterraines ou de surface ? le droit d'eau correspond à un débit prélevable, un volume disponible ou une partie de la réserve ou du flux ?...
- ❑ La durée du transfert : il faudra savoir si le transfert est permanent (droit d'accès à la ressource) ou temporaire (volume d'eau ou vente d'un tour d'eau) car le transfert sera alors la vente, la location pour des durées déterminées ou la prise d'option.
- ❑ L'échelle et la localisation du marché : le marché est ou non formel (reconnu par la loi) ? ; il est organisé ou non? les échanges s'effectuent à l'intérieur d'un même usage ou entre usages ? ils s'effectuent au niveau individuel ou à un niveau agrégé ?...

Nous ferons ici la différence seulement entre les marchés organisés et ceux non organisés. Ils diffèrent dans la façon de réguler les achats et les ventes d'eau : dans un système organisé, les ventes ou les locations sont gérés par un organisme central ; dans un système non organisé, ils sont gérés par le propre marché. Les « banques d'eau » sont un exemple des systèmes non organisés, ils sont analysés plus en détail dans la section suivante.

Cependant, les marchés disons « purs », auxquels on fait référence dans cette section, ne sont pas non plus libérés de toute réglementation. Lorsque l'objectif de la politique est de réduire les extractions d'eau souterraine, les marchés vont nécessiter une réglementation rigide qui limite les extractions et/ou réduire obligatoirement le volume total de droits d'eau avec le temps. Plusieurs auteurs, tels que Anderson *et al.* (1981), Gisser (1983), Provencher (1993) ; Provencher et Burt (1993), Grafton (2000) , Kemper *et al.* (2002) etc., défendent que la création de droits privés n'exclut la possibilité que l'Etat puisse contrôler la quantité totale d'extraction et suggèrent des systèmes de droits transférables comme mécanismes optimaux pour gérer les aquifères et internaliser les externalités. L'un des plus grands défenseurs des marchés d'eaux souterraines est Bill Provencher, qui en 1993 montre que la privatisation des ressources souterraines permet de remplacer la règle de la capture pour celle de l'offre et de la demande, et que les systèmes de gestion décentralisés sont des instruments valides pour guider les politiques de récupération des aquifères, en fournissant des gains très proches de ceux qu'on obtient avec un modèle de gestion optimale.

Dans cette recherche, nous allons rester sur cette approche. Nous avons considéré le marché d'eaux souterraines comme un instrument potentiel de contrôle de la demande en eau.

Pour l'introduire, nous avons utilisé une approche graduelle. D'abord, on a construit les bases pour promouvoir une meilleure gestion de l'eau souterraine, en permettant aux groupes intéressés de s'adapter aux nouvelles règles. Ce premier pas consiste à définir des droits privés d'eau (en volume et non échangeables) sur la recharge de l'aquifère de la Mancha Occidentale, ce que nous appellerons un système simple de « quotas ». La répartition initiale des droits avant de mettre en place le fonctionnement du marché respecte toujours le taux de renouvellement de l'aquifère, de façon que les effets externes restent intégrés dans la définition même du droit d'eau. D'ailleurs, on assume qu'il existe une quantification stricte de la consommation d'eau dans l'aquifère et que les coûts de transaction sont faibles.

Ensuite, nous avons défini les caractéristiques du marché que nous allons mettre en place :

- ❑ la durée du transfert est permanente, donc le transfert sera alors la vente,
- ❑ le marché respecte les impositions définies par la loi espagnole qui régule les échanges d'eau : Loi de l'eau de 1999, 2001, renforcée par le Plan AGUA 2004. Le marché est formel,
- ❑ aucun organisme ne gère les ventes, il s'agit pourtant d'un marché non organisé,
- ❑ les transferts d'eau s'effectuent seulement dans le secteur agricole (entre agriculteurs),
- ❑ l'enceinte géographique est l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Finalement, les droits d'eau deviennent commercialisables et le marché commence à fonctionner. Le prix d'échange est défini en fonction du pouvoir de marchandage des offreurs et des vendeurs respectivement.

B. Les banques d'eau

Les banques d'eau sont un mixte entre les systèmes de gestion centralisés et décentralisés. Ils s'approchent de l'un ou l'autre mécanisme de gestion en fonction du degré d'interventionnisme. Comme on avait dit dans la section précédente, ils peuvent être classifiés comme des systèmes de gestion décentralisés organisés, où les ventes et les locations passent par un organisme qui achète et vend les droits d'eau. Dans ce cas-là, les vendeurs peuvent vendre leurs droits d'eau à la Banque d'eau, qui va exercer comme un dépôt de droits, et les acheteurs peuvent se servir d'eux en échange d'une contrepartie monétaire.

L'information dans ce type de système est complète et accessible à tous, les coûts de transaction sont plus faibles et il évite de possibles coalitions. Ces mécanismes sont au contraire plus rigides, ils ne permettent pas de bien gérer des biens hétérogènes et les coûts d'organisation sont parfois élevés (Montginoul, 2007).

Ils sont utilisés dans quelques Etats de l'Ouest des Etats-Unis pour répondre à des besoins exceptionnels. Le plus connu est celui de la Californie, créé en 1991 pour faire face à la sécheresse conjoncturelle de l'époque (voir le travail de Israel *et al.*, 1995). L'Etat de la Californie achète temporairement les droits d'eau détenus par les agriculteurs sur la base des marges brutes de cultures normalement irriguées par l'exploitant (compensation pour ne pas produire) et fixe le prix d'achat un peu plus élevé afin d'encourager la participation. Sur le volume total récupéré, la banque distribue une partie, gardant le reste en stock. Le prix de vente reflète les coûts administratifs, les coûts environnementaux, et les coûts de transport d'eau.

En Espagne, suite aux lois sur l'eau de 1999 et 2001, et sur la base de cette philosophie, se sont créés en 2004 les « Centres d'Echanges d'Eau », dans les Bassins Versants du Guadiana, Júcar et Segura, dans le centre-Sud et l'Est d'Espagne (Ministère de l'environnement, 2004). En septembre 2006, le Royal Décret-Loi 9/2006, où sont adoptées les mesures nécessaires pour pallier les effets de la sécheresse, introduit les instruments juridiques nécessaires pour améliorer la gestion des droits d'eau, toujours considérés de caractère public, et renforce l'efficacité des centres d'échange d'eau, notamment dans le Bassin du Guadiana (Direction de l'Etat, 2006).

Cependant, les centres constitués ne sont pas pour le moment autorisés à vendre des droits d'eau. Ils sont seulement compétents pour lancer des offres publiques d'achat de droits d'eau. En ce qui nous concerne, l'aquifère de la Mancha Occidentale, des offres publiques qui ont été émises en octobre 2006. L'acquisition publique des droits d'eau des agriculteurs « *permettrait le réaménagement des ressources hydriques, la rationalisation de leur utilisation, et en plus elle serait un outil pour favoriser une récupération des nappes phréatiques et de leurs écosystèmes associés de façon rapide et efficace* » (Ministère de l'environnement, 2006). Même s'il est encore très tôt pour tirer de conclusions, on croit que les centres d'échanges de droits, créés dans le Bassin Supérieur du Guadiana, ont un fort potentiel pour devenir à l'avenir des banques d'eau comparables à celles de la Californie. Une simulation des banques d'eau avec transferts dans le temps (modèle dynamique) a été effectuée par Iglesias (2001) dans l'aquifère de la Mancha Occidentale. Elle démontre qu'il peut y avoir effectivement de gains considérables. Nous n'envisageons pas cette approche dans notre recherche.

Pour conclure, il convient de souligner que la plupart des travaux sur les eaux souterraines présentés se sont consacrés à l'analyse de l'efficacité de différents instruments de gestion par rapport à une situation de control optimal. Cependant, il n'existe pas beaucoup de travaux qui ont effectué une analyse statique comparative des différents outils dans une situation aussi spécifique que la nôtre. Différentes méthodes servent à évaluer comparativement l'efficacité de ces instruments, ils sont exposés en détail dans la partie suivante.

IV. L'évaluation économique des différents outils de gestion de l'eau

L'évaluation de différentes options de gestion exige l'évaluation des gains et de pertes de bien-être associées aux changements environnementaux et aux réponses des outils de gestion testés. Feinerman (1987) analyse l'efficacité et l'équité de différents instruments de gestion d'eaux souterraines (taxes et quotas). Enfin, il arrive à la conclusion que les schèmes analysés ne sont pas trop différents en termes d'efficacité, mais ils diffèrent beaucoup en termes de distribution de bien-être. Il montre que les gagnants et les perdants peuvent être très différents selon l'outil appliqué, même ceux qui sont gagnants avec un instrument de gestion peuvent être perdants avec un autre.

En ce qui nous concerne, le bénéfice environnemental qui peut être obtenu de la réduction des consommations d'eau dans l'aquifère de la Mancha Occidentale comporte des coûts dérivés des limitations imposées à l'activité économique du secteur agricole, principal usager de l'eau.

Ce type de problématique met les décideurs publics face à des choix très délicats : l'eau doit être mobilisée pour satisfaire les besoins du secteur irrigué agricole et de la production d'aliments ou elle doit être plutôt utilisée pour préserver les zones humides et la biodiversité ? L'économie contribue à améliorer les répartitions informant les décideurs sur les coûts et les bénéfices sociaux des biens et des services que l'eau fournit.

Lorsque différents instruments de gestion d'eau sont proposés, divers critères économiques sont envisagés pour renseigner les décideurs sur le pour et le contre de chaque outil envisagé, en permettant de comparer les différents outils de gestion entre eux. On peut identifier l'analyse coût-bénéfice et l'analyse coût-efficacité comme les méthodes d'évaluation classiques. Les résultats obtenus de l'évaluation économique vont servir de point d'appui à la délibération entre différents acteurs sociaux, limitant la pression démagogique et celles de lobbies et constituant une source de connaissance tangible pour le décideur public, qui devra exercer son choix entre les différents outils de gestion proposés.

1. La méthode coût-bénéfice

L'analyse coût-bénéfice (ACB) est souvent utilisée pour comparer l'efficacité économique de différentes actions. Les bénéfices et les coûts (incluant les coûts d'opportunité) de chaque action sont mesurés et contrastés avec un scénario de référence (celui où aucune action n'est envisagée) à l'intérieur d'un même cadre analytique. D'après cette méthode, seules les options où les bénéfices nets actualisés sont positifs, sont économiquement viables. Parmi elles, la meilleure option est celle qui présente la plus haute valeur de bénéfice net actualisé (Turner *et al.*, 2004). Quand plusieurs variantes sont à comparer, il convient d'analyser les différentiels des bénéfices et de coûts, deux à deux, et de retenir la variante qui conduit toujours à un ratio favorable.

Deux méthodes sont utilisées pour calculer les coûts et les bénéfices dans l'ACB, mesurant la disposition à payer des individus directement ou indirectement : (1) les méthodes directes ou de « préférences annoncées » (évaluation contingente, etc.) et (2) les méthodes indirectes ou de « préférences révélées » (coût de déplacement, etc.). Quelques-uns ont été déjà analysés dans la première section de cette première partie (voir point 2.4).

La méthode coût-bénéfice se présente en général comme l'instrument préféré pour l'aide à la décision. Néanmoins, il n'est pas praticable dans tous les cas. Il entraîne l'identification et l'évaluation économique de tous les effets positifs et négatifs des options alternatives, ce qui implique la traduction aux termes monétaires de tous les bénéfices et les coûts, y compris les impacts environnementaux, sociaux et d'autres possibles. C'est n'est pas tout à fait évident, des limites importantes apparaissent au niveau éthique (anthropocentrisme, normes sociales, etc.), et au niveau pratique (limites économétriques, incohérence des réponses aux questionnaires, etc.).

L'ACB reflète un paradigme spécifique qui est considéré plus ou moins approprié en fonction de croyances culturelles, normes, valeurs, etc. C'est pourquoi les analystes doivent étudier soigneusement si les présupposés de l'ACB sont appropriés à chaque situation spécifique et si les résultats sont valides et fiables (Turner *et al.*, 2004).

2. La méthode coût-efficacité

Lorsque l'estimation valide et fiable des bénéfices d'options alternatives n'est pas faisable, les experts optent pour une approche alternative à la méthode coût-bénéfice, l'analyse coût-efficacité (ACE). D'après Tietenger (1998), cette analyse est une « *procédure d'optimisation représentant une méthode simple et systématique pour trouver la solution la moins chère pour accomplir l'objectif* ». La méthode coût-efficacité repose sur l'optimisation économique sous contraintes exprimées en grandeur physique. Ces contraintes - quantitatives et qualitatives- reposent sur la définition des variables naturelles, humaines et socioculturelles dont le respect délimite le cadre au sein duquel peut légitimement s'exercer le jeu de l'optimisation économique. L'évaluation physique permet ainsi de tenir compte de la capacité et du rythme de reproduction des ressources renouvelables et du risque d'épuisement des ressources épuisables.

L'ACE peut chercher à maximiser un objectif (par exemple, de prévention) pour un budget donné ou à minimiser les coûts des moyens à choisir pour réaliser cet objectif. Nombreux exemples pratiques de son application au secteur agricole peuvent se trouver dans le champ de la lutte contre l'érosion ou du contrôle de la pollution par les nitrates (voir les travaux récents de Ghali, 2007 ; Seeman 2006). La plus importante application au champ des ressources en eau, se trouve dans la Directive cadre européenne sur l'eau de 2000 où se trouve explicitement l'analyse économique pour appuyer les plans de gestion des bassins versants (Commission Européenne, 2000). Les objectifs attendus pour les masses d'eau doivent être aménagés en fonction de leur faisabilité économique et technique (c'est le sens des possibilités de dérogation, objet de l'article 4 de la directive qui prévoit un recours important aux analyses économiques). En plus, l'adoption d'un programme de mesures doit être fondée sur un principe de sélection de la « *combinaison de mesures la plus efficace au moindre coût* » (annexe III). L'ACE devient alors l'instrument le plus désirable pour identifier l'option politique la plus efficace pour faire respecter, par exemple, un standard minimum de la qualité de l'eau (l'un des objectifs clé de la Directive Cadre l'Eau), étant donné qu'elle peut être mesurée en unités biophysiques,

L'ACE est jugée plus simple sur le plan conceptuel et opérationnel que l'analyse coût-bénéfice. L'avantage le plus important est celui qui permet d'éviter la conversion en unités monétaires des indices d'efficacité. Cependant, cet avantage est aussi son principal inconvénient. En effet, ce type d'analyse ne renseigne pas sur la façon dont l'objectif a été fixé. Une telle procédure ne donne généralement pas lieu à une allocation efficace car l'objectif prédéterminé à l'avance est rarement efficace, mais elle peut renseigner sur le niveau de changement des coûts si une politique pas ou peu efficace est mise en place.

En ce qui nous concerne, l'évaluation monétaire des zones humides de la Mancha présente une problématique difficile que nous n'avons pas considérée pour le moment. De plus, il existe un objectif environnemental très clair – réduire les consommations d'eau agricoles afin de récupérer les zones humides dégradées – qui peut être facilement traduit en unités physiques à travers les taux de renouvellement d'aquifère. Nous utiliserons alors par la suite une analyse coût-efficacité afin de déterminer la politique qui permet d'atteindre notre objectif tout en induisant une perte minimale en termes de bien-être social.

Afin de mieux comprendre les choix théoriques opérés dans cette partie, nous allons exposer dans la partie suivante les caractéristiques les plus importantes de la région et de l'aquifère objet d'étude.

Deuxième Partie

La gestion des eaux souterraines dans l'aquifère de la Mancha Occidentale

I. Introduction

Dans cette deuxième partie, nous allons centrer notre cadre d'analyse autour de l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Tout d'abord, nous étudierons les caractéristiques physiques, socio-économiques et institutionnelles de l'unité hydrogéologique sélectionnée.

Ensuite, nous analyserons la problématique actuelle, les causes et les conséquences positives et négatives les plus visibles.

La troisième section présentera les politiques de conservation des ressources mises en place dans la zone.

Pour conclure, nous exposerons le débat actuel concernant les possibles solutions envisageables pour résoudre la problématique, et nous montrerons quelle est la place de notre recherche dans toute cette discussion.

II. Description de la zone d'étude

1. Le milieu hydro physique

Localisation

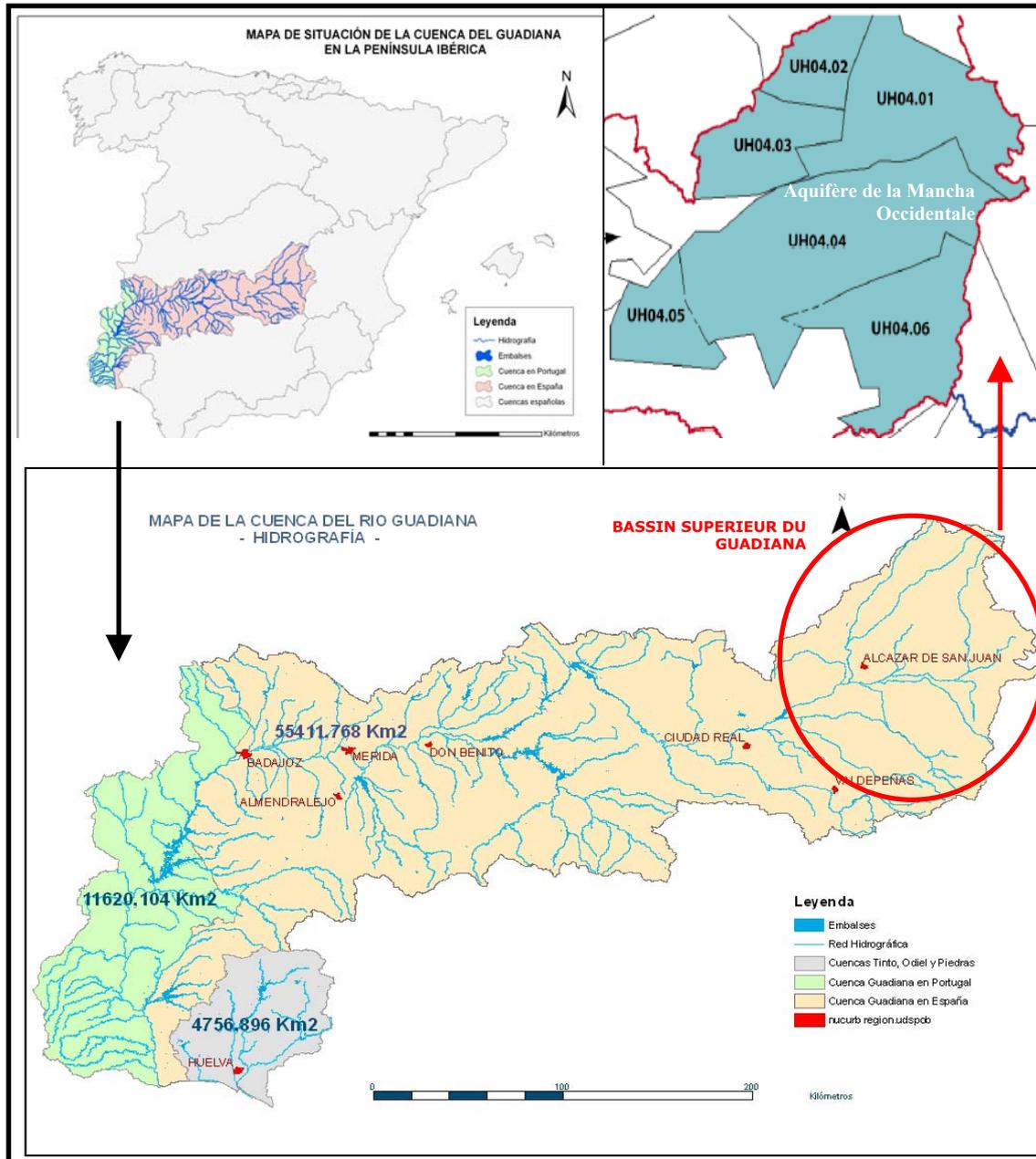
Le bassin hydrographique du Guadiana est la quatrième unité hydrographique de la péninsule ibérique en surface. Il occupe une surface de 67.031 Km², dont 55.411 Km² (84%) appartiennent au territoire espagnole et 11.620 Km² (16%) appartiennent au Portugal (CHG, 2006a).

La partie supérieure du bassin (16.130 Km²) est localisée au nord-est du sous-plateau méridional de la région de Castilla-La Mancha en Espagne. Elle est caractérisée par la confluence des eaux superficielles et souterraines, ces dernières cataloguées en Unités Hydrogéologiques (U.H.).

Actuellement, on peut différencier six Unités Hydrogéologiques. Parmi elles, l'aquifère de la "Mancha Occidentale" (Aquifère Numéro 23 ou Unité Hydrogéologique 04.04) considéré comme l'aquifère principal du Bassin Supérieur du Guadiana, en surface mais aussi en volume. Elle occupe une surface de 5.500 Km² entre les départements de Ciudad Real (80%), Cuenca (15%) et Albacete (5%) (Communauté Autonome de « Castilla La Mancha »). (CGU, 2006, Martinez Cortina, 2003).

La carte 1 montre la localisation de l'aquifère de la Mancha Occidentale (U.H. 04.04). En haut et à gauche, le Bassin du Guadiana en Espagne. En bas, le Bassin Supérieur du Guadiana signalé en rouge. En haut et à droite, les six U.H. composant le Bassin Supérieur du Guadiana.

Carte 1. Carte de la situation de l'aquifère de la Mancha Occidentale.



Source : Adapté de Llamas et al. (2005b)

Climatologie

Le bassin supérieur du Guadiana est une des régions les plus sèches d'Espagne.

La zone présente un climat Méditerranéen/Continental. La température moyenne annuelle est de 14°C mais il existe une forte oscillation thermique, elle peut atteindre -10°C en hiver et jusqu'à 40°C en été. La pluviométrie moyenne annuelle est de 400-425 mm, mais sa répartition se fait de façon très inégale entre les années et même saisonnièrement au cours de la même campagne. Les orages et les averses de printemps et d'automne sont très courants (Martinez Cortina L., 2003).

Fonctionnement hydrogéologique

La connaissance géologique de l'aquifère est limitée. En réalité, il y a deux aquifères séparées mais la puissance et l'extension, l'étendue et le volume de l'aquifère inférieur ne sont pas connus avec certitude donc, on parlera seulement de l'aquifère supérieur.

Cette unité hydrologique a une hauteur moyenne de 100 m et même 200 m dans le centre et elle a une structure perméables à base de calcaires et de marnes (tertiaire/quaternaire) (Martinez Cortina, 2003).

Du point de vu hydrologique, on peut dire qu'elle est l'unité hydrologique centrale du Bassin Supérieur du Guadiana. L'aquifère de la Mancha Occidentale se comporte comme un aquifère libre en contrôlant le fonctionnement hydrologique de tout le système. Elle est rechargée dans le nord-est (zone perméable) et elle est versée dans le sud-ouest (zone imperméable), de cette façon elle dirige le flux général des eaux souterraines vers l'ouest (Coletto *et al.*, 2003 ; CGU, 2006).

Les zones humides

La formation géologique perméable de l'aquifère de la Mancha Occidentale permet une intense interrelation entre les eaux superficielles et les eaux souterraines. Ce lien, lié à l'existence de zones dépressives du terrain, est à l'origine de la création de nombreuses zones humides de très haute valeur écologique répandues tout au long du bassin supérieur du Guadiana (113 zones humides surnommées « La Mancha Húmeda », 25.000 ha ou 250 Km²) (De la Hera, 2003).

La zone humide la plus importante est placée sur l'aquifère de la Mancha Occidentale ; elle s'appelle « Tablas de Daimiel ». Elle a été constituée dans une zone dépressive du terrain grâce à la confluence du fleuve « Guadiana » de caractère permanent avec des eaux douces, et de la rivière « Gigüela », de caractère saisonnier avec des eaux salées. Le résultat est 6000 ha de zone humide avec des espèces animales et végétales uniques, ce qui fait des Tablas de Daimiel une sorte d'oasis dans la steppe semi-aride de Castilla La Mancha. Elle a été déclarée « Parc National » pour le gouvernement espagnol (1973), « Réserve de la Biosphère » pour l'UNESCO (1980) et elle est aussi comprise dans la « Convention Ramsar »⁷. (Tablas de Daimiel, 2006).

2. Les caractéristiques socio-économiques

La région de l'aquifère de la Mancha Occidentale est cataloguée *zone rurale*⁸ selon le critère de ruralité de l'OCDE et de *région moins développée* dans le contexte de la Politique Communautaire de cohésion économique et sociale⁹ (Viladomieu et al. 2003).

La densité de population de l'aquifère de la Mancha Occidentale (35 hab/km²) est inférieure à la moyenne nationale (78 hab/km²) mais elle est notamment supérieure à la moyenne régionale de Castilla La Mancha (20 hab/km²). (Martinez Cortina L. 2003).

L'aquifère de la Mancha Occidentale regroupe plus de 40 municipalités et 297.000 personnes concentrées dans des grands noyaux urbains, tels que Tomelloso, Alcázar de San Juan, Villarrobledo, Manzanares, Daimiel, qui hébergent entre 15.000 et 30.000 personnes (Coletto *et al.*, 2003).

La population est relativement jeune et elle montre un taux de croissance continu très positif. D'ailleurs, on peut dire qu'il s'agit d'une région dynamique car dans la plupart des municipalités l'emploi non

⁷ Convention concernant les zones humides d'importance internationale tout particulièrement celle qui sont habitables pour des oiseaux aquatiques. Organisé sur la requête de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), 1971.

⁸ On appelle zone rurale les régions où la plupart de la population habite dans des municipalités de moins de 150 hab/km² et il n'existe pas de grandes agglomérations urbaines. (Critère de ruralité de l'OCDE, 1996).

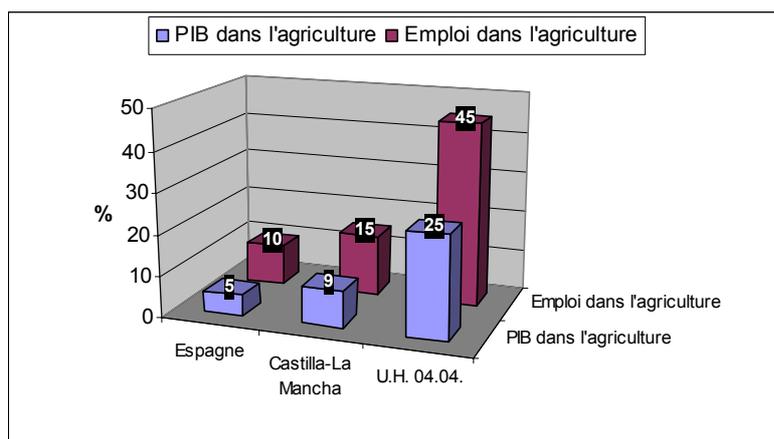
⁹ Cette région est comprise dans les zones "objectif 1" des Fonds Structurels européens. Le revenu par habitant est de 85% de la moyenne espagnole, et de 65% de la moyenne européenne.

agricole commence à augmenter considérablement. Néanmoins on peut affirmer que, encore actuellement les régions le plus densément peuplées coïncident avec celles de l'activité agricole irriguée.

En effet, le secteur agricole a été le moteur du développement économique pendant les années 80-90, mais à l'heure actuelle il continue à avoir une place prépondérante dans l'économie de la région.

La surface de l'agriculture irriguée dans Castilla La Mancha (la plupart localisée sur l'aquifère 23), représente 11,5% du total de terres exploitées, mais elle produit 40% des revenus bruts de la région (COAG, 2005). La figure 1 montre l'importance du secteur agricole.

Figure 1. Distribution en pourcentage du Produit National Brut (PIB) et de l'emploi au niveau national, régional et local (1991).



Source : Coletto et al. (2003)

Dans l'aquifère de la Mancha Occidentale, l'emploi et le produit intérieur brut (PIB) dans l'agriculture étaient de 45% et 25% respectivement en 1991, face au 15% et 9% au niveau régional (Castilla-La Mancha), ou 10% et 5% au niveau national.

D'ailleurs, actuellement la productivité moyenne de l'emploi agricole dans le bassin supérieur du Guadiana est de 22.685 €/emploi, 20,5% de plus que la moyenne espagnole.

Parmi les différentes provinces qu'intègrent l'aquifère de la Mancha Occidentale, la province de Ciudad Real est la plus importante en surface, emploi, valeur ajoutée brute et productivité du travail du secteur agricole.

Dans la province de Ciudad Real, la région de La Mancha est la seule qui a 100% de sa surface dans le bassin supérieur du Guadiana. Cette région représente 36% de l'emploi et de la valeur ajoutée brute du secteur agricole, générée dans le Bassin supérieur du Guadiana (CHG, 2006b).

Dans le tableau 4, les principaux indicateurs structureaux de la province de Ciudad Real, la région de Castilla la Mancha, et les comparaisons effectuées avec le total national sont indiqués.

Tableau 4. Les principaux indicateurs structureaux dans la province de Ciudad Real, la région de Castilla-La Mancha et Espagne.

Indicateurs structurels	Province : Ciudad Real (CR)	Région : Castilla la Mancha (CLM)	Espagne (SP)	% CR / CLM	% CLM / SP
Surface totale TS (ha)	1.735.783	6.869.606	42.180.950	25,27	16,29
Surface agricole utile (SAU) (ha)	1.229.573	4.581.592	26.316.787	26,84	17,41
Terres cultivables (AL) (ha)	968.576	3.763.479	16.920.360	25,74	22,24
SAU / TS (%)	70,84	66,69	62,39	106,21	106,90
AL / SAU (%)	78,77	82,14	64,29	95,90	127,76
Nombre exploit. SAU / Exploit.	56.115 21,91	197.668 23,18	1.790.162 14,70	28,39 94,54	11,04 157,67
Type de culture					
Herbacés (ha)	661.523	2.864.902	12.399.723	23,09	23,10
Fruitiers (has)	3.080	58.158	1.151.968	5,30	5,05
Oliviers (ha)	123.346	312.971	2.273.589	39,41	13,77
Vignes (ha)	180.553	526.727	1.035.347	34,28	50,87

Source : Adapté de JCC-LM (2004).

En termes de surface agraire utile et nombre d'exploitations, Ciudad Real représente 26,84 et 28,39 % par rapport à Castilla-La Mancha, qui à la fois représente 17,41 et 11,04% par rapport à l'agrégé national.

Les herbacés sont les cultures qui occupent la surface la plus élevée de Ciudad Real, Castilla La Mancha et Espagne.

Néanmoins, la vigne est la culture la plus importante dans le ratio Castilla-La Mancha / Espagne, car 50% de la superficie de vigne en Espagne est localisé dans cette région. Les fruitiers ne sont pas très représentatifs ; les oliviers sont par contre de plus en plus installés.

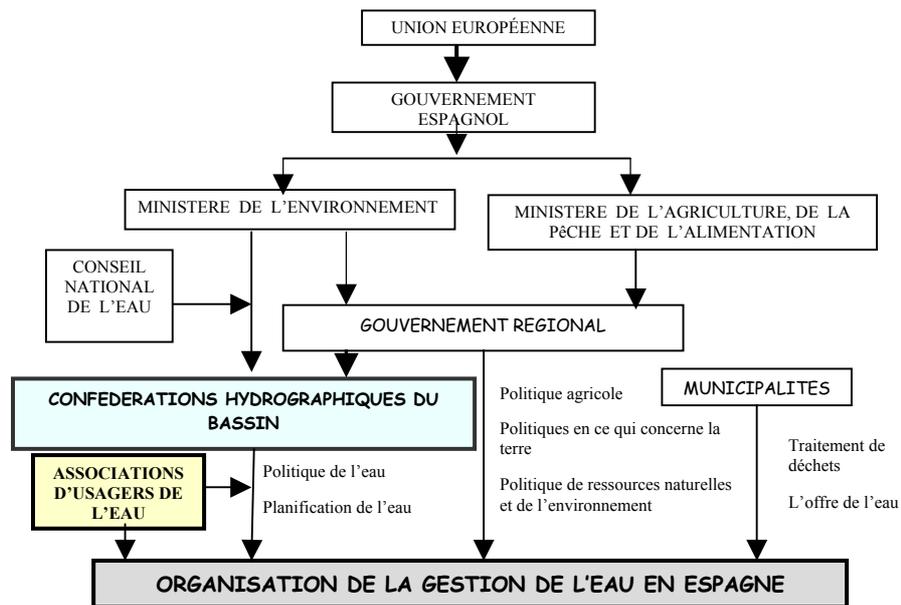
Dans une autre section, on analysera avec plus de détails la structure des exploitations agricoles et la distribution des cultures de la zone (voir partie suivante, *typologie des exploitations*).

3. Le cadre institutionnel des eaux souterraines

La législation espagnole sur l'eau (Loi des eaux de 1985, 1999, 2001) établit que toutes les eaux (superficielles et souterraines) sont du domaine public. L'allocation de l'eau d'irrigation doit se faire par concession administrative qui peut être temporelle ou définitive.

Le système de gestion de l'eau en Espagne est un système décentralisé et hiérarchique (voire schéma 3).

Schéma 3. Le cadre institutionnel de la gestion de l'eau en Espagne.



Source : Varela-Ortega et Hernández Mora (2005)

Dans ce système, les confédérations hydrographiques (Bassins Versants) sont les autorités créées par loi qui ont le plus grand poids administratif par rapport à la gestion de l'eau dans les différents bassins. Elles ont été créées en 1926 et renforcées par la loi de l'eau de 1985. A l'heure actuelle, l'Espagne se divise en 14 bassins versants. Dans notre cas, c'est la Confédération Hydrographique du Guadiana qui mène les ressources hydriques du bassin du Guadiana.

Les Bassins Versants sont à la fois intégrés par des « Associations d'Usagers », autrement dit, des Communautés d'Irrigants lorsque on parle du secteur agricole, ou Communautés d'Usagers des Eaux Souterraines (CUAS), quand il s'agit de la ressource en eau souterraine.

Les CUAS sont celles en réalité qui gèrent l'utilisation collective des eaux souterraines publiques. Elles sont mandatées pour la perception du paiement de l'eau, l'organisation de l'irrigation, le contrôle de la consommation d'eau et le suivi et contrôle de l'accomplissement de critères de répartition de l'eau, les investissements dans l'amélioration et la modernisation des systèmes de distribution d'eau, etc. (Mejías, 2002). Pour exercer leurs fonctions, elles se financent fondamentalement grâce aux contributions de leurs membres. Normalement, il y a des tarifs proportionnels aux hectares avec droit d'irrigation, des taxes fixes par puits et de taxes en fonction du nombre d'hectares qui bénéficient volontairement du programme environnemental (Hernandez-Mora et al., 2003 ; López Gunn, 2003).

L'aquifère de la Mancha Occidentale est constitué de 23 CUAS, identifiées avec 19 municipalités, qui sont à la fois regroupées dans une « Communauté Générale » (CG). Elles ont été constituées obligatoirement (par une loi) à partir de 1987, en raison de la déclaration de surexploitation de l'aquifère. La constitution de la Communauté Générale est plus récente, elle date de 1996.

La structure basique des CUAS de la Mancha Occidentale est définie dans ses statuts et elle est déterminée par la loi de l'eau de 1985 et ses réformes postérieures (1999, 2001). Le nombre de représentants de chaque CUAS est fonction du volume théorique de l'eau assignée. Même si dans les statuts il est indiqué que jusqu'à 40% des représentants peuvent être d'autres usages non agricoles, à vrai dire, les usages agricoles prédominent dans les CUAS. Ce système de représentation où les intérêts de

l'irrigation sont normalement prédominants, ne prend pas suffisamment en compte l'importance socioéconomique des différents usages de l'eau (Varela-Ortega et Hernández Mora, 2005).

Afin de simplifier l'étude, nous avons sélectionné les cinq CUAS les plus représentatives de l'aquifère de la Mancha Occidentale sur lesquelles on se basera par la suite. Toutes les cinq appartiennent à la région de La Mancha, province de Ciudad Real. Leurs caractéristiques se résument dans le tableau suivant.

Tableau 5. Caractéristiques des Communautés d'Usagers des Eaux Souterraines (CUAS) retenues dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.

CUAS	Alcázar de San Juan	Daimiel	Herencia	Manzanares	Tomelloso	% Sur le total
Année de création	1991	1992	1994	1989	1992	-
Surface (ha)	29.380	19.920	3.725	17.896	4.739	57,09
Nombre de membres	912	1445	130	850	403	44,33
Surface moyenne (ha)	32,2	13,8	28,7	21,1	11,8	-
Nombre de puits	1805	2859	270	1786	645	44,41
Ha/puits	16,28	6,97	13,80	10,02	7,35	-
Niveau d'illégalité	Moyen	Faible	Elevée	Moyen	Très élevée (50%)	-
Profondeur de l'eau (m)	50	25 (près du Parc)-70 (loin du Parc)	-	20-24	-	-
Type de sol	Calcaire/sablonneux	Franc-sablonneux	Franc-sablonneux	Calcaire / argile	Calcaire	-
Régime de propriété (%)	90	100	90	100	100	-
Système tarifaire (*)	3 €/ha irriguée	2,5 €/ha irrig. 12 €/puits	-	3 €/ha irriguée	3 €/ha irrig. 6 €/puits	-
Cultures	Céré. 61% Hort.20% Vigne.19%	Céré.62% Hort. 15 % Vigne.23%	Céré. 57% Hort.29% Vigne. 14%	Céré.71% Hort.8% Vigne.21%	Céré.5% Hort.15% Vigne.80%	Céré.61,51% Hort.66% Vigne.48%
Enquêtes réalisés aux agriculteurs	8	4	4	4	5	-

(*) Les exploitations qui choisissent de suivre le Plan Agro-environnemental, doivent payer en plus 6 €/ha enregistré dans le programme.

Source : Elaboration propre à partir du travail de terrain (2006, 2007), JCC-LM (2004), CHG (1996).

On peut voir dans le tableau 5, que les cinq communautés d'irrigants sélectionnés représentent presque 60% de la surface dans l'aquifère de la Mancha Occidentale et 44% des exploitations. De plus, elles sont aussi représentatives des cultures dans la région, car elles englobent 61% des céréales, 66% de cultures horticoles, et 48% de vigne irriguée. Par conséquent, on considère acceptable cette sélection. Par la suite, on fera référence aux communautés d'irrigants sélectionnés.

III. Problématique

1. La surexploitation de l'aquifère de la Mancha Occidentale

Les ressources renouvelables de l'aquifère 23 peuvent être estimées d'entre 110-350 Hm³/an en régime naturel et 230-460 en régime perturbé (Martinez Santos, 2007). Néanmoins, l'utilisation déséquilibrée que

l'homme a fait des eaux souterraines, ces dernières années, a été beaucoup plus élevée que la recharge naturelle ce qui a produit la surexploitation de l'aquifère.

On estime actuellement une chute des réserves de l'aquifère de 2 800 Hm³ (pendant la période 1980-2004, IGME 2004) et l'existence actuelle d'un déficit hydrique actuel dans le bassin supérieur du Guadiana de 2. 300-3 500 Hm³ (Martínez Cortina, 2001), 2 800 Hm³ (Mejías, 2001), 3 000 Hm³ (CHG 2004 ; CHG 2005b).

Néanmoins, lorsqu'on parle des déséquilibres que l'homme a fait, on doit parler notamment des extractions abusives que les agriculteurs ont fait car le principal consommateur d'eau souterraine est l'agriculture d'irrigation. Elle consomme environ 90-95% du total des extractions de l'aquifère de la Mancha Occidentale (Carrasco 2003 ; Gascó *et al.* 2004 ; Martinez Santos, 2007).

L'agriculture traditionnelle de la zone, basée sur un modèle d'équilibre entre les pratiques agricoles pluviales et d'élevage n'est pas plus économiquement viable à partir des années 70-80. C'est pourquoi ensuite les agriculteurs ont introduit dans la zone des cultures de haute rentabilité mais très consommatrices d'eau (telles que la luzerne, le maïs ou la betterave) en déclenchant des extractions supérieures aux ressources annuelles renouvelables de l'aquifère (Olmedo, 2003).

En presque 20 ans, on est passé dans l'aquifère de la Mancha Occidentale de 34 000 hectares irrigués (année 1974) à environ 200 000 ha (2005) et de quelques milliers de puits à 39 000 (CHG, 2005b). Par conséquent, des données officielles estiment des extractions par an entre 350 Hm³ et 600 Hm³ (valeur maximale enregistrée en 1988), des chiffres beaucoup plus élevés que le taux de renouvellement de l'aquifère fixé pour l'agriculture qui est de 230 Hm³ (CHG, 2005b ; Carrasco 2003 ; Varela *et. al.*, 2003).

De plus, il faut souligner que le degré d'incertitude dans les estimations concernant la surface irriguée, le nombre de puits et les extractions sont considérables. Il existe un important manque de transparence dans l'information et un fort handicap de contrôle du secteur public qui doit souvent recourir à des entreprises privées pour récolter l'information.

Les tableau 6 et tableau 7 montrent les différentes estimations officielles de la surface irriguée et les extractions d'eau dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Tableau 6. Différentes estimations officielles de la surface irriguée dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Année	Surface irriguée (Has)	Référence
2003	140.407	CHG 2005b (JCC-LM)
2004	153.183	CHG 2005b (Commissariat de l'eau, CHG)
-	151.333	CHG 2006d (Cadastre Rural)
2005	131.754	CHG 2006b (images satellite)
2006	118.694	CHG 2006d (Payement Unique, 2006)

Tableau 7. Différentes estimations officielles des extractions d'eau dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Année	Extractions (Hm ³)	Référence
2000	300	Martínez-Cortina 2003
2001	310	Martínez-Cortina 2003
2003	343	CHG 2005b
2005	355	CHG 2006b

Le Bassin Versant du Guadiana (CHG) reconnaît qu'il peut y avoir presque une erreur de +/- 20% dans l'information rassemblée et publiée sur les extractions de l'aquifère de la Mancha Occidentale. Plusieurs sources informelles, de même que quelques auteurs, tels que Martínez-Santos (2007), confirment que les extractions actuelles dans l'aquifère de la Mancha Occidentale sont entre 50-100 Hm³ plus élevées de ce que montrent les sources officielles. Il est dû, d'une part, au système de quotas (Régime d'exploitation)

imposé qui n'est pas respecté, et d'une autre part, le nombre élevé d'extractions est effectué de façon illégale. La seule source officielle à ce sujet est celle du Bassin Versant du Guadiana en 2005, où on estime que dans l'aquifère de la Mancha Occidentale il existe 39 636 puits, dont 16 719 sont seulement légaux.

2. Les causes

Les causes qui ont provoqué l'augmentation disproportionnée de l'usage des eaux souterraines pour l'irrigation expérimentée ces dernières années, sont explicitées ci-dessous :

- Dérivés de la propre nature des eaux souterraines : praticité par rapport à l'usage (absence de tours d'irrigation), garantie de distribution et de revenus en évitant les pertes économiques en cas de sécheresse (source stratégique).
- Technologiques : progrès de la science hydrogéologique (l'invention de la pompe de turbine, développement des techniques de forage, etc.).
- Légales ou juridiques : situation d'illégalité des nombreux puits (22 000 selon la CHG, 2005b) à la suite de la mise en place de la Loi des Eaux de 1985. Jusqu'à l'an 85, les eaux souterraines étaient du domaine privé. Cette loi déclare le caractère public des eaux souterraines et exige l'enregistrement des puits. Beaucoup de puits n'ont pas été enregistrés et le gouvernement n'a pu les contrôler car il n'avait pas les moyens physiques ni juridiques nécessaires à l'époque (manque de prévision).
- Politiques :
 - Les politiques agricoles européennes (PAC) et nationales des années 70-80 ont favorisé le changement d'une agriculture pluviale vers une agriculture d'irrigation (Varela *et al.* 2003).
 - La force politique des agriculteurs a été généralement supérieure à celle des groupes écologistes. Il n'y avait pas de vraie volonté politique de faire face aux agriculteurs et d'arrêter le processus de développement économique au nom de l'environnement. (Llamas, 2005).
 - Inhibition gouvernementale par rapport à la gestion des eaux souterraines. Séparation des eaux superficielles et des eaux souterraines avec l'omission de ces dernières dans la gestion et la planification de l'eau (Custodio, 2002).
 - Problèmes de mise en application des politiques de restriction de l'eau. Mécontentement social des agriculteurs face à la politique de quotas (Régime d'Extractions) mise en place dans l'année 1991 par le gouvernement régional de Castilla La Mancha (Varela *et al.* 2003). Cela va être développé dans le point 3 de cette partie.
- Administratives : problèmes d'organisation du gouvernement à plusieurs niveaux. Confrontation entre le gouvernement agricole régional et le gouvernement central, entre les associations d'irrigants et le bassin versant, même entre les propres communautés d'usagers des eaux souterraines.
- Informationnelles : inadéquate disponibilité d'information pour les décideurs politiques.
- Sociales : pas de conscience environnementale à cette époque là. La perception sociale du milieu rural était faible et les agriculteurs (principaux usagers des aquifères, environ 90-95%) ont été beaucoup plus concernés pour son niveau de vie que pour la bonne santé des écosystèmes aquatiques.
- mais principalement économiques : abaissement des techniques de forage de puits, abaissement des prix de l'énergie pendant les années 80 (coût des extractions faible), de façon que « *le coût de l'irrigation avec les eaux souterraines représente seulement une petite fraction de la valeur totale de la récolte que les eaux souterraines assurent* » (Llamas, 2005).

3. Les conséquences

L'expansion de l'agriculture d'irrigation et l'augmentation des extractions d'eaux souterraines ont eu des conséquences positives mais aussi négatives. Néanmoins, les bénéfiques ont été plus répandus que les coûts ou les problèmes associés. Le changement du comportement des agriculteurs a été réalisé sans bien mesurer les impacts négatifs considérés comme souvent négligeables.

Positives

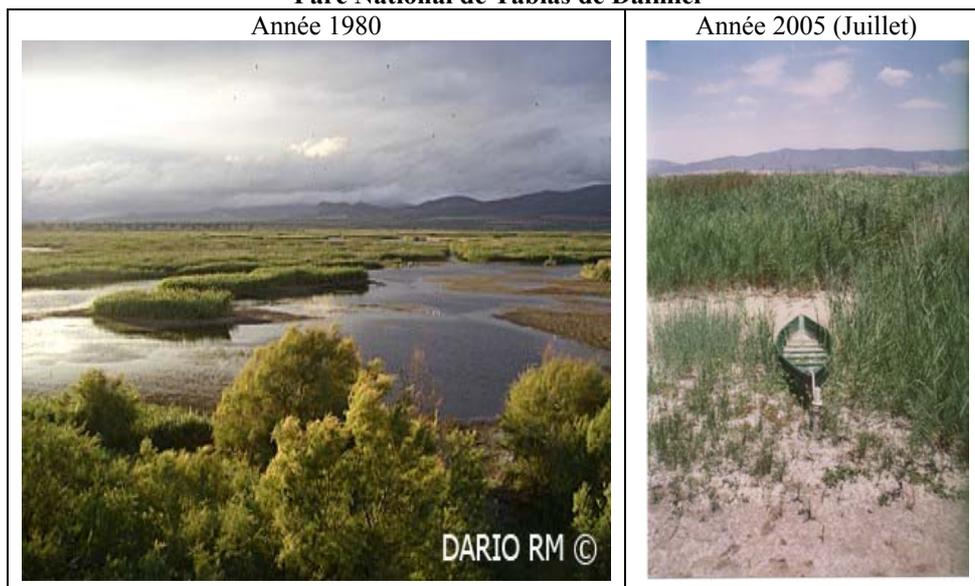
- Grâce à l'extraction des eaux souterraines, les agriculteurs ont augmenté leur formation technologique, leur capacité d'association et leur niveau de vie. L'agriculture irriguée et les secteurs industriels développés autour de l'agriculture ont permis d'accélérer le progrès économique et social dans beaucoup de régions espagnoles (Coletto *et al.* 2003).

Négatives

- Impacts hydrologiques. Des changements dans l'hydrologie générale et la chute des réserves de l'aquifère. L'IGME (2004) estime une baisse dans le niveau de la nappe aquifère d'environ 30 mètres en moyen, en particulier dans la zone ouest de l'aquifère (municipalités de Daimiel et Manzanares) (Martinez Cortina, 2003).
- Impacts économiques. Augmentation des coûts d'extractions en raison de la baisse des niveaux de pompage, clôture de puits et abandon de l'activité agricole. (Llamas et Custodio, 2003).
- Conflits sociaux. L'existence de comportements « *free-riding* » dans l'exploitation de l'aquifère de la Mancha Occidentale est aussi fréquente dans d'autres régions où l'eau souterraine soutient le secteur agricole. Elle est en train de produire des conflits sociaux très importants entre ceux qui effectuent les extractions légalement et ceux qui obtiennent l'eau en dehors de la loi. Ces conflits s'expriment :
 1. Directement. Concurrence pour une ressource rare, l'eau. Ce que consomme les illégaux ne peut pas être consommé par les légaux.
 2. En raison de l'existence des illégaux, les restrictions du côté des légaux sont plus fortes. Les légaux sont punis à causes de l'existence des illégaux au travers du Régime d'Exploitation (système de quotas).
 3. Les illégaux sont en train d'usurper le patrimoine des légaux. Une consommation d'eau très élevée produit une chute de la nappe phréatique de l'aquifère et l'assèchement des puits. Les illégaux peuvent ainsi rendre le patrimoine des légaux inutilisable.
 4. Indirectement à travers du marché. Une consommation d'eau excessive va produire une superproduction et une chute du prix des produits dans le marché agricole.
- Impacts écologiques particulièrement sérieux. Des altérations indésirables dans les milieux aquatiques :
 - Détérioration de la qualité de l'eau. La teneur de l'eau en nitrates dans quelques régions de l'aquifère de la Mancha Occidentale dépasse les 50 mg/l admis dans la réglementation européenne technique- sanitaire des eaux potables. C'est pourquoi l'unité hydrologique 04.04. a été déclarée « Zone vulnérable à la pollution par les nitrates » (Ordre 7/08/1998 et Ordre 10/02/2003).
 - La perte de zones humides de grande valeur écologique, notamment celle du Parc National de « Tablas de Daimiel ». Processus d'eutrophisation, de combustion spontanée (tourbes) et l'apparition des zones sèches comme la disparition des mythiques « Yeux du Guadiana ». La zone humide occupe à présent 1875 ha, 70% moins que dans les années 70-80. (Tablas de Daimiel, 2006 ; De la Hera, 2003). Voir photo 1.

Photo 1. Le Parc National de Tablas de Daimiel en 1980 et en 2005.

Parc National de Tablas de Daimiel



Source : Tablas de Daimiel (2006) et élaboration propre.

IV. Les politiques de conservation des ressources mises en place dans l'aquifère d'étude

Parmi tous les instruments cités dans la première partie, nous allons développer seulement ceux qui ont été en réalité mobilisés sur la zone afin de réduire les extractions de l'eau et de récupérer les zones humides du « Parc National des Tablas de Daimiel ». D'un côté, le gouvernement central a mis en place un système de quotas fixes et de l'autre, parallèlement, le gouvernement régional a développé un système de paiements compensatoires pour la réduction volontaire de la consommation d'eau.

1. Un système de quotas par exploitation : le « Régime d'Exploitation »

Ce régime a été mis en place en 1991 par le gouvernement régional de Castilla La Mancha en étroite accord avec la Loi de l'eau de 1985. Il a imposé des restrictions majeures ces dernières années (notamment dans l'année 2005).

Le régime d'exploitation limite l'extraction de l'eau grâce à l'instauration d'un système de quotas fixes sans droit de compensation. Les limites d'extraction de l'eau sont établies en fonction de la taille de l'exploitation, de façon que les exploitations les plus grandes aient des limitations supérieures (CHG, 2005c ; CHG, 2007).

Pour l'année présente (année hydrologique 2006-2007)¹⁰, le Régime d'exploitation permet une extraction maximale pour les usages agricoles de 213,4 Hm³. 70 Hm³ sont destinés à la culture de la vigne (1000 m³/ha), le reste est distribué de la façon suivante (tableau 8).

¹⁰ Le nouvel Régime d'Exploitation pour l'année hydrologique 2007/2008, maintient les mêmes quotas d'extractions.

Tableau 8. Le régime d'exploitation pour l'année 2006.

Surface (ha)	Dotation maximale d'eau (m ³ /ha)
0- 30	2.640
30-80	2000
>80	1200

Source : CHG (2005c)

En moyenne, le volume maximum permis est très inférieur aux concessions d'usage des agriculteurs (la consommation moyenne d'un hectare irrigué est de 4200 m³, CHG 2005b). A la suite des limitations de l'usage de l'eau sans aucune compensation, ce programme a généré une forte opposition et un grand mécontentement social (Varela, 2003a ; Varela *et al.* 2003 ; Varela 2007).

De plus, ce type de politique a de très hauts coûts de transaction du fait du nombre considérable d'agents, de contrats nécessaires et de la difficulté de contrôle individuel des agriculteurs¹¹.

2. Des paiements compensatoires : les « Aides agri-environnementales à l'économie d'eau »

Parallèlement à cette politique nationale, en 1999, le gouvernement régional a approuvé un programme Agri-environnemental (« *Plan de compensación de rentas o Plan de humedales* », 1993-2002) qui est en plein accord avec le Règlement 2078/92 de la Politique Agricole Commun.

Ce programme a un objectif environnemental (récupérer les zones humides) mais il a aussi un objectif socio-économique, le soutien de l'activité agricole de la zone grâce à un système d'aides compensatoires, aux agriculteurs qui veulent volontairement réduire leurs extractions d'eau. Ce programme a évolué pendant ces dernières années (voire tableau II-6). Le programme actuel en vigueur depuis l'année 2003 (« *Aides agri-environnementales à l'économie d'eau* », 2003-2007) a introduit quelques modifications importantes et très discutées pour les agriculteurs. Dans ce nouveau programme, le niveau de réduction exigé est lié pour la première fois au régime d'exploitation. D'un autre côté, la fourchette d'aide correspondante au niveau de réduction d'eau du 70% (la préférée parmi les agriculteurs) est supprimée. D'ailleurs, le montant des aides est modulé de façon croissant en fonction de la surface de l'exploitation (en suivant la même logique que le Régime d'exploitation).

Tableau 9. L'évolution du programme agro-environnemental (1993-2006).

Niveau de réduction dans la consommation d'eau (%)	Paiements compensatoires (€/ha)			
	1993	1997	2001	2003-2006
50	156	164	179	1-40 ha = 209 40-80 ha = 125 >80 ha = 63
70	258	271	2966	-
100	360	379	414	1-40 ha = 518 40-80 ha = 311 >80 ha = 155

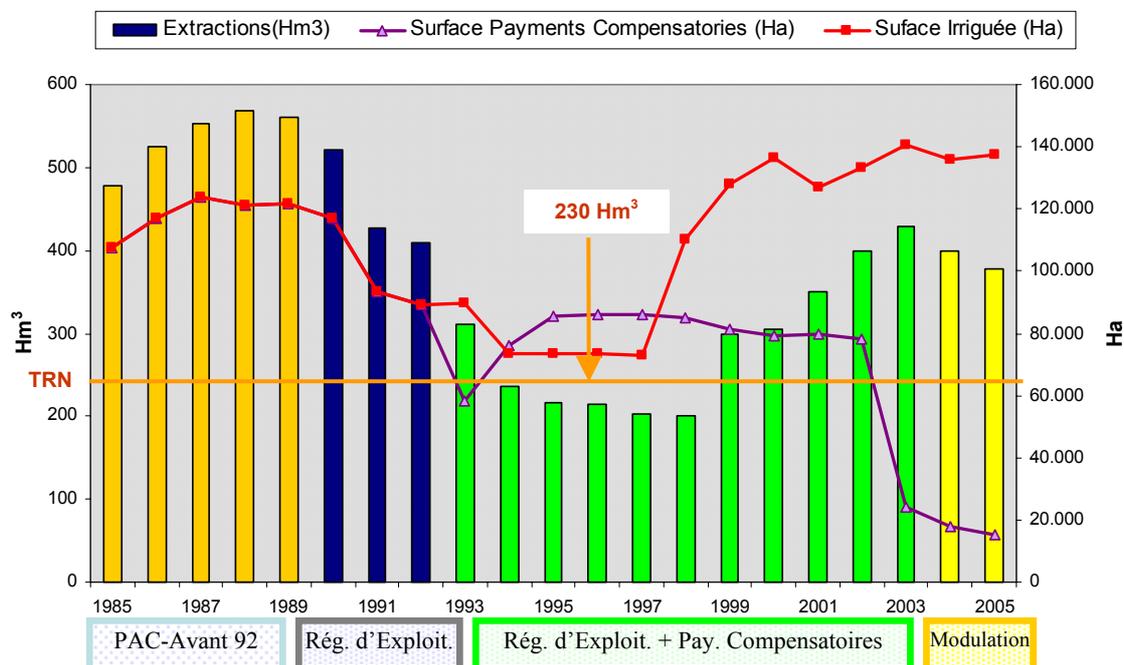
Source : JCC-LM (2006).

En général, cette politique a eu un succès irréfutable. En fait, dans la première phase du programme, presque 90% de la surface était enregistrée dans le programme et les extractions annuelles ont été réduites au-dessus du montant attendu (de 600 Hm³ dans l'année 1989 à moins de 300 Hm³ dans l'année 1996) (Viladomiu et Rosell, 2003). Malgré le succès, ce programme est de plus en plus mis en question en raison de son fort coût public. D'où le fait que le nouveau programme d'aides soit moins ambitieux et que l'UE cherche des instruments de politiques alternatives (Varela, 2003a ; Varela 2007).

¹¹ Il n'y avait pas d'instruments de mesure de consommation de l'eau, donc le contrôle du volume extrait se faisait par l'intermédiaire des cultures individuelles de chaque agriculteur.

Dans le graphique suivant, on montre l'évolution des extractions d'eau, et de la surface irriguée entre les années 1985 et 2003, en fonction des instruments politiques mis en place progressivement.

Figure 2. L'évolution des extractions d'eau, de la surface irriguée et de la surface correspondante au programme environnemental, dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.



NRR : taux naturel de recharge de l'aquifère- « *natural recharge rate* » (230 Hm³). PAC-Avant 92 : politique agricole commune avant de la réforme de 1992. Rég. d'Exploit. : politique de quotas mise en place par le gouvernement central en 1991. Rég. d'Exploit.+Pay.compensatoire : programme agro-environnementale plus le système de quotas précédent. Modulation : programme agro-environnementale modulé en fonction de la surface des exploitations plus le système de quotas précédent.

Source : Varela-Ortega. (2007)

V. Discussion actuelle : la contribution de cette recherche

La plupart des problèmes concernant l'aquifère de la Mancha Occidentale n'ont pas été encore résolus. Les mesures mises en place dans la zone, telles que les régimes d'exploitation ou les paiements agro-environnementaux, ont réussi à récupérer partiellement mais inégalement l'aquifère. Les zones humides risquent de disparaître et les contestations sociales sont de plus en plus fortes.

Il est évident que la situation n'est pas pour longtemps soutenable. A cet égard, le gouvernement espagnol a mis en place à travers le Plan Hydrologique National (PHN) (Loi 10/2001 du 5 juillet), la création d'un Plan Spécial pour le Bassin Supérieur du Guadiana (*Plan Especial del Alto Guadiana*, PEAG) (CHG, 2005b ; CHG, 2006b). L'objectif est de récupérer (quantitativement et qualitativement) les aquifères surexploités de la Mancha Occidentale et du Campo de Montiel, les zones humides adjacentes et en définitive, maintenir un usage soutenable des aquifères du Bassin Supérieur du Guadiana.

Cette loi prévoit diverses actions, telles que :

- le réaménagement des droits d'usage d'eau
- la modification du régime d'exploitation en époques de sécheresse
- l'instauration des différentes mesures, nécessaires pour stabiliser l'équilibre hydrique et environnemental du Bassin

Ce plan devrait être rédigé et approuvé depuis l'année 2002 et il n'est pas encore prêt à l'heure actuelle. Des premiers brouillons ont été faits en 2004 et 2005 (CHG, 2004 ; CHG, 2005b) mais les confrontations

entre les diverses parties intéressées n'ont pas permis d'approuver le texte final. Actuellement, un nouveau brouillon a été réalisé. Il est public depuis juin 2006 (CHG, 2006b ; CHG, 2006c ; CHG, 2006d) et il est en phase de discussion. Le dernier du 26 juin 2007 a été soumis à discussion au "Conseil d'Eau" : dernière démarche pour être approuvé par le gouvernement national.

A l'heure actuelle, le contenu du Plan doit prendre pour cadre la philosophie de la Directive Cadre de l'Eau européenne (CDE) car elle intègre toutes les normes actuellement en vigueur ou en proposition sur toutes les politiques de l'eau dans les Etats membres de l'Union Européenne (Commission Européenne, 2000). Dans ce contexte, le Bassin Versant du Guadiana (CHG) a publié en 2005 les premiers brouillons de la transposition des articles 5 et 6 de la Directive Cadre de l'Eau (DCE) pour le bassin du Guadiana (CHG, 2005a) et en 2006 l'analyse économique de la démarcation hydrographique du Guadiana d'après la Directive Cadre de l'Eau (CHG, 2006a). Les tâches sont ambitieuses, les documents recueillent les objectifs de caractériser les masses d'eau superficielles et souterraines, d'enregistrer les masses d'eaux protégées, d'analyser les impacts et les pressions des eaux superficielles et souterraines et d'effectuer une analyse économique correcte de la ressource en eau.

Tout cela met en évidence, que les problèmes ne sont pas encore résolus et que la solution n'est pas facile à trouver. Elle exige la prise en compte de nombreuses approches (économiques, sociales, institutionnelles, écologiques) en plus de la participation de toutes les parties intéressées.

En effet, l'échec des politiques mises en place jusqu'à présent a été produit, en grande partie, par la non prise en compte des opinions et de réactions des agents impliqués. C'est pourquoi notre travail cherche à reproduire les impacts des solutions de sortie de crise sur les parties intéressées, qui doivent définir, en réalité, le type de politique qu'elles accepteraient.

Les politiques qui ont été simulées répondent, en tout cas, aux propositions faites pour les parties impliquées et qui seront versées pendant le processus de décision dans les différents forums de discussion. C'est pourquoi ce travail a été conçu comme un outil réel d'aide à la décision. On espère éclaircir quelques questions économiques afin qu'elles puissent être prises en compte pour les décideurs publics tout au long du processus de décision, en sachant cependant que lorsque la solution sera choisie, elle sera importante non seulement pour la politique de l'eau en Espagne mais aussi dans d'autres pays arides et semi-arides du monde.

Troisième Partie

Méthodologie : application de la modélisation économique

I. Introduction

Dans le but de résoudre notre problématique, nous avons développé un modèle de programmation mathématique grâce auquel nous avons simulé le comportement des agriculteurs face à différents scénarios de politiques publiques.

Pour cela, il a fallu réaliser tout d'abord un vaste travail de terrain (mené avec le financement et la direction du Projet NeWater), dans lequel nous avons enquêté les principaux acteurs (ou « *stakeholders* ») de l'aquifère de la Mancha Occidentale, notamment les agriculteurs des communautés d'irrigants le plus représentatifs.

Le travail du terrain effectué nous a servi pour l'identification des exploitations représentatives de la zone, obtenir les coefficients techniques du modèle et clarifier les scénarios à simuler afin de résoudre la problématique qui nous amène.

Etant donné que le modèle de programmation mathématique retenu simule le comportement agrégé des agriculteurs à l'échelle régionale, les exploitations individuelles définies précédemment ont été agrégées au niveau du sous-bassin en fonction de la surface représentée sous une hypothèse de linéarité.

Le modèle agrégé représente ainsi la combinaison de plusieurs modèles individuels d'exploitations dans un cadre unique agrégé, dans lequel les liaisons entre les exploitations ont été définies de manière explicite. Cette approche va nous permettre de garder les spécificités micro les plus pertinentes pour cette étude et d'avoir une vision globale de ce qui se passe au niveau de l'aquifère.

Finalement, nous avons défini les scénarios et les politiques simulées en réponse d'une part aux idées et jugements émis par les diverses parties intéressées et d'autre part, à une recherche théorique des outils politiques les plus appropriés pour atteindre notre objectif¹². Ils ont été groupés en deux sous-groupes : le premier englobe les scénarios des politiques qui atteignent l'objectif intermédiaire de contrôle des extractions ; le deuxième est composé de différents outils de gestion de la demande en eau, tels que la tarification, les quotas et le marché d'eau.

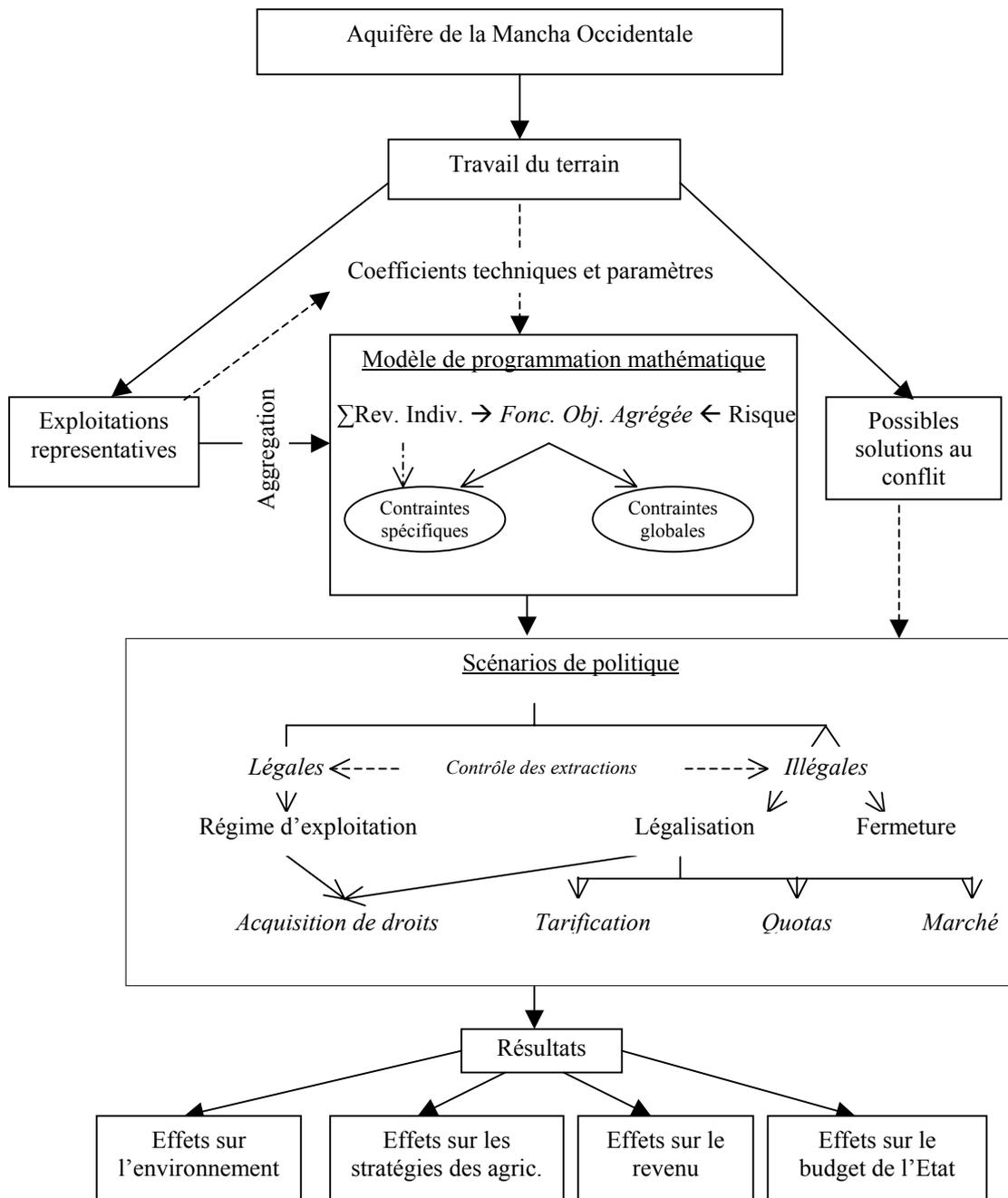
Nous avons aussi marqué la place d'une approche, celui de l'acquisition de droits d'eau, envisagé par l'autorité publique.

L'analyse des impacts produits sur l'environnement, les pratiques et les revenus des agriculteurs, de même que sur le budget public, sera effectuée dans la partie suivante : analyse et discussion des résultats.

Le schéma 4 résume la méthodologie suivie dans cette recherche.

¹² « Réduire la consommation d'eau agricole jusqu'au niveau du taux de renouvellement naturel de l'aquifère de la Mancha Occidentale, afin de mettre fin à la surexploitation de l'aquifère et conserver les zones humides associés ».

Schéma 4. Méthodologie suivie.



III. Travail du terrain

Le travail du terrain a été réalisé dans le cadre du Projet Européen NeWater avec l'équipe de recherche de l'Université Polytechnique de Madrid¹³.

Le travail de terrain a été effectué en deux phases : la première, entre les mois d'avril et de juillet 2006 (voir Blanco, 2006) ; et la deuxième, entre les mois de janvier et février 2007. Dans cette deuxième phase, le questionnaire a été amélioré, quelques communautés d'irrigants ont été à nouveau enquêtées et des nouveaux agriculteurs et experts ont été incorporés.

Le travail du terrain a été développé pour atteindre les objectifs suivants :

1. Identifier et contacter les acteurs locaux ou « *stakeholders* » afin de mieux définir leur rôle sur la gestion de la ressource hydrique. On a réalisé ce travail en coordination avec l'équipe de recherche de l'Université Complutense de Madrid (UCM), responsable du cas d'étude du Bassin du Guadiana dans le projet NeWater. Cette phase est absolument nécessaire pour cibler le travail du terrain ultérieur (pour en savoir plus, consulter Varela *et al.*, 2006b).
2. Obtenir l'information nécessaire pour construire un modèle de programmation mathématique.

a- Au niveau macro : connaître la situation des zones humides dans la région et comprendre le fonctionnement de la gestion de l'eau dans le bassin supérieur du Guadiana, tout particulièrement celle des Communautés d'Irrigants ou CUAS (systèmes et organisation de l'irrigation, contrôle de l'eau, tarifs, dotations d'eau, balances hydriques, recharge de l'aquifère, etc.).

Pour atteindre ces objectifs, nous avons élaboré différentes enquêtes qui ont été menées auprès du gouvernement central (notamment l'Organisme du Bassin ou Bassin Versant du Guadiana), du gouvernement régional et local (le Ministère Régionale de l'agriculture de Castilla-La Mancha), des groupes écologistes (par exemple, des visites au Centre de l'eau de Daimiel, et au Parc Nationale de « Tablas de Daimiel ») et des CUAS.

Nous soulignons les enquêtes réalisées au bassin versant du Guadiana, car elles nous ont permis de sélectionner les CUAS les plus importantes de l'aquifère de la Mancha Occidentale, et les enquêtes réalisées aux CUAS elles-mêmes. Au total, 1 enquête auprès du bassin versant et 6 enquêtes adressés à la Communauté Générale de l'Aquifère de la Mancha Occidentale, et aux 5 Communautés d'Irrigants les plus représentatifs de l'aquifère en surface, nombre de membres et nombre de puits : Alcazar de San Juan, Daimiel, Herencia, Manzanares et Tomelloso. Dans la deuxième partie, point 3.2, nous avons montré les principales caractéristiques des CUAS sélectionnées.

b- Au niveau micro : obtenir l'information nécessaire pour construire des exploitations-types, pour déterminer leur représentativité dans l'ensemble et pour estimer les coefficients techniques du modèle (rendements des cultures, coûts variables, besoins et disponibilité en main-d'oeuvre, besoins des cultures en eau, prix, subventions, coûts d'extraction, etc.).

Pour atteindre ces objectifs, nous avons élaboré aussi des enquêtes qui s'adressent, dans ce cas-là, à différents techniciens (personnes avec une excellente connaissance de la réalité de la zone, notamment la « police des CUAS ») et quelques agriculteurs sélectionnés par les propres responsables des Communautés d'Irrigants et du gouvernement. Ces enquêtes ont été effectuées dans les 5 CUAS sélectionnées précédemment. Un exemple des enquêtes effectuées peut être consulté dans l'*Annexe 1* de ce travail.

¹³ Les normes du Projet NeWater (encore en cours) exigent la confidentialité des données jusqu'à la finalisation du projet. C'est pourquoi on montre la méthodologie du travail du terrain réalisé mais pas les données ou la liste de personnes interviewées. Pour plus d'information sur le travail de terrain effectué dans le cadre du projet NeWater, consulter Varela *et al.* (2006c).

Au total, 25 enquêtes ont été réalisées auprès des agriculteurs entre les phases 1 et 2 du travail du terrain, représentant 0,67% des exploitations et 6,06% de la surface. Le tableau 10 montre la représentativité de l'échantillon effectué.

Tableau 10. Représentativité des enquêtes réalisées chez les agriculteurs dans les cinq Communautés d'Irrigants les plus importantes de l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Communautés d'irrigants enquêtés	Alcázar de S.Juan	Daimiel	Herencia	Manzanares	Tomelloso	Total
Nombre d'échantillons (N° expl.)	8	4	4	4	4	25
Nombre de membres	912	1445	130	850	403	3740
Représentativité (%)	0,88	0,28	3,1	0,47	0,99	0,67
Surface de l'échantillon (Has)	2.968	336,5	159	585	539	4.587,5
Surface de la Communauté (Has)	29.380	19.920	3.725	17.896	4.739	75.660
Représentativité (%)	10,1	1,7	4,27	3,27	11,37	6,06

3. Définir les scénarios des simulations. Les différents scénarios de politiques développés visant à résoudre les problèmes de gestion de l'eau dans l'aquifère, ont été sélectionnés en partie, en fonction des alternatives politiques possibles qui s'offrent du point de vue théorique mais aussi en fonction des propositions effectuées par les parties intéressées. Les scénarios simulés cherchent en tout cas à reproduire les idées et les solutions proposées par les parties intéressées dans les enquêtes (voir le dernier point des enquêtes adressées aux agriculteurs) et tout au long des séminaires et des réunions organisés par le Project NeWater.
4. Validation du modèle. Pour atteindre cet objectif, il faut demander directement aux agriculteurs une description de leur comportement actuel. Il s'agit donc de faire une comparaison entre les résultats obtenus dans les modèles de programmation mathématique et les réponses des agriculteurs pour observer les biais. On a validé le modèle sur trois angles : les stratégies suivies par les agriculteurs, le prix du loyer de la terre et les salaires révélés. Une quatrième validation « non-formelle » a été effectuée par rapport à la consommation d'eau des exploitations.

III. Typologie des exploitations

1. Les exploitations retenues : une perspective fonctionnelle au niveau du sous-bassin

Après d'avoir compilé toute l'information, nous avons défini les exploitations représentatives de l'aquifère de la Mancha Occidentale, couramment appelés « exploitations types ».

Nous avons défini quatre exploitations qui sont statistiquement représentatives de la région en termes de surface et de nombre d'exploitations. La région analysée est celle de La Mancha, dans la province de Ciudad Real, elle s'étend sur 80% de la surface de l'aquifère de la Mancha Occidentale,¹⁴ et les cinq communautés d'irrigants les plus importantes de l'aquifère définis dans la partie précédente. Sachant que nous supposons que la structure des exploitations de l'aquifère de la Mancha Occidentale correspond avec la structure des exploitations dans la région de La Mancha.

Afin de déterminer ces exploitations, nous avons analysé le pourcentage d'exploitations et le pourcentage de surface selon différentes fourchettes de surface dans la région de La Mancha. Les données

¹⁴ Note: éclaircissement de la localisation administrative de l'aquifère de la Mancha Occidentale. De micro à macro : Aquifère de la Mancha Occidentale → Région de la Mancha → Province de Ciudad Real → Communauté Autonome de Castilla-La Mancha → Espagne.

statistiquement disponibles à ce niveau là datent de 1999 (INE, 1999), nous ne considérons pas cette source fiable car la taille moyenne des exploitations en Espagne a augmenté considérablement ces dernières années. La taille actuelle des exploitations n'est disponible qu'au niveau de Communautés Autonomes (INE 2005, MAPA 2007), c'est pourquoi nous avons émis une deuxième hypothèse : l'évolution, entre 1999-2005, de la taille des exploitations dans la région de la Mancha, suit la même tendance que ce qui est observé dans la région autonome de Castilla-La Mancha pendant la période considérée.

Le tableau 11 et la figure 3 montrent la structure des exploitations dans la région de La Mancha en 2005, obtenue à partir des données disponibles pour l'année 1999 et actualisés avec la tendance observée par la Communauté Autonome de Castilla-La Mancha entre 1999-2005. On peut déjà remarquer que les exploitations petites (de moins de 50 hectares) ont un poids important dans la région en nombre d'exploitations mais aussi en surface.

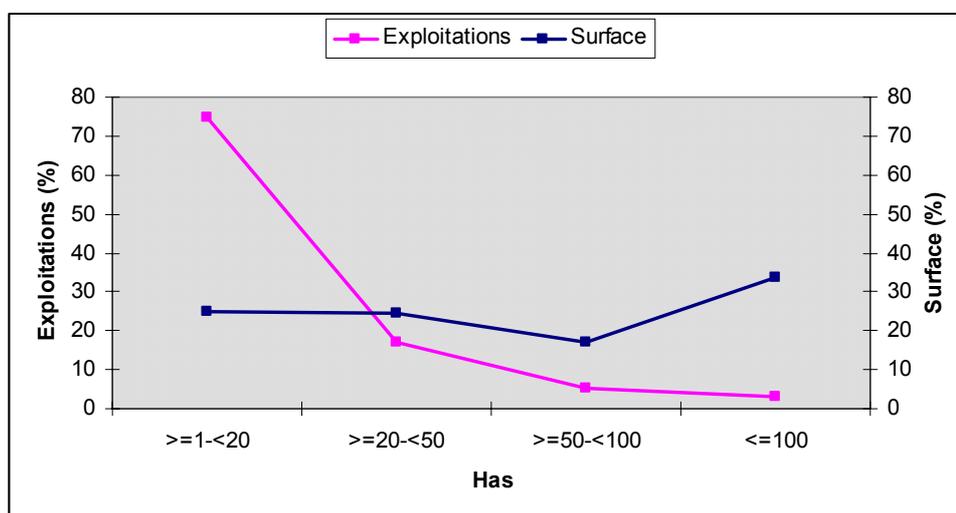
Tableau 11. Structure des exploitations dans la région de La Mancha en 2005.

Fourchettes de surface (ha)	Exploitations		Surface		Surface moyenne Has/Exploit.
	Nombre	%	Hectares	%	
>=1 - < 20 (*)	11873	74,79	94523,40	24,91	7,96
>= 20 - < 50	2674	16,84	92166,23	24,29	34,46
>= 50 - < 100	845	5,32	64782,67	17,07	76,69
>= 100	484	3,05	128007,26	33,73	264,38
Total	15.876	100	379.480	100,00	23,90
Taille moyenne de l'exploitation en 1999 (Has)					19,49
Augmentation dans la taille moyenne de l'exploitation (%)					22,62

(*) On n'a pas pris en compte les exploitations de moins d'un hectare, car on considère seulement les exploitations avec une certaine activité économique.

Source : Elaboré à partir de INE (1999), INE (2005) et MAPA (2007).

Figure 3. Pourcentage des exploitations et de surface occupées classées par niveaux de surface, dans la région de La Mancha en 2005.



Source : Elaboré à partir de INE (1999), INE (2005) et MAPA (2007).

La structure des exploitations dans la région de La Mancha en 2005, a été adaptée à la région de l'aquifère de la Mancha Occidentale en 2006.

On avait montré dans la partie précédente, que le degré d'incertitude par rapport aux données était considérable. Néanmoins, on est dans l'obligation de faire un choix parmi différentes sources officielles. Nous avons considéré que la surface cultivée de l'aquifère de la Mancha Occidentale est de 227.500 ha,

dont 182.000 (80%) sont irrigués et 45.500 (20%) sont non irrigués. Par rapport à la surface irriguée, nous avons considéré 130.000 hectares légaux (CHG, 2006b ; à partir des images par satellite 2005) et 52.000 illégaux (CHG, 2006b, fourni par le programme Alberca 2006).

En accord avec la structure des exploitations de la région de La Mancha (% de exploitations, % de surface, et surface moyenne), et en sachant que la surface cultivée de l'aquifère de la Mancha Occidentale est de 227.500 has, nous avons construit les exploitations-types de l'aquifère de la Mancha Occidentale (voir tableau 12).

Tableau 12. Typologie des exploitations dans l'aquifère de la Mancha Occidentale en 2006.

Fourchettes de surface (ha)	Exploitations		Surface (Exploit.-macro)		Surface moyenne Ha/Exploit.	Exploit.-micro retenues
	Nombre	%	Hectares	%		
>= 1 - < 20	5.667	74,79	56.667,28	24,91	7,96	10
>= 20 - < 50	1.579	16,84	55.254,14	24,29	34,46	35
>= 50 - < 100	518	5,32	38.837,55	17,07	76,69	75
>= 100	289	3,05	76.741,03	33,73	264,38	265
Total	8.053	100	227.500,00	100,00	23,90	-
Taille moyenne de l'exploitation en 1999 (Ha)					19,49	-
Augmentation dans la taille moyenne de l'exploitation (%)					22,62	-

Source : Elaboré à partir de INE (1999), INE (2005), CHG (2006b).

Le tableau ci-dessus montre que l'aquifère de la Mancha Occidentale compte 227.500 hectares, 8.053 exploitations avec une surface moyenne par exploitation de 23,90 hectares. Ces données semblent très cohérentes avec celles obtenues par d'autres sources statistiques. Ainsi, le Bassin Versant du Guadiana estime un total de 8 436 membres (irrigants) dans toutes les communautés de l'aquifère de la Mancha Occidentale, ce qui est très proche du chiffre obtenu qui est de l'ordre de 8 053, en sachant en plus que parfois divers irrigants font partie d'une même exploitation. D'ailleurs, si on divise la surface totale comprise par les cinq Communautés d'Irrigants sélectionnés dans la partie précédente (75 660 ha) entre les nombres de membres totaux dans ces communautés (3.740 membres), on obtient une surface moyenne par exploitation (\approx nombre de membres) de 20,2 ha/expl., une valeur très proche de celle obtenue à partir de nos observations statistiques.

Etant donné qu'on cherche à reproduire le comportement agrégé des agriculteurs au niveau régional du sous-bassin, il convient de souligner que les exploitations qui seront vraiment simulées dans le modèle de programmation mathématique sont les exploitations appelées ici « macro ». Cependant, la construction du modèle exige la prise en compte des données de base qui ne peuvent pas être obtenues à partir des macro-exploitations, mais à partir d'exploitations réelles (appelés ici micro-exploitations). Par exemple, le droit au paiement unique, la disponibilité du travail familial, la distribution des cultures par exploitation, les coûts d'extractions, etc.

Les macro-exploitations sont en réalité la somme des petites, sous l'hypothèse que toutes les micro-exploitations sont identiques dans tout le périmètre irrigué du sous-Bassin (hypothèse de linéarité). On reconnaît que cette hypothèse est assez forte à cause des possibles biais d'agrégation, néanmoins nous considérons qu'elle reste pertinente pour notre cas d'étude.

En accord avec cette procédure, on a complété la représentation des exploitations en ce qui concerne la surface irriguée (légale et illégale), le type de sol, le nombre de puits et la distribution des cultures, à l'aide des exploitations réelles enquêtées dans le travail du terrain (exploitations micro). Nous avons classé les exploitations enquêtées par niveaux de surface, de la même façon qu'on l'avait fait avec les données statistiques (1-20 ; 20-50 ; 50-100 ; >100), et nous avons assigné la valeur moyenne de chaque paramètre obtenu dans chaque fourchette à celle de l'exploitation type micro et par agrégation aussi à l'exploitation macro. L'agrégation de tous ces paramètres au niveau « macro » devra coïncider avec les données disponibles de l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Le tableau ci-dessous montre les caractéristiques des exploitations types sélectionnées, comme elles seront simulées dans le modèle de programmation mathématique.

Tableau 13. Caractéristiques des exploitations représentatives de l'aquifère de la Mancha Occidentale

Caractéristiques	Exploitations représentatives				Total (Aquifère)
	Expl. 1	Expl. 2	Expl. 3	Expl. 4	
Surface totale (has)	56.667	55.254	38.838	76.741	227.500
Surface irriguée/surface en sec (%)	100/0	100/0	80/20	50/50	80/20
Surface irriguée (has)	56.667	55.254	31.070	38.371	182.000
Surface irriguée légale / illégale (%)	70/30	35/65	100/0	100/0	71,4/28,6
Sol (%)					
Mauvaise qualité de sol	39	20	58	80	51,5
Bonne qualité de sol	61	80	42	20	48,5
Puits					
Nombre de puits	12.401	18.266	3.824	4.723	39.214
Légaux /illégaux (%)	61/39	13/87	100/0	100/0	40/60
Assolement (%)					
Céréales en sec (orge, blé)	0,00	0,00	15,00	38,00	15,38
Céréales irriguées (orge, blé)	30,00	18,00	30,00	25,70	25,64
Maïs	0,00	0,00	2,00	0,30	0,44
Cultures maraîchères (pomme de terre, poivron, melon, ail)	30,00	5,00	14,00	10,00	14,45
Vigne irriguée	30,00	75,00	28,00	10,00	33,84
Jachère	10,00	2,00	11,00	16,00	10,25
Surface Totale (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Coefficient d'agrégation au niveau de l'aquifère (sous-bassin)	24,91	24,29	17,07	33,73	100,00

L'exploitation type 1 représente les exploitations enquêtées entre 1-20 hectares. Au total, 3 enquêtes, dont 2 ont été réalisées dans la communauté d'irrigants de Alcázar de San Juan et 1 à Herencia. Cette exploitation 100% irriguée, est appelée « mixte » car elle mélange une consommation d'eau légale avec une partie illégale. Cela représente la réalité dans la zone, où on ne trouve pas des exploitations complètement illégales, mais des exploitations où il existe une combinaison de légalité et d'illégalité. Cette exploitation contient presque 40% de puits illégaux avec lesquels elle irriguent 30% de sa surface. Il s'agit d'une exploitation avec une qualité de sol relativement bonne et très intensive en cultures maraîchères (30% de la surface totale).

L'exploitation type 2 est aussi une exploitation « mixte », mais avec une forte composante d'illégalité. Elle englobe les exploitations enquêtées entre 20-50 hectares : une à Herencia, une à Manzanares et deux à Tomelloso. Cette exploitation, 100% irriguée, dispose des sols profonds (disposant d'un bon complexe argilo-humique) et d'un assolement dominé par la culture de la vigne irriguée (75% de la surface totale). La plupart de la consommation en eau s'effectue de façon illégale : plus de 80% de puits sont illégaux, et plus du 60% de la surface est irriguée de façon illégale. Cette exploitation représente le cas typique des exploitations qui ont transformé la culture de la vigne de « non irriguée » à « irriguée ». Cela peut s'expliquer parce que les rendements qui sont beaucoup plus élevés lorsqu'elle devienne irriguée, et en plus du fait que cette culture échappe très facilement aux contrôles faits par des images satellites (télédétection).

Les exploitations types 3 et 4 sont entièrement « légales ». Ce sont des exploitations plus grandes et plus extensives. La surface irriguée, notamment plus rentable que la surface non-irriguée, est fortement limitée par la contrainte en eau. Pour essayer d'échapper à cette contrainte, elles utilisent une surface plus grande avec une agriculture pluviale complémentaire, notamment représentée par l'orge (une culture très bien adaptée à la zone d'étude). Les exigences par rapport à la qualité du sol ne sont pas très fortes. L'exploitation type 3 englobe les exploitations enquêtées entre 50-100 hectares avec 80% de surface irriguée. Au total, 9 échantillons : trois à Daimiel, deux à Herencia, deux à Manzanares, et deux à

Tomelloso. L'assolement est très diversifié, on trouve même quelques exploitations qui cultivent le maïs dans la Communauté d'Irrigants de Daimiel. L'exploitation type 4 comprend aussi neuf échantillons, la plupart situés dans la Communautés d'Irrigants de Alcazar de San Juan (6), une à Daimiel, une à Manzanares et une à Tomelloso. Elles englobent les exploitations enquêtées de plus de 100 hectares. Les céréales en sec (38%), irrigués (25,7%) et la jachère (16%), sont les cultures prédominantes.

Vérification de l'agrégation au niveau de l'aquifère de la Mancha Occidentale

Finalement, il faut vérifier que les données qu'on a obtenues au niveau de l'aquifère de la Mancha Occidentale grâce à l'agrégation des exploitations « macro », coïncident avec les données officielles.

- Le type de sol.

Nous avons différencié deux types de sol. D'un côté, un type de sol de bonne qualité (sol profond, disposant d'un complexe argilo-humique important), qui correspond aux types de sol « *alfisol et entisol*¹⁵ » ; et d'un autre côté, un sol de mauvaise qualité (sol superficiel, érodé en haut de coteaux), qui correspond au type de sol « *inceptisol*¹⁶ ». D'après nos données, la surface de l'aquifère de la Mancha Occidentale est composée dans 51,5% des cas d'un type de sol « mauvais » et dans 48,5% des cas par des sols de bonne qualité. Le tableau III-5 montre que les sols de mauvaises qualités prédominent dans l'aquifère de la Mancha Occidentale dans une proportion de presque 60% dans la région de La Mancha, province de Ciudad Real. Nous considérons quand même ce biais comme acceptable, étant donné que les sols ne sont pas 100% homogènes dans les exploitations.

Tableau 14. Le type de sol dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Province	Région	Représentation en surface (%)	Groupe (*)	Ordre (*)	Total région (%)	Total aquifère (%)
Ciudad Real	La Mancha	78	Xerochrept	Inceptisol	60	46,8
			Palexeralf	Alfisol	30	23,4
			Xerorthent	Entisol	10	7,8
	Campo de Calatrava	3	Xerochrept	Inceptisol	50	1,5
			Palexeralf	Alfisol	40	1,2
			Haploxeralf	Alfisol	10	0,3
Cuenca	Mancha Baja	6	Xerochrept	Inceptisol	70	4,2
			Xerorthent	Entisol	20	1,2
			Haploxeralf	Alfisol	10	0,6
Albacete	Mancha	13	Xerochrept	Inceptisol	70	9,1
			Haploxeralf	Alfisol	30	3,9
Aquifère de la Mancha Occidentale		100	-	-	-	100

(*) Classification USDA (1987)

Source : Elaboration propre à partir de SEIS (2007).

- Le nombre de puits et les hectares par puits

Le Bassin Versant du Guadiana publie en 2005b le nombre de puits totaux et légaux pour l'aquifère de la Mancha Occidentale. Au total, 39 636 puits, dont 16 719 sont légaux et 22 917 sont illégaux. La surface irriguée par puits légal correspond à 7,99 hectares/puits de moyenne dans tout l'aquifère, et 10,27 hectares/puits de moyenne dans les cinq communautés d'irrigants sélectionnés. Nous avons obtenu 39 214 puits, dont 15 685 sont légaux et 23 528 sont illégaux. Chaque puits légal irrigue 9,38 hectares.

- L'assolement

¹⁵ Classification USDA, 1987.

¹⁶ Classification USDA, 1987 (De Juan Valero JA. *et al.*, 2003).

L'assolement par rapport à la surface irriguée, constitue une des incertitudes les plus importantes dans l'aquifère de la Mancha Occidentale. Nous avons considéré plusieurs sources officielles pour estimer l'assolement au niveau régional, d'une part les données relatives au paiement unique de l'année 2006, d'autre part celles obtenues des images par satellite, de même que celles collectées dans le registre viticole (CHG, 2006b ; 2006c ; 2006d). Les différences entre les valeurs empiriques et statistiques, considérées comme acceptables, sont affichées dans le tableau 15.

Tableau 15. Validation de l'agrégation au niveau régional par rapport à l'assolement.

Groups de cultures	Assolement empirique (%)	Assolement statistique (%)	Différences
Céréales irriguées (orge, blé)	25,64	24,31	+1,33
Maïs	0,44	1,7	-1,26
Cultures maraîchères	14,45	10,74	+3,71
Vigne irriguée	33,84	31,86	+1,98
Jachère	10,25	14,36	-4,11
Somme absolue des différences (*)			12,39

(*) Cette valeur correspond avec le paramètre statistique PAD (*Percentage Absolute Deviation*). Il est expliqué avec plus de détail dans le point 4.4 « validation du modèle ». Néanmoins, nous anticipons ici que Norton et Hazell (1986) estiment comme acceptable un PAD inférieur à 15.

2. Le problème de l'agrégation

La définition de groupes homogènes d'agriculteurs nécessite de résoudre toute une série de problèmes, que l'on désigne d'une façon générale sous le nom de *problème d'agrégation*. On avait déjà vu dans la partie précédente que l'agrégation des exploitations micro sous l'hypothèse de la linéarité était une supposition assez forte.

Hazell et Norton (1986) soulignent les trois conditions d'homogénéité nécessaires pour minimiser le biais d'agrégation. Les conditions à respecter sont :

- **L'homogénéité technologique.** C'est-à-dire que chaque exploitation doit avoir les mêmes possibilités de production, les mêmes ressources, les mêmes contraintes, les mêmes technologies et les mêmes capacités de gestion.
- **L'homogénéité pécuniaire.** C'est-à-dire que chaque producteur a des attentes de revenus de ses activités qui sont proportionnelles aux attentes moyennes du groupe.
- **L'homogénéité institutionnelle.** C'est-à-dire que le vecteur de contraintes du modèle de chaque exploitation doit être proportionnel au vecteur de contrainte de l'exploitation représentative.

Les conditions imposées par Hazell et Norton ne sont quand même pas faciles à accomplir. En effet, étant donné deux exploitations prises au hasard, il se peut d'abord, du fait de l'existence de l'économie d'échelles dans la plus grande, qu'il ne soit pas possible d'admettre que les relations entre les facteurs et les productions soient les mêmes dans les deux. Ensuite, même si les exploitations sont techniquement homogènes, il est rare qu'elles soient homothétiques les unes des autres, parce qu'il existe toujours un facteur de production pour lequel une exploitation est relativement mieux dotée qu'une autre. Il faut donc consentir à admettre des erreurs d'agrégation et à grouper les exploitations en classes qui ne satisfassent qu'approximativement à ces exigences (Hazell et Norton, 1986 ; Abbes, 2005).

En pratique, les critères d'agrégation se réduisent à grouper des exploitations agricoles selon quelques règles simples : des proportions semblables dans les dotations en ressources, des rendements similaires ou dans notre cas, en fonction des technologies comparables (cultures dominantes et les systèmes de production).

IV. Modélisation

1. Description de la modélisation

Parmi les différentes méthodes et instruments valables pour l'analyse des politiques, nous avons choisi l'approche de la programmation mathématique avec le langage GAMS (*The General Algebraic Modelling System*), particulièrement bien adapté aux problèmes qui se posent dans l'activité agricole. (Boussard *et al.*, 1997).

Les modèles de programmation mathématiques (MPM), comme n'importe quel modèle, constituent une représentation formelle et simplifiée de la réalité. Cette approche, basée sur l'hypothèse de la rationalité de l'individu et du caractère optimisateur de l'agent (issue de la théorie néoclassique), permet de reproduire le comportement des individus et de résoudre des problèmes d'optimisation sous contraintes. Normalement, des problèmes où un décideur souhaite obtenir le maximum de bénéfice sous certaines conditions externes (Boussard, 1987).

Suite à ce raisonnement mais inspiré de la théorie de l'utilité espérée, on a développé un modèle de programmation mathématique où l'individu ne maximise pas son profit mais l'utilité espérée de son profit sous des contraintes techniques, économiques et politiques. Dans ce cadre, on considère que le profit espéré est susceptible d'être modifié du fait de l'existence d'un univers risqué (Hazell et Norton, 1986). Introduire le risque dans un MPM peut se faire en utilisant de nombreuses techniques (MOTAD, *Target MOTAD*, *Safety first*, etc). Parmi eux, on a choisi l'approche espérance-variance ou plutôt celle de l'espérance-écart type¹⁷ car elle va nous permettre de calibrer le système sans ajouter des contraintes rigides au modèle.

Il est aussi courant d'introduire des éléments dynamiques dans les modèles car souvent les agriculteurs ne prennent pas des décisions pour une année sans tenir compte des années à venir. La plupart des modèles de programmation dynamique utilisés dans le domaine des eaux souterraines et dans le cadre du secteur agricole, sont de « *modèles de gestion optimale* » issus de la « *théorie du contrôle optimal* ». Ils représentent le fonctionnement d'un marché compétitif, dynamique, avec information parfaite et sans externalités, afin de montrer la voie socialement optimale d'exploitation de la ressource. Les modèles classiques calculent le stock optimal d'équilibre comme une valeur endogène au modèle qui maximise les bénéfices sociaux actualisés dérivés de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture (Burt, 1964). Iglesias (2001) fait une révision approfondie des travaux développés sur la gestion optimale. Nous renvoyons le lecteur aux travaux les plus célèbres d'Oscar Burt (1964 ; 1967a ; 1967b), Gisser (1980), Negri (1989), Prochencher et Burt (1993) et Rubio et Casino (2001), pour plus d'information sur cette approche.

En ce qui nous concerne, nous n'avons pas pris en compte cette méthodologie. Dans notre cas d'étude, la réalité nous montre que les agriculteurs ne prennent pas leurs décisions sur plusieurs années à la fois, car l'organisme gestionnaire (Bassin Versant du Guadiana) décide à chaque période (année hydrologique) la quantité disponible d'eau à travers un Régime d'Exploitation (détaillé dans la deuxième partie du travail). Cela veut dire que les agriculteurs décident leurs stratégies année après année en fonction de la quantité d'eau disponible et pas à long terme.

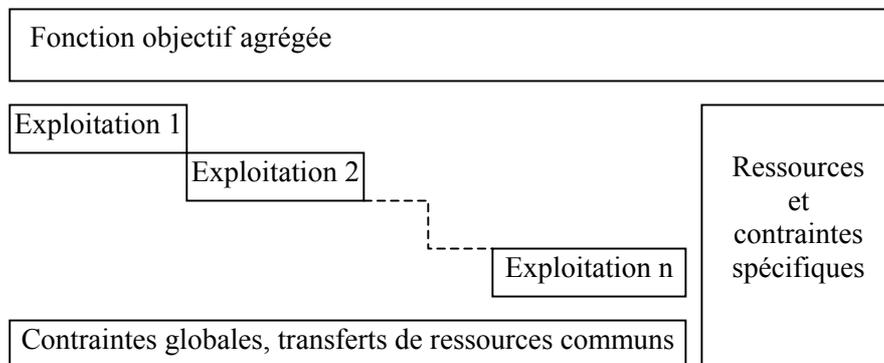
Le modèle ici retenu est un modèle statique (comparatif) dans lequel l'optimisation s'effectue pour une seule période. Les modèles statiques comparatifs sont des modèles plus simples, capables de répondre aux questions spécifiques ici posées, et très bien adaptés pour simuler et comparer diverses politiques publiques.

La problématique liée à notre cas d'étude nous oblige par contre à adopter une analyse plus large du point de vue spatial. Notre recherche s'inscrit dans une perspective des rapports de conflits d'usage d'eau au niveau micro, qui a des conséquences économiques et écologiques à niveau macro : surexploitation de l'aquifère et dégradation des zones humides associées. Les impacts des différents politiques de gestion d'eau doivent être analysés aussi bien à l'intérieur des diverses exploitations qu'au niveau régional.

¹⁷ L'écart type étant de même ordre de grandeur que le gain moyen, il est plus facile d'interprétation que la variance. (Jacquet, F., 2000)

Un tel objectif ne peut être atteint ni par des modèles d'équilibre général (trop simplistes), ni par des modèles individuels qui omettent les conséquences au niveau agrégé et surtout la dynamique qui se crée au niveau régional à travers le transfert des ressources entre les exploitations. C'est pourquoi on a choisi une modélisation intermédiaire. Nous avons représenté cette approche avec un modèle agrégé au niveau de sous-bassin. Ce modèle « régional » va optimiser l'utilité espérée globale sous contraintes individuelles d'exploitations et contraintes globales de transferts entre les exploitations (voir schéma 5).

Schéma 5. Structure d'un modèle agrégé régional.



Source : Adapté de Abbes (2005)

Les avantages de cette méthode d'agrégation ont été exposés par Abbes (2005) :

- comme dans les modèles micro-économiques, les différents objectifs ainsi que les contraintes affectant les producteurs sont pris en compte de manière explicite et pour chacun d'entre eux.
- les effets des mesures d'interventions peuvent être estimés non seulement au niveau individuel mais encore au niveau global.
- l'ensemble des externalités peut être, grâce à cette méthode, formulé et intégré dans l'optimisation.
- parallèlement, l'optimisation de la gestion de ressources communes devient endogène.
- en général, modèles faciles à construire, rapidement mis en œuvre, fiables, simples, compréhensibles, pointilleux.

Dans le cadre suivant se résument les principales caractéristiques du modèle utilisé dans la présente étude.

Tableau 16. Caractéristiques du modèle de programmation mathématique construit.

Description du MPM	
Linéarité	- Non linéaire, deux sources de non linéarité : le risque et les coûts d'extraction
Echelle temporelle	- Statique, monopériodique
Echelle spatiale	- Régional (agrégée au niveau de sous-bassin)
Calibration	- Le risque

Ce modèle a été ultérieurement décliné avec différentes hypothèses afin de représenter les différents scénarios de politiques simulés. Nous partirons alors d'un MPM positif descriptif susceptible de reproduire le comportement des agents, pour arriver à un MPM qui pourrait être considéré comme normatif, au service de l'analyse de l'impact de divers scénarios de politiques.

En effet, ce type de modèle va nous permettre de prédire les conséquences de différentes politiques en fonction des instruments mis en place et face à différentes perceptions du risque, en analysant les effets de changement dans l'environnement des exploitations sur leurs choix. L'intérêt de son utilisation en tant qu'outil d'aide à la décision en politique agricole est alors important (Jacquet, 2000).

2. Les limites

Face à tous ces avantages soulignés dans la section antérieure, il faudra tenir aussi compte de certaines limitations du modèle étant donné qu'elles peuvent servir de point de repère de recherches futures.

Quelques limitations sont propres aux approches sélectionnées, quelques autres dérivent de la contrainte de temps et de la simplification exigée dans l'élaboration de ce travail. Elles sont détaillées ci-dessous :

- ❑ Limite propre de la modélisation. Un modèle est une simplification de la réalité et pourtant il n'est pas capable d'incorporer toutes les contraintes et toutes les données pour représenter l'ensemble des choix de l'agriculteur.
- ❑ Des limites dérivées de la construction du modèle. Il n'y a pas de contraintes financières ou de trésorerie. En ce qui concerne le capital d'exploitation, on considère que l'agriculteur utilise les réserves financières des dernières années. Il n'y a pas non plus d'investissements dans des équipes d'irrigation car on considère une période maximum de deux années.
- ❑ On travaille avec des exploitations virtuelles et pas réelles. Néanmoins, les modèles construits à partir des exploitations virtuelles s'adaptent plus facilement au travail de modélisation utilisé pour l'analyse de politiques.
- ❑ L'agrégation à partir d'exploitations représentatives jusqu'au niveau régional ou sectoriel entraîne inévitablement des erreurs, étant donné qu'en réalité toutes les exploitations ne sont pas identiques (Hazell et Norton, 1986).
- ❑ Notre modèle ne tient pas compte des effets rétroactifs. Notamment les prix des inputs et des outputs sont exogènes.
- ❑ Dans les modèles statiques, les individus sont myopes, c'est-à-dire que l'agriculteur ne tient pas compte des conséquences pour l'avenir lorsqu'il prend ses décisions.

3. La formulation du modèle

A. Les variables de décision

En général, un agriculteur ne se résigne pas à choisir uniquement les cultures à produire. En réalité, il choisit aussi les techniques de production, les systèmes d'irrigation, etc. Dans ces conditions, nous avons identifié les activités de production (vecteur $X_{c,k,r,i,f}$) comme les variables de décision. Elles représentent la surface définie pour une culture « c » donnée dans un type de sol « k », avec une technique de production « r », avec une consommation d'eau de type « i », dans l'exploitation « f ».

La liste de cultures « c » est l'ensemble *BA* (*barley*-orge), le *WH* (*wheat*-blé), le *MA* (*maize*-maïs), le *SU* (*sunflower*-tournesol), le *SG* (*sugarbeet*-betterave), le *PE* (*pea*-petit pois), le *PO* (*potato*-pomme de terre), le *ME* (*melon*-melon), le *PP* (*pepper*-poivron), le *GA* (*garlic*-ail), le *VI* (*vineyard*-vigne), la *SR* (*setaside rainfed*-jachère de terres non irriguées) et la *SI* (*setaside irrigation*-jachère de terres irriguées). De plus, nous avons spécifié un *sub-set* « *COP* » qui regroupe les céréales, oléagineux et protéagineux et qui va nous aider à définir quelques contraintes politiques.

D'ailleurs, nous avons différencié deux types de sol. D'un côté, le sol « $k1$ » de bonne qualité (sol profond, disposant d'un complexe argilo-humique important), qui correspond aux types de sol « *alfisol* et *entisol*¹⁸ » ; et d'un autre côté, le sol « $k2$ » de mauvaise qualité (sol superficiel, érodé en haut de coteaux), qui correspond au type de sol « *inceptisol*¹⁹ ».

Par rapport aux techniques d'irrigation (« r »), nous avons sélectionné cinq techniques : la culture en sec (« *rf* »-*rainfed*) et l'irrigation avec différents systèmes, « *sp1* » qui correspond à la technique « *sprinkler 1* » ou système d'aspersion avec une technique de production extensive ; « *sp2* », cela veut dire

¹⁸ Classification USDA, 1987.

¹⁹ Classification USDA, 1987 (De Juan Valero JA. *et al.*, 2003).

« *sprinkler 2* » ou système d'aspersion avec une technique de production plus intensive²⁰ ; « *dr1* », qui correspond à la technique « *drip1* » ou système de goutte-à-goutte avec une technique de production extensive, et « *dr2* », qui correspond à la technique « *drip2* » ou système de goutte-à-goutte avec une technique de production intensive²¹.

D'autre part, l'indice « *i* » fait référence à l'état administratif de l'eau utilisée, autrement dit, il nous permet de différencier si l'eau est consommée légalement « *le* » ou illégalement « *il* ». Cette différenciation est extrêmement importante dans les exploitations « *f1* » et « *f2* » définies comme « *mixtes* », où une partie de l'eau est extraite légalement à partir des puits enregistrés publiquement et une autre partie est pompée de façon illégale à partir des puits non catalogués.

Par conséquent, pour chaque exploitation-type (agrégé) « *f* » (« *f1* », « *f2* », « *f3* » et « *f4* »), les agriculteurs peuvent faire les choix suivants (voir tableau 17).

Par rapport aux variables temporelles, nous avons introduit un paramètre « *p* » qui fait référence aux périodes de production tout au long d'une année : « *p1* », l'hiver (entre les mois de d'octobre-mars) et « *p2* », l'été (entre les mois d'avril-septembre). Ce paramètre est très important pour définir les besoins et les disponibilités de main-d'oeuvre dans le modèle.

B. La fonction objectif

La fonction d'objectif du modèle agrégé consiste à maximiser l'utilité espérée régionale obtenue par agrégation des utilités espérées des exploitations-types tout en gardant la spécificité des contraintes individuelles.

Le premier membre de la fonction est égal au revenu moyen espéré, et le deuxième correspond à l'écart type des revenus aléatoires obtenus pour les différents états de la nature. Ils seront détaillés plus tard.

La formulation de la fonction d'objectif est spécifiée dans l'équation suivante.

Equation 1: fonction objectif

$$MaxU = \sum_f (Z_f - \phi \cdot \sigma_f) \quad (1)$$

Où :

U , est l'utilité espérée.

Z_f , est le revenu moyen espéré (en comptabilité agricole) de l'exploitation f .

ϕ , est le coefficient d'aversion au risque.

σ_f , est l'écart type des revenus aléatoires dans une exploitation f .

²⁰ Cela veut dire tout simplement que la technique d'irrigation *sp2* consomme moins d'eau que la technique d'irrigation *sp1*.

²¹ Cette technique s'applique seulement à la culture de la vigne, souvent irriguée intensivement de façon illégale.

Tableau 17. Combinaisons possibles des activités de production.

Cultures	Sols	Technique de production				
		Non irrigation	Aspersion-Extensive	Aspersion Intensive	Goutte-à-goutte. Ext	Goutte-à-goutte. Int
Orge	Bon	OUI	OUI	OUI	-	-
	Mauvais	OUI	OUI	OUI	-	-
Blé	Bon	OUI	OUI	OUI	-	-
	Mauvais	OUI	OUI	OUI	-	-
Maïs	Bon	-	OUI	OUI	-	-
	Mauvais	-	OUI	OUI	-	-
Betterave	Bon	OUI	OUI	OUI	-	-
	Mauvais	OUI	OUI	OUI	-	-
Tournesol	Bon	-	OUI	OUI	-	-
	Mauvais	-	OUI	OUI	-	-
Petit Pois	Bon	OUI	-	-	-	-
	Mauvais	OUI	-	-	-	-
Pomme de terre	Bon	-	-	OUI	-	-
	Mauvais	-	-	OUI	-	-
Melon	Bon	-	-	-	OUI	-
	Mauvais	-	-	-	OUI	-
Poivron	Bon	-	-	-	OUI	-
	Mauvais	-	-	-	OUI	-
Ail	Bon	-	-	OUI	-	-
	Mauvais	-	-	OUI	-	-
Vigne	Bon	OUI	-	-	OUI	OUI
	Mauvais	OUI	-	-	OUI	-
Jachère-Terres non irriguées	Bon	OUI	-	-	-	-
	Mauvais	OUI	-	-	-	-
Jachère-Terres irriguées	Bon	-	OUI	-	-	-
	Mauvais	-	OUI	-	-	-
Consommation d'eau		-	Légale / Illégale			

▪ **La fonction du revenu**

La fonction de revenu du producteur est définie comme étant :

Equation 2: fonction du revenu

$$\begin{aligned}
 Z_f = & \sum_c \sum_k \sum_r \sum_i gm_{c,k,r} \cdot X_{c,k,r,i,f} + md \cdot cp \cdot \sum_c \sum_k \sum_r \sum_i sb_{c,k,r} \cdot X_{c,k,r,i,f} \\
 & + (sfp_{ST_f} + sfp_{COP_f} \cdot decp) \cdot md \cdot numf_f - co \cdot \sum_p lfa_{p,f} - wa \cdot \sum_p lhi_{p,f} \\
 & - \sum_i tpc_{i,f} - \sum_i sirrg_{i,f} \cdot wtarif_i - \sum_i well_{i,f} \cdot wellt_i
 \end{aligned} \tag{2}$$

$gm_{c,k,r}$ est le marge brute²² de la culture c , dans un type de sol k et avec la technique de production r .

²² La marge brute définie comme le résultat de multiplier les rendements, pour les prix et de rester les coûts variables.

$X_{c,k,r,f}$, est la surface définie pour une culture « c », dans un type de sol « k », avec une technique de production « r », une consommation d'eau « i », dans l'exploitation « f ».

md , est le pourcentage de modulation des aides pour l'année 2006 (4%) (García *et al.*, 2006).

cp , est le degré de couplage, égal à 0,25. L'Espagne a choisi un système de découplage partiel : 25% des aides sont encore couplées, 75% sont découplées (García *et al.*, 2006).

$sb_{c,k,r}$, est le montant des aides de la campagne précédente (2005) par activité c , sol k , et technique r , qui restera couplé à la production.

sfp_{STf} , est le droit à paiement unique de jachère perçu par l'exploitation f en 2006 (niveau d'aides qui fait la moyenne des aides de type jachère reçues entre années 2000/02). Cette aide est totalement découplée du niveau de production.

sfp_{COPf} , est le droit à paiement unique de cultures COP perçu par l'exploitation f en 2006 (niveau d'aides qui fait la moyenne des aides de type COP reçues entre années 2000/02). Cette aide est découplée dans un 75% du niveau de production.

dec_p , est le degré de découplage, égal à 0,75.

num_f , est le nombre des exploitations du type f .

co , est le coût d'opportunité de la main-d'oeuvre familiale.

lfa_{pf} , est la quantité d'heures de main-d'oeuvre familiale employée dans la période p et dans l'exploitation f .

wa , est le coût de la main-d'oeuvre contractée ou salaire moyen.

lhi_{pf} , est la quantité d'heures de main-d'oeuvre embauchée dans la période p et dans l'exploitation f .

$tpc_{i,f}$, est le coût total du pompage de l'eau, lorsque la consommation d'eau est « i », dans l'exploitation f .

$sirrg_{i,f}$, est la surface irriguée de type « i », dans l'exploitation f .

$wtarif_i$, est le montant en €/surface irriguée payé à la Communauté d'Irrigants, en fonction du caractère « i » de l'eau utilisée. Lorsque l'eau utilisée est illégale, ce tarif est zéro.

$well_{i,f}$, est le nombre de puits enregistrés de type « i », dans l'exploitation f .

$wellt_i$, est le montant en €/puits payé à la Communauté d'Irrigants selon le caractère « i » des puits disposés. Si les puits sont illégaux, le montant payé est zéro.

vin_i , est la surface de nouvelle vigne de type « i ».

pr , est l'annuité de l'investissement en nouvelle vigne (€/ha). L'annuité est celle d'un prêt à long terme (20 ans), constante, sans carences, avec un type d'intérêt du 4%.

$vin2$, est la surface de vigne arrachée de type « i ».

$pr2$, est le coût produit en euros pour arracher un hectare de vigne.

▪ **La prise en compte du risque**

Il y a deux sources du risque dans le modèle. D'une part, le risque agronomique, représenté par la variabilité des rendements du fait des aléas climatiques, et d'autre part, le risque économique, représenté par les variations des prix des produits²³. Les deux sources de variation ont été représentées comme valeurs en pourcentage sous l'hypothèse qu'il n'y a pas de covariance entre la variabilité des rendements et la variabilité des prix, car les marchés locaux ne sont pas très importants dans la zone d'étude.

L'équation qui représente l'écart-type et qui a été introduite dans la fonction d'objectif est la suivante.

Equation 3: écart-type

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{\left(\sum_{sn} \sum_{sm} Z_{sn,sm,f} - Z_f \right)^2}{N}} \quad (3)$$

Etant,

$Z_{sn,sm,f}$ revenu aléatoire pour chaque exploitation f , en fonction des états de la nature sn , et des états du marché sm .

Z_f est le revenu moyen espéré (en comptabilité agricole) de l'exploitation f .

²³ On considère qu'il existe aussi une incertitude sur la disponibilité des ressources hydriques mais elle est prise en compte à travers de la variabilité des rendements.

$N= 100$, car il y a 10 états de la nature et 10 états du marché qui représentent la variabilité agronomique et économique respectivement. La variabilité de prix a été obtenue à partir d'une analyse statistique du comportement du marché dans ces dernières années. La variabilité de rendements a été obtenue à la fois d'une analyse statistique et de l'appréciation subjective des agriculteurs.

C. Les contraintes

▪ Les contraintes de surface

La contrainte la plus importante de surface exprime que l'addition des surfaces occupées ne peut pas excéder la surface disponible $surf$ par exploitation f et par type de sol k (équation 4).

Equation 4: occupation de la terre

$$\sum_c \sum_r \sum_i X_{c,k,r,i,f} \leq surf_{k,f} \quad (4)$$

De plus, nous avons introduit une deuxième contrainte pour laquelle l'addition des surfaces cultivées avec une technique irriguée ne peut pas excéder la surface taxée comme irriguée $sirrig$ de type i , dans l'exploitation f (équation 5).

Equation 5: surface irriguée

$$\sum_c \sum_k \sum_{ri} X_{c,k,ri,i,f} \leq sirrig_{i,f} \quad (5)$$

En dernier lieu et afin de permettre au modèle de mieux représenter la réalité en lui donnant plus de degré de libertés, nous avons introduit une dernière information qui lui dit que la surface cultivée de vigne $surfvi$ peut être augmentée (vin) ou diminuée ($vin2$) pour chaque exploitation f , en utilisant l'eau de façon légale ou illégale (i) (équation 6). La vigne est une culture fondamentale dans la région, c'est pourquoi on fait une mention spéciale pour cette culture.

A l'heure actuelle, il existe des droits de plantations régulés pour la Politique Agricole Commune et assignés pour chaque état membre. En général, ces droits de plantations sont assez difficiles à déplacer et à accroître surtout à court terme. Néanmoins, dans le cas du bassin supérieur du Guadiana, une nouvelle ligne d'aides à la restructuration de la culture de la vigne a été mise en place ces dernières années. Au total, 74.612 hectares²⁴, dont 45% ont déjà été instaurés et pour les 55% qui reste (≈ 41.000 has) on prévoit qu'ils seront implantés dans les années prochaines. Dans ce contexte, nous avons considéré que la surface de la vigne peut être volontairement augmentée, en assumant un coût d'investissement, et nous avons fixé aussi une limite à cette augmentation. L'aquifère de la Mancha Occidentale représente à peu près 80% du bassin supérieur du Guadiana, c'est pourquoi nous avons considéré une limite totale de 32 000 has ($maxvin$).

D'ailleurs, nous avons considéré la vigne comme une culture en pleine production. Cette hypothèse fait que l'agriculteur qui veut arracher sa production de vigne puisse aussi le faire, mais en assumant les coûts de démantèlement de la structure en place.

Equation 6 : surface de vigne

$$\sum_{vi} \sum_k \sum_r X_{vi,k,r,i,f} = surfvi_{i,f} + vin_{i,f} - vin2_{i,f} \quad (6)$$

$$\sum_i \sum_f vin_{i,f} \leq \max vin$$

²⁴ 77% est destiné à l'implantation de la vigne irriguée en espalier.

▪ **Les contraintes de travail**

Pour chaque exploitation f , les besoins en main-d'oeuvre lr du culture c , avec la technique de production r , dans le période p , doivent être pourvus avec la main-d'oeuvre familiale disponible (entre lfa et $lafa$) et la main-d'oeuvre embauchée dans le marché lhi , dans chaque période p .

Equation 7: main-d'oeuvre

$$\sum_c \sum_k \sum_r \sum_i lr_{c,r,p} \cdot X_{c,k,r,i,f} = lfa_{p,f} + lhi_{p,f} \quad (7)$$

$$lfa_{p,f} \leq lafa_{p,f}$$

▪ **Les contraintes d'eau**

Ces contraintes empêchent la quantité d'eau utilisée (légale et illégale) par chaque exploitation $wc_{i,f}$, fonction des besoins des cultures en eau $wr_{c,k,r}$, de dépasser le seuil établi $watera_{i,f}$ (équation 8).

La disponibilité en eau « légale » pour chaque exploitation est déterminée par le Régime d'Exploitation de l'année en cours 2006, au total entre 200-214 Hm³ (twc_{le}).

La disponibilité en eau « illégale », elle est aussi bornée mais sous un angle technique-économique, non politique.

Nous avons fait l'hypothèse que la capacité d'extraction des puits illégaux est supérieure à celle des puits légaux mais pas infinis car les coûts d'extractions augmentent plus que proportionnellement au fur et à mesure que la consommation d'eau s'accroît et que la nappe de l'aquifère baisse (équation 9).

Une limite raisonnable a été établie pour une consommation de 4000 m³/ha, c'est-à-dire 208 Hm³ (twc_{il}).

Equation 8: disponibilité d'eau

Individuelle :
$$\sum_c \sum_k \sum_r \sum_i wr_{c,k,r} \cdot X_{c,k,r,i,f} = wc_{i,f} \quad ; \quad wc_{i,f} \leq watera_{i,f} \quad (8)$$

Globale :
$$\sum_f wc_{i,f} \leq twc_i$$

Equation 9: coût d'extraction

$$tpc_{i,f} = \alpha_i \cdot (wc_{i,f})^2 + \beta_i \cdot wc_{i,f} + \delta_i \quad (9)$$

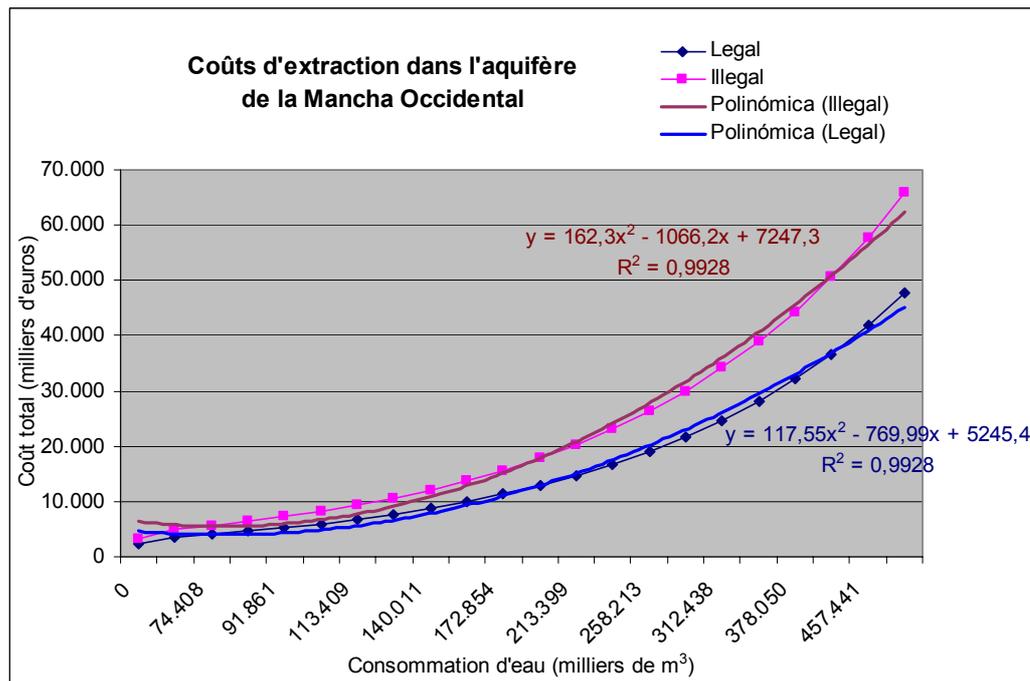
Cette fonction quadratique de coûts d'extraction a été déduite économétriquement à partir des données expérimentales récoltées sur le terrain. α_i , β_i , δ_i , sont les coefficients du polynôme qui ajustent au mieux la fonction de coût d'extraction au niveau agrégé, lorsque l'origine de l'eau est « légale » ou « illégale ».

Elle intègre les coûts variables et les coûts fixes d'extraction. Nous pouvons remarqué dans la figure 4, que les coûts d'extraction sont notamment plus élevés chez les illégaux que chez les légaux.

En effet, les coûts d'extraction dérivés des puits illégaux sont supérieurs parce que les équipements utilisés sont plus puissants pour pomper plus d'eau et en plus, le nombre de puits illégaux par hectare est quatre fois plus élevé que les légaux.

Or chaque puits a un coût fixe important.

Figure 4. La fonction de coûts d'extraction.



▪ **Les contraintes de la PAC**

Cette contrainte exprime l'obligation de respecter un pourcentage minimum et maximum de gel de terres (*setm*, 10% et *setmx*, 30%) de la superficie COP de chaque exploitation *f* (équation 10).

Equation 10: gel de terres

$$\sum_k \sum_r \sum_i X_{set,k,r,i,f} \geq setm \cdot \sum_{cop} \sum_k \sum_r \sum_i X_{cop,k,r,i,f}$$

$$\sum_k \sum_r \sum_i X_{set,k,r,i,f} \leq setmx \cdot \sum_{cop} \sum_k \sum_r \sum_i X_{cop,k,r,i,f} \tag{10}$$

4. La calibration et la validation du modèle

La construction d'un modèle de programmation mathématique pour l'analyse de politiques agricoles exige de vérifier que le modèle reproduit les choix initiaux de production de l'exploitation agricole (Jacquet, 2000).

En théorie, une spécification correcte de la fonction d'objectif et de l'ensemble de contraintes doit suffire pour représenter correctement le fonctionnement de l'exploitation. Or, la réalité montre que dans la plupart des cas, cela ne suffit pas, c'est pourquoi il faut tout d'abord calibrer le modèle et le valider ensuite.

Le calibrage

Le calibrage consiste à déterminer les paramètres ou coefficients du modèle de manière à reproduire la situation réelle du système étudié.

Différentes méthodes sont utilisées pour le calibrage des modèles (introduction de contraintes supplémentaires, la programmation mathématique positive, etc.). Dans notre cas, nous avons calibré le modèle en intégrant le risque dans une approche espérance-écart type où nous avons incorporé le paramètre de l'aversion au risque (« phi »). Cet élément représente un paramètre résiduel qui englobe tout ce qu'il y a d'inexplicable dans la différence entre le modèle et la réalité, telles que les caractéristiques psychologiques des agriculteurs. Par conséquent, bien spécifié, le coefficient d'aversion au risque permet mieux adapter le fonctionnement du modèle à la réalité.

Le coefficient d'aversion au risque (« phi ») qui a été retenu pour toutes les exploitations du réseau a été de 1,65. Cette valeur est celle qui donne des valeurs les plus proches de la réalité et de plus elle reste dans les normes admissibles, c'est-à-dire dans l'ordre de grandeur observé pour des modèles comparables (Scandizzo, 1978, Hazell et Norton, 1986, ou plus récemment Flichman, 1995).

La validation

La validation consiste à confronter l'ensemble des résultats du modèle à ceux réellement obtenus pour d'autres années de référence. Si le modèle reproduit le comportement des acteurs en concordance au comportement des agriculteurs dans la réalité, alors nous pourrions dire que le modèle est validé.

Dans notre cas, nous comparerons les résultats de la simulation pour l'année de base 2006 obtenus par le modèle) à ceux réellement observés avec les études de terrains effectuées. De plus, les critères utilisés seront l'assolement et les valeurs duales de la terre et du travail.

▪ La validation par rapport à l'assolement

Pour faire la validation par rapport à l'assolement, nous avons calculé le pourcentage de déviation absolue moyenne (PAD)²⁵ pour chaque exploitation sélectionnée.

Nous avons considéré que le modèle est robuste si le PAD ne dépasse pas 20%. Ce seuil reste subjectif car dans la littérature il n'existe ni valeur « de référence » ni consensus sur la méthode statistique à adopter pour évaluer la qualité d'un modèle. Pour les modèles sectoriels, Hazell et Norton ont suggéré, par exemple, qu'un pourcentage de déviation absolue (PAD) pour la production et la surface cultivée au dessous de 10% est bon, inférieur ou égal à 5% est exceptionnel et plus de 15% indique que le modèle nécessite une amélioration avant d'être utilisé pour effectuer des simulations (Hazell et Norton, 1986).

Dans le tableau suivant, on montre les différences entre l'assolement simulé et observé dans chaque exploitation et par groupes de cultures, de même que la valeur du paramètre PAD.

Tableau 18. Comparaison de l'assolement simulé avec l'assolement réel.

Groupes de cultures	Différences entre l'assolement simulé et l'observé			
	Expl. 1	Expl. 2	Expl. 3	Expl. 4
Céréales en sec (orge, blé)	+ 1,22	+ 1,31	- 0,80	+ 4,00
Céréales irriguées (orge, blé)	+ 3,72	- 1,75	+ 7,20	+ 3,97
Maïs	-	+ 0,45	- 1,20	+ 0,03
Cultures maraîchères (pomme de terre, poivron, melon, ail)	+ 1,18	-	-	-
Vigne irriguée	-	-	-	-
Jachère	- 6,12	-	- 5,20	- 8,00
PAD (somme absolue des différences)	12,24	3,51	14,40	16,00

$$^{25} PAD(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{X}_i - X_i|}{\sum_{i=1}^n \bar{X}_i} \cdot 100; \bar{X}_i : \text{niveau observé}; X_i : \text{niveau simulé}$$

On peut observer que les variations les plus importantes se produisent dans l'exploitation de type 4, notamment à cause de la jachère. Un pourcentage important des déviations dans le reste des exploitations est dû aussi à cette « culture ». Le modèle construit simule un niveau de surface lié à la jachère, inférieur à ce qu'on observe dans la réalité. Cela peut être expliqué parce que la jachère est normalement produite dans les terrains les plus mauvais et accidentés. Notre modèle reflète seulement une surface homogène et du coup sous-estime ces types de terrains. En général, on peut observer un transfert de la surface en jachère non cultivé vers les céréales irriguées, tels que l'orge ou le blé.

La déviation absolue moyenne entre les assolements simulés et observés calculée par exploitation est de : exploitation type 1 = 12,24 ; exploitation type 2 = 3,51 ; exploitation type 3 = 14,4 ; exploitation type 4 = 16. Ces valeurs sont inférieures au seuil de 20% que nous avons fixé pour juger la robustesse du modèle. Le modèle est alors considéré d'une qualité acceptable puisqu'il conduit à des plans de production de bases voisins de ceux effectivement réalisées.

▪ *La validation par rapport aux valeurs duales de la terre et du travail*

Une autre façon de vérifier que le modèle construit reproduit correctement la réalité est de faire la comparaison des valeurs duales de la terre et du travail, obtenus dans les simulations avec les données réelles du marché de la terre et du travail.

Les valeurs duales peuvent être observées à travers la valeur marginale des équations de la terre (pondérée par type de sol) et du travail qui montrent l'augmentation de l'utilité des agriculteurs lorsqu'ils disposent d'un hectare en plus de terre ou d'heure par période en plus du travail. Elles sont représentées dans le tableau 19.

Tableau 19. Les valeurs duales de la terre et du travail.

	Expl. 1	Expl. 2	Expl. 3	Expl. 4
Loyer terre (€/ha)	829,851	886,194	481,002	248,211
Travail (€/h)				
Eté (p2)	3	3	3	3

A partir des données obtenues du travail du terrain, nous avons observé que le prix de loyer de la terre non irriguée est très bas. Il peut varier de 0 jusqu'à 100€/ha maximum. Nous avons considéré un niveau moyen de 50 €/ha.

En revanche, le prix de la terre irriguée est très élevé et plus variable. Les données récoltées montrent que le prix de la terre irriguée diffère énormément en fonction du nombre des puits déclarés qu'il y a sur la terre en question. En réalité, une terre irriguée sans des droits reconnus est beaucoup moins valorisée qu'une terre en règle. Cette différence est très importante lorsque nous parlons de prix d'achat mais reste en second plan lorsque nous nous référons au loyer de la terre irriguée. Le loyer d'une terre irriguée peut varier de 450-1.200 €/ha. La valeur la plus répétée dans nos enquête est celle de 900 €/ha, c'est pourquoi nous considérons ce prix comme le prix de référence. Dans ce cas, nous observons que le loyer de la terre irriguée est dix-huit fois plus élevé que le loyer de la terre non irriguée.

Les valeurs marginales de la terre obtenus dans le modèle sont tout à fait dans la ligne de ce qui montrent les enquêtes. De cette façon, les exploitations 1 et 2, 100% irrigués, expriment une valeur marginale entre 830-886 €/ha, très proche du prix de loyer sélectionné. L'exploitation 3 présente 80% de la surface irriguée et 20% de la surface non irriguée, ce qui fait une valeur marginale pondérée de 730 €/ha. L'exploitation 4 avec 50% de la surface irriguée et 50% de la surface non irriguée, présente une valeur marginale pondérée de 475 €/ha. En résumé, les valeurs marginales de la terre des exploitations 3 et 4 sont un peu plus basses ce que montrent les enquêtes. Le modèle ne reflète pas, dans ce cas-là, la valeur réelle des terres qui ont associées des droits d'eau légaux.

Par rapport au salaire, nous avons remarqué que le prix d'embauche oscille entre 6-7 €/h. Etant donné un prix de 4 €/h pour la main-d'oeuvre familiale, la valeur marginale du salaire sera la différence entre eux.

Dans ce cas-là, la valeur marginale du travail pour la période 2 (été) reflète une valeur de 3 €/h, différence d'un prix d'embauche de 7€/ha et un coût d'opportunité de la main-d'oeuvre familiale de 4€/h.

V. Scénarios et politiques simulées

Dans le but d'atteindre l'objectif fixé dans la Convention de Ramsar (1971), de conserver les plus importantes zones humides à l'échelle mondiale (parmi elles, celles situées sur l'aquifère de la Mancha Occidentale), le gouvernement espagnol a mis en place différentes politiques, les unes avec plus de succès que les autres.

Nous avons analysé théoriquement dans les parties précédentes (première et deuxième partie) les principaux instruments actuellement mis en place : le système de quotas (« Régime d'Exploitation ») et de paiements compensatoires.

Maintenant, nous étudierons empiriquement les outils mobilisés et d'autres instruments de gestion proposés²⁶ pour aboutir à notre objectif spécifique : « *réduire la consommation d'eau agricole au niveau du taux de renouvellement de l'aquifère afin de récupérer l'aquifère et les zones humides de la Mancha Occidentale* ».

- **Scénario de référence**

Notre point de départ (scénario de référence), reflète la situation actuelle (année 2006), dans laquelle les extractions agricoles totales dépassent largement le taux de renouvellement de l'aquifère, du fait que les exploitations avec des puits légaux extraient plus que ce qui est autorisé dans le Régime d'Exploitation 2006, et que de nombreux puits illégaux (sans aucun contrôle) coexistent sur le même territoire. Ce scénario correspond au modèle spécifié dans la section précédente (voir 4.3. la formulation du modèle).

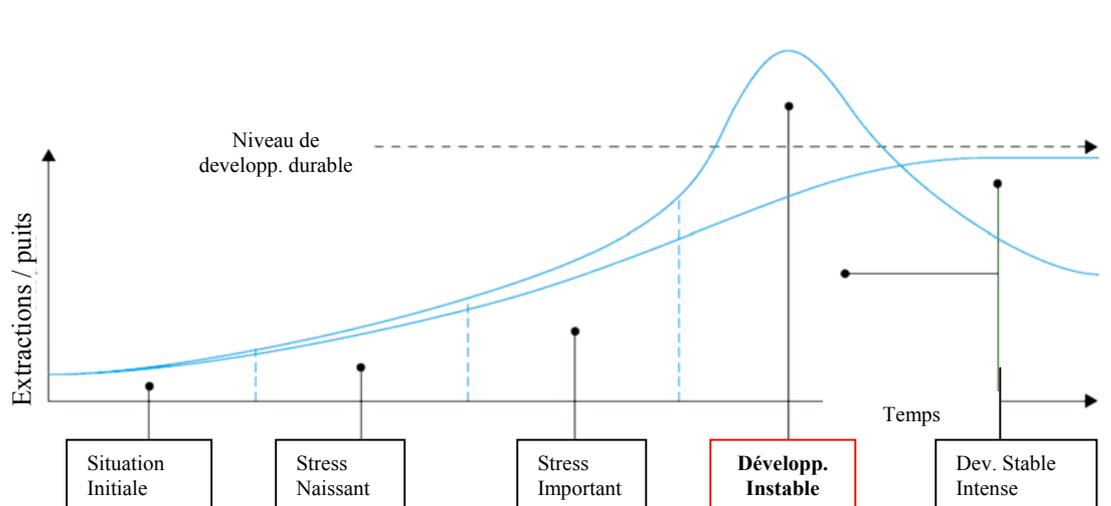
D'une part, il va nous aider à comprendre la situation de conflit entre les légaux et les illégaux. D'autre part, il va nous servir de point de repère pour faire l'analyse entre les différents instruments de politiques proposées par la suite.

Pour savoir en quel état on y est exactement et avoir une idée des lignes de gestion qui sont recommandées dans ce genre de situation, nous nous sommes inspirés du travail de Tuinhof *et al.* (2003). D'après cet auteur, il est nécessaire d'établir différents mécanismes de gestion en fonction de l'état de développement des eaux souterraines. Il distingue divers niveaux de développement et montre les modèles de gestion à appliquer en chaque état du développement.

La figure 5 montre les étapes du développement d'un aquifère d'après Tuinhof.

²⁶ On rappelle au lecteur que ce travail n'explore pas le mécanisme de paiements compensatoires (pour cela, consulter le travail de Varela *et al.*, 2003), car le nombre d'hectares qui bénéficient actuellement de ce système est très bas et on n'envisage pas qu'il soit renouvelé.

Figure 5. Etapes du développement d'un aquifère important.



Source : Tuinhof *et al.* (2003)

D'après Tuinhof, un aquifère avec développement instable présente « une extraction abusive incontrôlée, avec une détérioration irréversible de l'aquifère et des conflits importants entre les usagers », ce qui correspond tout à fait à la situation actuelle de l'aquifère de la Mancha Occidentale. Pour cette étape du développement, les recommandations sont :

- établir avec urgence un cadre régulateur approprié
- mettre en place des politiques de gestion de la demande ou faire recours à la recharge artificielle.

En suivant ces recommandations, nous avons groupé nos stratégies en deux groupes, le premier englobe les instruments mobilisés pour établir une régulation des extractions effective et le deuxième groupe les mécanismes de gestion de demande les plus utilisés.

• **Premier groupe de scénarios simulés**

Dans ce premier groupe, nous avons rassemblé différents outils de gestion pour aboutir à un objectif intermédiaire, celui du contrôle des extractions (voir tableau 20).

Tableau 20. Scénarios simulés face à l'objectif intermédiaire du contrôle des extractions.

Obj. intermédiaire	Contrôle des extractions agricoles		
	Légales	Illégales	
Types d'extraction			
Option de politique	-	Fermeture de puits	Légalisation de puits
Outil de politique	Quotas (« Régime d'Exploitation »)	Sanction « négative » : Amende et fermeture	Sanction « positive » : Paiement d'un droit d'entrée, acquisition de droits
Scénarios simulés			
Scénario 1	X	-	-
Scénario 2	X	X	-
Scénario 3	X	-	X

Pour effectuer un contrôle effectif des extractions légales, nous avons considéré primordialement le respect du Régime d'exploitation 2006, établi par le Bassin Versant du Guadiana. D'ailleurs, cette question prouve le consensus généralisé de toutes les parties intéressées.

Cet outil de gestion a été simulé, en introduisant le système de quotas établi par la Loi (CHG, 2005c). La disponibilité d'eau de chaque exploitation est alors limitée par le volume assigné en fonction de sa taille. En accord avec le système de stratification établi (voir point 4.1 de la deuxième partie), la quantité maximale à consommer pour les exploitations sélectionnées est la suivante :

- Exploitation 1 → 2.220 m³/ha. Volume total attribué = 87,268 Hm³
- Exploitation 2 → 1.500 m³/ha. Volume total attribué = 29,008 Hm³
- Exploitation 3 → 1.600 m³/ha. Volume total attribué = 49,721 Hm³
- Exploitation 4 → 1.000 m³/ha. Volume total attribué = 38,371 Hm³

La consommation totale au niveau de l'aquifère est pourtant limitée à 204,358 Hm³, ce qui correspond à la limite totale assignée par le Régime d'Exploitation : 200 Hm³ en conditions normales, et jusqu'à 214 Hm³ si l'année hydrologique en cours est une année sèche (CHG, 2005c ; CHG, 2007).

Au contraire, le contrôle des extractions illégales est d'une question ardue dans le débat actuel politique espagnol. Il faut prendre des décisions drastiques : fermer les puits (à la demande notamment des écologistes), ce qui soulève un problème important d'acceptation sociale et de faire valoir ; ou légaliser les captations illégales (à la demande notamment des agriculteurs), ce qui impliquerait une certaine acceptation de soulèvement social.

La fermeture de puits a été simulée facilement comme une non-disponibilité de l'eau extraite par les agriculteurs avec des puits illégaux. A l'opposé, la légalisation de puits a été représentée sous certaines conditions. Les exploitations avec des puits illégaux qui souhaitent devenir légaux, doivent :

1. payer un droit d'entrée de 6000 €/ha irrigué. Cette valeur reflète deux coûts essentiels, d'une part, le coût administratif payé par les légaux depuis sa création (année 1985) et d'autre part, le coût d'opportunité de l'eau extraite pendant 15 ans. Elle a été proposée par le gouvernement central dans un document de loi qui n'a pas été finalement adopté (CHG, 2004). Néanmoins, nous avons remarqué qu'elle continue à être le chiffre de référence pour toutes les parties intéressées. Du reste, nous avons aussi fait l'hypothèse que le droit d'entrée est amorti sur un horizon de 15 ans, donc le paiement réel annuel est de 400 €/ha.
2. payer à la Communauté d'Irrigant (CUAS) les redevances correspondants aux puits enregistrés (12 €/puits) et aux surfaces irriguées (3 €/ha)²⁷.

En résumé, les scénarios simulés sont les suivants :

- **1^{er} scénario.** Dans ce scénario, le Régime d'Exploitation est respecté. Les extractions illégales continuent sans contrôle.
- **2^{ème} scénario.** Le Régime d'Exploitation est respecté, et les puits illégaux sont fermés.
- **3^{ème} scénario.** Le Régime d'Exploitation est respecté, et les puits illégaux sont légalisés sous certaines conditions.

• **Deuxième groupe de scénarios simulés**

Le deuxième groupe de scénarios est construit, en supposant que le problème des extractions illégales a été résolu. L'option politique ici choisie, est celle de la légalisation des puits illégaux par le paiement d'un droit d'entrée. Une fois que les puits illégaux ont été légalisés, on suppose que toutes les extractions sont légales.

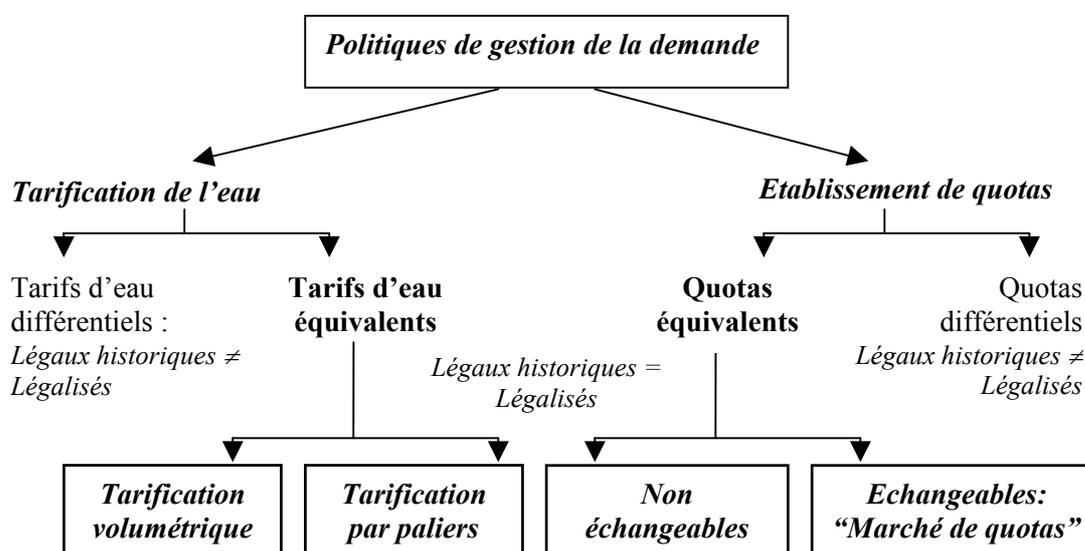
D'ailleurs, le Régime d'Exploitation a été supprimé, car il s'agit d'analyser comparativement l'impact de différents politiques de gestion qui agissent sur la demande de la ressource, et non d'analyser une combinaison simultanée de politiques publiques.

²⁷ Valeurs moyens obtenus des enquêtes réalisées.

Parmi les différents instruments de gestion de l'eau plausibles, nous avons choisi l'établissement d'une politique de tarification d'eau et l'implémentation d'un système de quotas (qui va dériver ultérieurement dans un marché de quotas et dans un potentiel banque d'eau). Ces politiques ont été introduites sous le même critère d'équivalence/égalité, c'est-à-dire que nous ne faisons pas la différence entre les légaux historiques et les illégaux légalisés. Nous faisons ici le point parce que cette question est très débattue actuellement entre les agriculteurs, lesquels considèrent que les illégaux légalisés ne doivent pas bénéficier des mêmes conditions que les légaux historiques. Nous avons considéré que ce problème a été totalement résolu avec la légalisation. Les illégaux ont dû déjà payer un droit d'entrée, donc nous avons fait l'hypothèse qu'ils ne seront pas pénalisés deux fois. Il convient de souligner, que parmi tous ces instruments, les marchés d'eau ressortent comme l'outil favori chez les agriculteurs. Ils ont été proposés comme une solution envisageable par plus de 50% des agriculteurs enquêtés.

Les différents scénarios simulés sont décrits rapidement ci-dessous. Le schéma III-3 résume les politiques de gestion de la demande d'eau simulées.

Schéma 6. Politiques de gestion de la demande simulées.



- **4^{ème} scénario : La tarification volumétrique uniforme.**

L'outil testé maintenant est la tarification volumétrique uniforme, laquelle peut être aussi considérée comme binômique car on maintient le tarif fixe par hectare irrigué de 3 €/ha. Nous avons ajouté au système tarifaire actuel (tarification forfaitaire à l'hectare) une structure tarifaire volumétrique de 0,021 €/m³ pour vingt niveaux de prix (P_1, P_2, \dots, P_{20}), où $P_1=0$ €/m³, et $P_{20}\approx 0,4$ €/m³.

- **5^{ème} scénario : La tarification volumétrique par paliers.**

Dans ce scénario, nous avons transformé le système actuel de tarification forfaitaire à l'hectare en un système de tarification binôme, cette fois par paliers. Nous avons ajouté à la partie fixe, trois parties variables (set de prix $t-t'$, équivalent a ceux de la tarification volumétrique uniforme), qui dépendent du volume d'eau consommé, modifiées progressivement, jusqu'à ce que la demande en eau d'irrigation ait atteint la limite requise. On a considéré 3 niveaux de réduction (33, 66 et 100%), le niveau de réduction de 100% correspond au niveau de consommation obtenu avec le dernier scénario avant de mettre en place une politique tarifaire (dans ce cas là, scénario 3). La structure de la tarification volumétrique par paliers est affichée dans le tableau 21.

Tableau 21. Structure de la tarification volumétrique par paliers.

Niveaux de réduction	Paliers de consommation	Set de prix	Niveau de prix				
			P_1	P_2	P_3	...	P_{20}
0-33%	0 - 112,6 Hm ³	t	0	0,007	0,014	...	0,133
33-66%	112,6 -225,3 Hm ³	t'	0	0,014	0,028	...	0,266
100%	225,3-341,3 Hm ³	t''	0	0,021	0,042	...	0,399

- 6^{ème} scénario : Le système de quotas

Le scénario suivant testé est un système de droits d'eau ou "quotas volume". Le quota global, établi par le taux de renouvellement naturel de l'aquifère (proche de 230 Hm³), est attribué individuellement aux agriculteurs à travers un système public de concessions non échangeables. La distribution du quota total en quotas individuels a été fait, tout simplement en pondérant le quota global par le nombre d'hectares occupées par chaque exploitation (critère de type "grandfathering")²⁸.

Le quota total a été fixé en 242 Hm³, valeur obtenue également avec les tarifications volumétriques uniformes et par paliers. Le quota attribuable à l'exploitation F1 est de 75,75 Hm³ (égal à 242 Hm³ fois 0,312), celui de l'exploitation F2 est de 73,86 Hm³ (égal à 242 Hm³ fois 0,305), pour l'exploitation F3 est de 42,53 Hm³ (égal à 242 Hm³ fois 0,171), et pour l'exploitation F4 es de 51,29 Hm³ (égal à 242 Hm³ fois 0,212).

- 7^{ème} scénario : Le marché d'eau

Le marché d'eau a été simulé à partir des quotas répartis dans la simulation précédente entre les exploitations F1, F2, F3 et F4. Dans cette simulation, les titulaires de droits sur l'eau sont autorisés à vendre/acheter des volumes d'eau pour un prix établi par l'offre et la demande.

Dans le modèle, on doit spécifier la règle fondamentale du marché, c'est-à-dire qu'au prix d'équilibre l'offre doit être égale à la demande, et en plus de la consommation totale d'eau, y compris que les quantités d'eau vendues/achetés ne dépassent pas la valeur de la recharge agricole.

Le prix d'échange a été choisi et fixé dans le modèle, entre les valeurs duales de l'eau les plus basses et les plus élevées, du modèle de quota précédent²⁹. N'importe quel prix situé entre la valeur de 0,20 €/m³ (valeur duale de l'eau la plus basse, correspondant à l'exploitation F4) et la valeur de 0,27 €/m³ (la valeur duale de l'eau la plus élevée, liée à l'exploitation F2) est un prix potentiel d'échange. Parmi cette fourchette de prix, nous avons exploré les prix réels d'échange, et nous avons choisi aléatoirement un prix d'échange de 0,238 €/m³. A ce niveau de prix, les exploitations F1, F3 et F4 vont se comporter comme des vendeurs car le prix de vente (ce qui vont obtenir) est supérieur à la valeur duale (le coût d'opportunité de la ressource, ce qu'ils sont prêts à payer pour obtenir une unité ou m³ en plus d'eau). Au contraire, l'exploitation F2 va se comporter comme un acheteur car elle va pouvoir acheter de l'eau à un prix qui est inférieur à ce qu'ils sont prêts à payer.

Cependant, il faut aussi tenir compte de l'existence des coûts de transaction dans l'échange. Nous avons supposé une valeur de 5% de coûts de transaction, qui devra être pourvue par le vendeur. En conséquence, le prix de 0,238 €/m³ va correspondre seulement à l'acheteur. Pour le vendeur, le prix est fixé à 0,226 €/m³.

²⁸ Coefficient de pondération des exploitations étudiées : F1 = 0,312 ; F2=0,305 ; F3=0,171 ; F4=0,212.

²⁹ Valeurs duales de l'eau: F1=0,2065 €/m³; F2=0,268 €/m³; F3=0,211 €/m³; F4=0,2 €/m³.

Quatrième partie

Discussion des résultats : évaluation des politiques publiques

I. Introduction

Dans cette partie, nous allons analyser l'ensemble des résultats qui ont été obtenus à partir du modèle utilisé. Étant donné le nombre élevé des simulations (4 exploitations-types, et 8 scénarios de simulation), les résultats sont présentés au niveau agrégé de l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Néanmoins, la totalité des résultats obtenus peut être consultée dans l'Annexe 3 du travail. Nous allons diviser la discussion des résultats en trois sections : une première section qui analyse de façon quantitative la problématique actuellement associée à l'aquifère de la Mancha Occidentale (présentée dans la première et deuxième partie) ; une deuxième section qui explore les mécanismes de contrôle des extractions illégales ; une troisième section où nous allons étudier les effets de l'application des différentes politiques de gestion de la demande : la tarification volumétrique et par paliers, le système de quotas et le marché d'eau.

Pour conclure, nous allons étudier l'impact de tous ces scénarios de politique de gestion de l'eau sous une approche coût-effectivité.

II. Analyse de la situation actuelle dans l'aquifère de la Mancha Occidentale

La première simulation (scénario de référence) a pour but de reproduire la situation actuelle de l'aquifère de la Mancha Occidentale. Cette situation reflète la classique illustration de la Tragédie des Communs, longuement illustrée dans la première section.

En bref, nous rappelons que cette approche théorique affirme que sans l'exclusivité dans l'usage et avec rivalité dans les consommations, un aquifère (bien commun) est condamné à la surexploitation ou à la dégradation.

En effet, nous allons montrer comment la conjoncture présente, dans laquelle les « illégaux » et les « légaux » cohabitent, implique une surexploitation de la ressource au-delà du taux de renouvellement de l'aquifère.

Néanmoins, cette surconsommation n'est pas due seulement à l'existence des extractions illégales. Les politiques de gestion actuellement mises en place dans l'aquifère de la Mancha Occidentale, notamment le système de quotas (« le Régime d'exploitation »), se révèlent inefficaces.

En effet, on avait déjà expliqué dans la deuxième partie que la mise en place de mécanismes de contrôle, tels que les compteurs volumétriques, sont très difficiles à mettre en place (très contestés) et sa révision très coûteuse, ce qui fait que la plupart de quotas imposés aux exploitations ne sont pas respectés.

Le tableau suivant montre le revenu privé, les recettes et les dépenses publiques, la consommation, les coûts, et la productivité de l'eau, dans l'ensemble de l'aquifère, pour l'année de référence (2006).

Tableau 22. La situation actuelle dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Indicateur	Scénario de référence : année 2006	
	Extractions légales	Extractions illégales
Revenu (milliers d'€)	144.345,65	
Revenu (€/ha)	634,49	
Recettes du gestionnaire (milliers d'€)	575,05	
Recettes du gestionnaire (€/ha)	2,53	
Dépenses publiques (milliers d'€) (*)	29.888,91	
Dépenses publiques (€/ha)	119,16	
Consommation d'eau (milliers m ³)	335.400,00	126.676,56
Consommation d'eau totale (milliers m ³)	462.076,56	
Consommation d'eau (milliers m ³ /ha)	2.611,20	2.393,95
Consommation d'eau moyenne (milliers m ³ /ha)	2.547,81	
Coûts d'eau (milliers €)	21.359,17	10.441,34
Coûts totaux d'eau (milliers €)	31.800,51	
Coûts d'eau (€/ha)	166,29	197,32
Coûts moyens d'eau (€/ha)	175,34	
Coûts d'eau (€/m ³)	0,064	0,082
Coûts moyens d'eau (€/m ³)	0,069	

(*) Les dépenses publiques font référence seulement aux paiements dérivés de la Politique Agricole Commun (le droit à paiement unique et les subventions directes encore 25% couplés).

Nous pouvons vérifier que la consommation d'eau pour cette année 2006 (462 Hm³), franchit largement le taux de renouvellement de l'aquifère fixé³⁰ à 230 Hm³, malgré le quota de 213 Hm³ imposé aux légaux en fonction du Régime d'Extraction en vigueur pour l'année en cours (CHG, 2005c).

La quantité d'eau consommée à l'heure actuelle double quasiment la quantité d'eau exigée par la contrainte environnementale. D'un côté, en raison des extractions « légales » qui dépassent de presque 122,4 Hm³ le quota imposé, d'autre part, du fait de l'existence des extractions illégales qui représentent une consommation non négligeable, 126 Hm³. Au total, 248,4 Hm³ sont consommés au-dessus du taux de renouvellement naturel de l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Le revenu privé moyen obtenu par hectare est de 634,49 €/ha et les coûts d'eau estimés sont 175,34 €/ha, ce qui représente 27,63% du revenu des agriculteurs. Les coûts d'eau pris en compte ici comprennent les redevances d'eau (taxe €/ha irrigué et €/puits), mais aussi les coûts d'extractions (€/m³) supportés individuellement par chaque agriculteur. Le tableau 22 représente la différence entre les coûts d'eau associés aux extractions légales et illégales, et montre qu'ils sont plus élevés dans le cas des illégaux. D'une part, les pompages illégaux ne payent aucun tarif en relation avec l'usage d'eau (tarification forfaitaire par hectare et tarification par puits), mais ils supportent des coûts d'extractions plus élevés, du fait de la composition des équipes de pompage et du nombre plus élevé de puits (consulter la partie précédente du travail, troisième partie, formulation du modèle).

Par rapport à l'équilibre budgétaire, on peut remarquer qu'il est négatif. Les recettes que l'organisme gestionnaire obtient grâce aux tarifs imposés à l'eau d'irrigation (2,53 €/ha), ne suffisent pas pour équilibrer les dépenses que le gouvernement effectue sous forme d'aides PAC (199,16 €/ha).

Les résultats par exploitation peuvent être consultés dans l'annexe 3 de ce travail. Une analyse détaillée de la situation actuelle par exploitation permet d'expliquer le conflit existant entre légales et illégales. L'exploitation 1 « mixte », caractérisée pour irriguer 30% de sa surface de façon illégale, obtient un revenu de 1.062,92 €/ha, le double que celui de l'exploitation type 3 avec 534,31€/ha et le triple de celui de l'exploitation 4 (390,82 €/ha), toutes les deux entièrement légales. La consommation d'eau par hectare

³⁰ Le taux global de renouvellement de l'aquifère est de 340-350 Hm³ (CHG, 2005b), mais nous nous référons ici seulement au taux de renouvellement par rapport aux extractions agricoles, établi dans l'année 2002 en 230 Hm³ (CHG 2005b, Martínez Santos 2007).

est aussi supérieure, 3.390,19 m³/ha, face aux 2.370,99 m³/ha et aux 2.371,61 m³/ha des exploitations types 3 et 4, respectivement.

L'exploitation type 2, elle est aussi « mixte », mais elle présente une consommation d'eau moins élevée (1.905 m³/ha) car elle est majoritairement occupée par la culture de la vigne, une culture pas trop exigeante en eau. La vigne irriguée est une culture qui reste néanmoins très rentable, c'est pourquoi le revenu de cette exploitation est de 603,93 €/ha, autrement dit plus élevé que celui des exploitations-types 3 et 4 « légales ». D'ailleurs, cette exploitation détient un nombre de puits illégaux et une surface illégale très élevés, ce qui fait que les recettes que l'organisme gestionnaire obtient de cette exploitation sont très faibles. Par contre, la vigne ne reçoit pas des aides PAC, du coup les dépenses publiques ne sont pas non plus très élevées.

III. Une première approche : le contrôle des extractions d'eau souterraine

1. Le contrôle des extractions légales : le « Régime d'Exploitation »

Le contrôle des extractions des eaux souterraines dans l'aquifère de la Mancha Occidentale, exige dans un premier terme le respect rigoureux du « Régime d'Exploitation » conçu par le Bassin Versant du Guadiana. Les « légaux », en étant identifiables, sont les plus facilement contrôlables. Ce système peut être identifié avec le mécanisme de quota-volume.

Le régime d'extractions de l'année 2006 (renouvelé encore pour cette année 2007), limite la consommation globale d'eau à 200-214 Hm³, et établit des quotas-volume individuels aux exploitations de l'aquifère de la Mancha Occidentale en fonction de leurs tailles (CHG, 2005c). Dans la partie précédente, nous avons calculé les quotas-volumes individuels attribués à chaque exploitation, de sorte que la consommation d'eau de l'exploitation type 1 soit limitée à 2.220 m³/ha ; 1.500 m³/ha pour l'exploitation type 2, 1.600 m³/ha dans le cas de l'exploitation type 3, et 1.000 m³/ha quand il s'agit de l'exploitation type 4.

Les résultats obtenus de la simulation du régime d'exploitation pour l'année 2006 au niveau de l'aquifère de la Mancha Occidentale sont affichés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 23. Effets de l'application du « Régime d'Exploitation » dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Indicateur	Scénario : « Régime d'Exploitation »	
	Extractions légales	Extractions illégales
Revenu (milliers d'€)	138.607,03	
Revenu (€/ha)	609,26	
Recettes du gestionnaire (milliers d'€)	575,05	
Recettes du gestionnaire (€/ha)	2,53	
Dépenses publiques (milliers d'€)	28.684,80	
Dépenses publiques (€/ha)	126,09	
Consommation d'eau (milliers m ³)	204.358,61	165.804,23
Consommation d'eau totale (milliers m ³)	370.162,84	
Consommation d'eau (milliers m ³ /ha)	1.591,00	3.133,38
Consommation d'eau moyenne (milliers m ³ /ha)	2.041,02	
Coûts d'eau (milliers €)	13.601,71	13.437,86
Coûts totaux d'eau (milliers €)	27.039,58	
Coûts d'eau (€/ha)	105,89	253,95
Coûts moyens d'eau (€/ha)	149,09	
Coûts d'eau (€/m ³)	0,067	0,081
Coûts moyens d'eau (€/m ³)	0,073	

L'application rigoureuse de ce système de quota-volume, permet de réduire les extractions globales d'eau dans l'aquifère de la Mancha Occidentale de 20%, pour ainsi atteindre un niveau de 370 Hm³. Néanmoins, ce niveau est encore 60% plus élevé que le taux de recharge naturel de l'aquifère.

Les extractions « légales » sont limitées à un total de 204 Hm³, soit 40% plus faible que celles effectuées dans le scénario de référence. Par contre, les extractions « illégales » augmentent de 126 Hm³ à 165 Hm³ (30% plus), car les exploitations « mixtes » (de type 1 et 2) qui se voient réduire leur disponibilité d'eau de sa partie « légale » vont intensifier les extractions « illégales » afin de couvrir leurs pertes de revenus.

De cette façon, le revenu global par hectare ne change pas beaucoup. Il diminue seulement de 4%, en passant de 634 €/ha à 609 €/ha. Dans l'annexe 3 (résultats désagrégés par exploitation), on peut voir comment le revenu des exploitations « mixtes » types 1 et 2 ne varie pratiquement pas. Néanmoins, les diminutions de revenu des exploitations « légales » types 3 et 4, sont plus marquées, de 4% et 14% respectivement.

Le même type d'analyse peut être poursuivi lorsqu'on étudie l'impact d'une réduction des niveaux de quota-volume dans le Régime d'Extraction. Le gestionnaire du bassin versant du Guadiana révisé toutes les années, et ce la à la fin de chaque année hydrologique, en se basant sur le régime d'extraction en cours et la situation de l'aquifère, et décide du nouveau régime d'extraction pour l'année suivante. De cette façon, une consommation d'eau excessive dérivé des captations illégales dans l'année « n », va produire dans l'année suivante « n+1 », des restrictions d'eaux plus importantes pour toutes les exploitations. En effet, ces dernières années le régime d'extraction est devenu de plus en plus restrictif, ce qui a pénalisé les exploitations entièrement légales, tandis que les exploitations avec des captations illégales ont pu échapper à cette contrainte grâce au recours aux extractions illégales.

Finalement, il est indispensable de souligner que l'implémentation du Régime d'Extraction, implique une extensification de la surface, autrement dit, une présence plus élevée de cultures en sec, bénéficiaires d'aides PAC. Cela va produire un impact négatif sur le budget de l'Etat par rapport à la situation de référence, car au même niveau que les recettes, les dépenses publiques vont être légèrement supérieures.

2. Le contrôle des extractions illégales

D'après les résultats obtenus, nous pouvons conclure que le contrôle total des extractions ne peut pas être effectif sauf dans le cas où il s'effectue conjointement avec un contrôle exhaustif des consommations illégales.

Nous avons identifié dans la partie précédente (troisième partie, analyse des scénarios de politique) deux mécanismes de contrôle : la fermeture ou la légalisation conditionnée des captations illégales. Le tableau 24, montre les impacts de ces deux politiques au niveau agrégé de l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Tableau 24. Effets de la fermeture et de la légalisation des puits illégaux dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Indicateur	Scénarios	
	« Fermeture » des puits illégaux	« Légalisation » des puits illégaux
Revenu (milliers d'€)	93.155,94	113.809,42
Revenu (€/ha)	409,48	500,26
Recettes du gestionnaire (milliers d'€)	575,05	25.125,50
Recettes du gestionnaire (€/ha)	2,53	110,44
Dépenses publiques (milliers d'€)	28.210,32	28.012,59
Dépenses publiques (€/ha)	124,00	123,13
Consommation d'eau (milliers m ³)	204.358,61	341.381,46
Consommation d'eau (milliers m ³ /ha)	1.126,80	1.882,32
Coûts d'eau (milliers €)	13.601,71	25.549,53
Coûts d'eau (€/ha)	105,89	140,88
Coûts d'eau (€/m ³)	0,067	0,075

A. La fermeture des puits illégaux

L'interdiction d'usage des puits illégaux, dans le cas où elle peut être mise en place, implique la résolution automatique du conflit. Lorsqu'on stoppe les pompages illégaux et on applique le régime d'exploitation, les extractions totales dans l'aquifère de la Mancha Occidentale ne dépassent plus les 204 Hm³, ce qui est inférieur au taux de renouvellement naturel de l'aquifère, ce qui peut être considéré comme un exploit.

Cependant, si le régime d'exploitation (mesure beaucoup moins drastique) soulève de sérieux problèmes d'acceptation sociale et de faire valoir, on peut laisser entrevoir que l'implantation pratique d'un mécanisme de ce type est assez improbable.

La perte de revenus produite au niveau global ne semble pas trop élevée par rapport à la quantité d'eau économisée. Ainsi, la perte de revenu par rapport au scénario de référence est de 35,5 % (il diminue de 609 €/ha à 409 €/ha), tandis que la consommation d'eau est réduite de 55% (elle diminue de 462 Hm³ à 204 Hm³).

Néanmoins, les résultats obtenus à niveau agrégé cachent des différences importantes au niveau des exploitations (voir Annexe 3). Il faut remarquer que dans le cas de l'exploitation de type 2, originellement « mixte » et très intensive en vigne, le revenu obtenu lorsque les puits illégaux sont fermés diminue jusqu'à atteindre 23,41 €/ha, ce qui est inférieur, notamment, au revenu minimum de survie, fixé à 299 €/ha. Ce revenu minimum de survie a été calculé en divisant le salaire minimum interprofessionnel établi par la législation espagnole (7.182 €/an, UGT, 2005) en se basant sur la surface d'une exploitation moyenne de la région (24 ha, définis dans la troisième partie).

L'interdiction réelle des puits illégaux peut alors produire la disparition d'un certain nombre d'exploitations, en produisant le collapse socio-économique dans la région. Cette conséquence est d'autant plus grave pour les exploitations les plus rigides, celles dédiées par exemple à la culture de la vigne, qui est à la fois la culture la plus importante dans la région et représente un poids important sur le total régional.

B. La légalisation des puits illégaux

La légalisation des puits illégaux semble être la solution intermédiaire la plus faisable. Néanmoins, nous avons opté pour la simulation d'une légalisation conditionnée, car une légalisation sans punition représenterait un gouvernement faible et sans capacité de contrôle, ce qui inciterait à plus de dépassement des lois dans le domaine hydrique dans d'autres régions d'Espagne. Les conditions de la légalisation ont été analysées dans la troisième partie (voir point 5).

Les résultats affichés dans le tableau IV-3 montrent que la légalisation, sous ces conditions, des puits illégaux semble être la solution intermédiaire la plus faisable. Néanmoins, nous avons opté pour la simulation d'une légalisation conditionnée, car une légalisation sans punition représenterait un gouvernement faible et sans capacité de contrôle, ce qui inciterait à plus de dépassement des lois dans le domaine hydrique dans d'autres régions d'Espagne. Les conditions de la légalisation ont été analysées dans la troisième partie (voir point 5).

Au niveau désagrégé, l'établissement de cette politique contribue à égaliser la consommation d'eau et le revenu par hectare entre les exploitations, ce qui peut contribuer à minimiser les confrontations entre les agriculteurs. D'ailleurs, la pénalisation que subissent les exploitations qui ont recours aux pompes illégaux, est modérée ou forte-modérée dans le cas le plus particulier des exploitations viticoles, mais en tout cas elle permet de continuer avec l'activité agricole.

En résumé, la légalisation des puits illégaux peut contribuer à minimiser les confrontations entre les agriculteur et à réduire la consommation en eau agricole mais elle n'améliorera pas la situation environnementale.

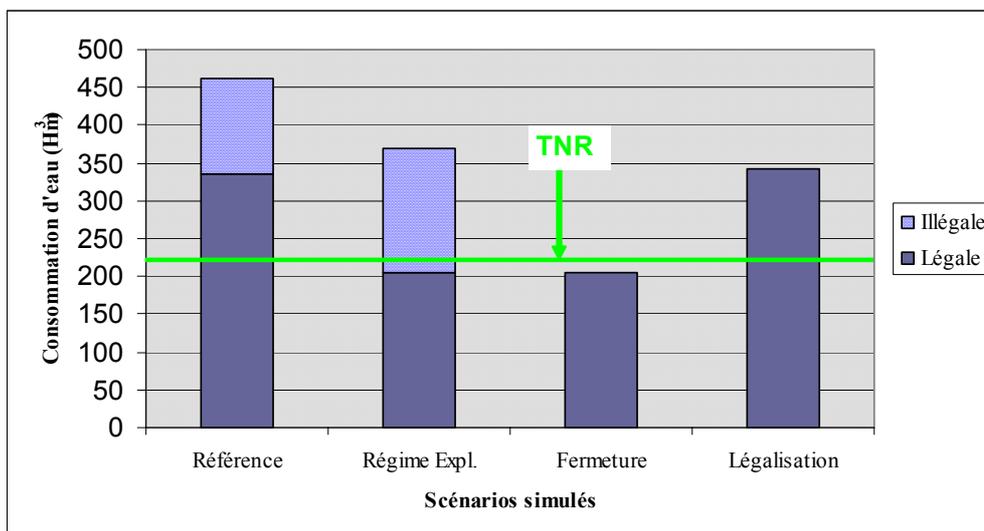
3. Analyse comparée des impacts dérivés du contrôle des extractions

Dans cette section, nous allons résumer l'impact des scénarios simulés précédemment (la situation de référence, le régime d'exploitation, la fermeture et la légalisation de puits illégaux) sur l'environnement (à travers de la demande ou la consommation d'eau), le secteur privé (en analysant les stratégies et le revenu des agriculteurs), et le secteur public (à travers des recettes et dépenses de l'Etat).

- *Effets sur la demande d'eau*

La figure 6 résume les impacts des scénarios simulés sur l'environnement, à travers de l'indicateur « demande d'eau ».

Figure 6. Effets sur la demande d'eau face aux différents scénarios de politique simulés, dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.



TNR : Taux naturel de recharge de l'aquifère (230 Hm³)

Nous pouvons constater à partir du graphique ci-dessus, que pour l'année de référence (2006) les consommations globales dans l'aquifère de la Mancha Occidentale dépassent les 450 Hm³, le double que le taux naturel de recharge de l'aquifère. La surconsommation au-dessus de ce niveau est partagée

presque à parts égales entre les extractions légales, autour de 105 Hm³, et les illégales, à peu près 126 Hm³

Parmi les scénarios analysés, le seul scénario qui permet de réduire la consommation d'eau au-dessous du taux de renouvellement naturel de l'aquifère est celui qui simule la fermeture des puits illégaux.

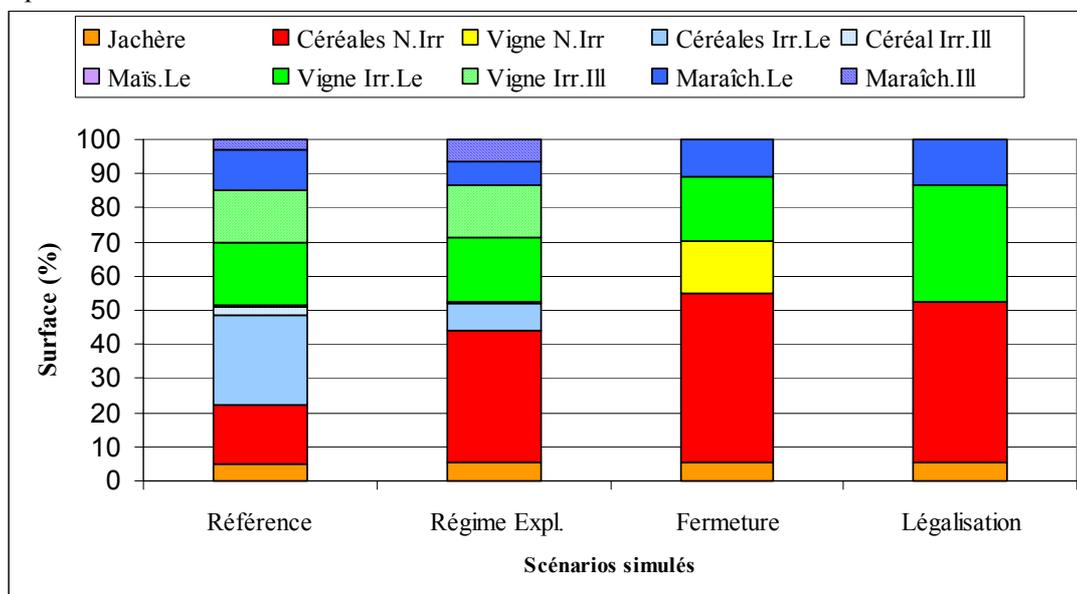
L'établissement du régime d'exploitation réduit considérablement les extractions totales (presque 20%), mais il se révèle inefficace pour contrôler toutes les extractions, notamment les illégales, qui augmentent dans certains cas de 30% (de 126 Hm³ à 165 Hm³).

La légalisation conditionnée des puits illégaux met fin au problème des extractions illégales et aide à réduire les extractions d'eau au-dessous de 350 Hm. Néanmoins, cette diminution (de seulement 8%, 30 Hm³, par rapport au scénario du régime d'exploitation) ne suffit pas pour réduire les extractions totales d'eau en-dessous du taux de recharge naturelle de l'aquifère.

- **Effets sur les stratégies des agriculteurs**

Nous avons étudié les stratégies des agriculteurs par rapport à l'assolement. La figure 7 résume les changements des cultures face aux différents scénarios simulés.

Figure 7. Effets sur les stratégies des agriculteurs face aux différents scénarios de politique simulés, dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.



Jachère, Céréales Non Irriguées, Vigne Non Irriguée, Céréales Irriguées de façon Légale, Céréales Irriguées de façon Illégale, Maïs irrigué à partir de puits légaux, Vigne Irriguée à partir de puits légaux, Vigne Irriguée de façon illégale, Cultures Maraîchères irriguées de façon légale, Cultures Maraîchères irriguées de façon illégale.

Selon les résultats obtenus, l'assolement se révèle très diversifié dans un premier temps (situation de référence, année 2006). La surface cultivée dans l'aquifère de la Mancha Occidentale est composée de 17% de cultures en sec gouvernées par de céréales, tels que l'orge et le blé ; un peu de jachère (5%) ; et une grande partie de cultures irriguées d'une façon légale (57%) mais aussi d'une façon illégale (21%). Les céréales irriguées (orge, blé et même le maïs) et la culture de la vigne, sont les cultures de base dans la région. Elles occupent presque 30% de la surface chacune, ce qui fait 60% de la surface totale. Les cultures maraîchères très intensives en eau ne sont pas aussi importantes en surface que les céréales irriguées ou la vigne, elles occupent 15% de la surface totale, mais quelques « cultures sociales », tel que le melon, sont de plus en plus valorisées du fait qu'elles ne consomment pas beaucoup d'eau, elles bénéficient d'importantes marges brutes et demandent pas mal de main-d'oeuvre, ce qui contribue à réduire le taux de chômage dans la région.

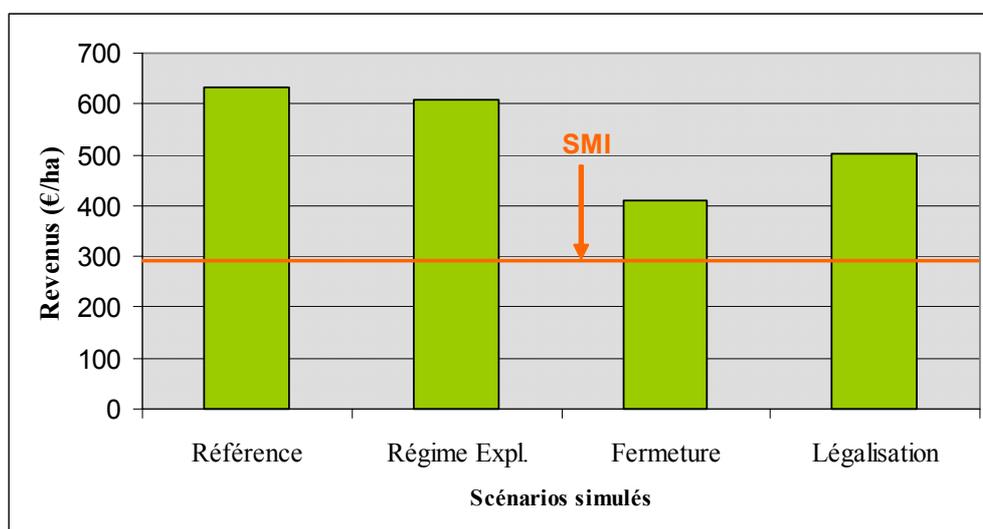
Lorsque la disponibilité d'eau est réduite, il se produit un remplacement important de cultures irriguées par les cultures non irriguées. Avec le scénario qui simule le régime d'exploitation, la surface en sec augmente de 17 à 39%, et la surface irriguée diminue de 78 à 56%. La surface de vigne ne change pas et les cultures maraîchères ne diminuent que légèrement (de 15% à 12%) car elles seront soutenues par les extractions illégales. Les céréales irriguées sont les cultures les plus affectées, leur surface diminue de 29 à 8% et quelques cultures, tels que le tournesol et le maïs vont disparaître.

Lorsqu'en plus on applique un contrôle des extractions illégales, les changements deviennent plus marqués. Dans le cas de la légalisation des captations illégales, les céréales irriguées disparaissent complètement. Dans le cas de la fermeture des puits illégaux, la surface en sec atteint 65% de la surface totale, dont 15,24% correspondent à la culture de la vigne en sec.

- **Effets sur les revenus**

On avait déjà dit qu'une réduction dans la consommation d'eau impliquerait une chute dans les revenus des agriculteurs. Néanmoins, au niveau agrégé, cette diminution est moins proportionnelle que la diminution de la consommation d'eau produite avec les changements des scénarios. La figure 8 montre les impacts sur les revenus des différents scénarios de politique simulés.

Figure 8. Effets sur les revenus des agriculteurs face aux différents scénarios de politique simulés, dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.



SMI : Salaire Minimum Interprofessionnel (299 €/ha)

Le contrôle des extractions légales, qui impliquait une réduction de la consommation d'eau de 20%, va seulement produire une réduction de 4% dans les revenus des agriculteurs. Cependant, au fur et à mesure que les restrictions d'eau sont plus élevées, la réduction du revenu des agriculteurs est plus importante. Ainsi, dans le scénario de fermeture de puits illégaux, où la réduction d'eau par rapport à la situation de référence est de 55%, la perte de revenu des agriculteurs devient très sévère (225 €/ha de différence, 35% de pertes). La diminution de revenu devient même dramatique au niveau désagrégé, où le revenu de l'exploitation type 2 devient inférieur au salaire minimum interprofessionnel.

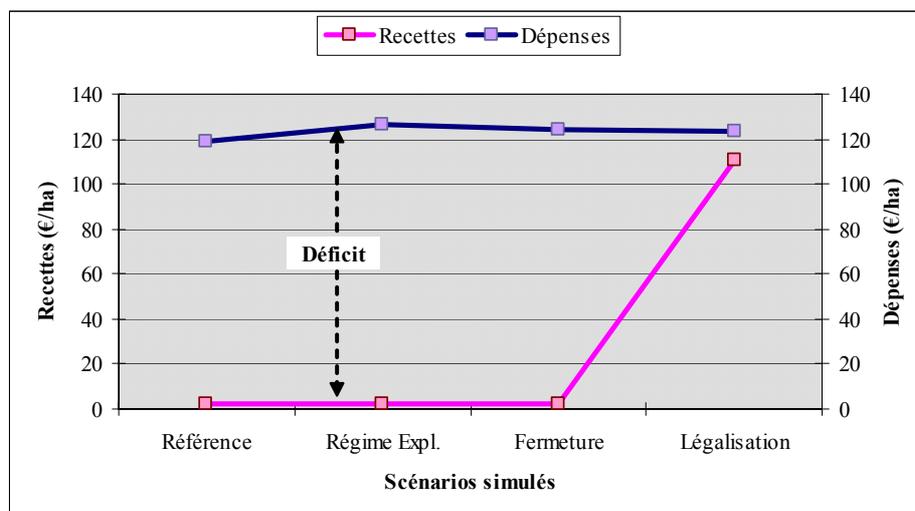
Finalement, il faut souligner que dans le scénario politique de la légalisation des captations illégales, le revenu des agriculteurs est doublement désavantagé à cause d'une part, de la réduction de la consommation d'eau imposée par le régime d'exploitation et d'autre part, du paiement du droit d'entrée et des redevances d'eau versées pour devenir légales. Cela explique alors pourquoi la demande d'eau est similaire dans le scénario du régime d'exploitation et celui de la légalisation des puits illégaux, mais la diminution du revenu est beaucoup plus importante dans ce dernier. La légalisation des captations implique une chute de 26% dans la consommation d'eau et de 21% dans le revenu des agriculteurs.

- **Effets sur le budget de l'Etat**

Nous avons considéré le budget de l'Etat comme la différence entre les recettes et les dépenses publiques. Les recettes sont collectées par l'organisme gestionnaire de l'eau (Communautés d'Irrigants ou Bassin Versant) car elles font référence aux redevances d'eau (taxes par hectare irrigué, et taxes par puits). Les dépenses publiques sont plutôt effectuées par le gouvernement régional (le ministère régional de l'agriculture de Castilla-La Mancha, en espagnol, « la Consejería de agricultura de Castilla-La Mancha »), et elles font référence aux subventions PAC : d'un côté le droit de paiement unique, et d'autre côté, les aides directes.

La figure 9 résume les impacts des différents scénarios de politique simulés, sur les recettes et les dépenses publiques dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Figure 9. Effets sur le budget de l'Etat face aux différents scénarios de politique simulés, dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.



Du point de vu budgétaire, on peut conclure que tous les scénarios de politique supportent un budget déficitaire, car les dépenses sont notamment plus élevés que les recettes publiques. Ce déficit est de 116 €/ha dans le scénario de référence, 123 €/ha avec le régime d'exploitation, 121 €/ha lorsque les puits illégaux sont fermés, et seulement 12 €/ha dans le cas de la légalisation des captations illégales.

Il faut souligner que les dépenses publiques sont très peu sensibles aux variation des scénarios simulés, car 75% des dépenses sont associés au droit de paiement unique basé sur les années de référence (1999-2002). Les variations dans l'assolement en même temps que les aides directes vont être reflétées seulement par 25% dans les dépenses de l'Etat.

Par rapport aux recettes, le seul scénario qui permet d'augmenter considérablement les recettes du gestionnaire est celui de la légalisation des puits illégaux (de 2,5 à 110,4 €/ha) du fait des bénéfices obtenus de la collecte du droit d'entrée imposé et des redevances d'eau, liées aux captations illégales.

IV. Analyse d'instruments alternatifs de gestion d'eau

Nous avons pu remarquer que la résolution du problème de captages illégaux par la légalisation ne suffit pas pour atteindre notre objectif et ne résout pas le problème environnemental. Par conséquent, nous proposons dorénavant l'addition des différents outils de gestion d'eau afin d'inciter à une correcte rationalisation dans l'usage pour la conservation de la ressource.

Nous allons analyser les effets des mesures de l'instauration d'une politique tarifaire, de l'application d'un système de quotas et d'un marché d'eau sur l'environnement, le secteur privé et le secteur public.

1. Les politiques tarifaires

Nous avons vu dans la première partie du travail, que les politiques tarifaires sont un des instruments les plus utilisés pour améliorer l'efficacité dans l'utilisation de la ressource en eau. Cet instrument permet de transmettre aux usagers les signaux de rareté et en plus, de récupérer les différents coûts des services liés à l'eau (financiers, environnementaux et de la ressource) (Johansson *et al.* 2002; Varela-Ortega *et al.* 1998; Commission Européenne, 2000 ; Tsur *et al.*, 2004, Chohin-Kuper *et al.* 2003 ; Molle *et al.* 2005).

Les résultats des simulations réalisées doivent s'interpréter en faisant l'hypothèse que serait supprimé le système de quota actuel. Nous n'avons pas mesuré l'instauration simultanée d'un système de tarification et d'une révision des concessions afin d'éviter une double punition. Par ailleurs, nous rappelons que les prix simulés représentent des taxes additionnelles qui s'ajoutent aux tarifs qui sont actuellement payés par les agriculteurs. De cette manière, lorsqu'on assigne un prix zéro, on simule la situation financière actuelle du périmètre irrigué.

Nous allons simuler deux structures tarifaires : une tarification volumétrique uniforme où le coût de l'eau dépend de la quantité réellement consommée et un système tarifaire par paliers (système de tarification progressive) où le prix s'élève à partir d'un certain seuil.

A. La tarification volumétrique uniforme

Afin de simuler une politique tarifaire volumétrique uniforme, nous avons ajouté au système tarifaire de l'eau actuel (tarification forfaitaire à l'hectare) vingt niveaux de prix entre 0-0,4 €/m³ avec une augmentation progressive de 0,021 €/m³. Cette fourchette de prix est suffisante pour atteindre notre objectif.

Nous pouvons vérifier qu'avec la taxe numéro 11 (0,21 €/m³) la quantité d'eau consommée correspond à peu près à la limite fixée pour faire respecter le taux de renouvellement de l'aquifère. La connaissance de la situation à ce point-là est notamment importante afin de pouvoir faire la comparaison avec d'autres instruments de gestion d'eau.

C'est pourquoi les simulations seront particulièrement analysées à ce niveau de prix.

Les résultats au niveau régional sont montrés ci-dessous. Les tableaux 25 et 26 analysent les effets de l'application d'une politique tarifaire volumétrique uniforme sur la demande en eau, les revenus des agriculteurs et les recettes et dépenses de l'Etat.

Tableau 25. Impact d'une politique tarifaire volumétrique uniforme sur la demande d'eau et les revenus des agriculteurs dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Tarif	Prix (€/m3)	Demande nette d'eau (Hm ³)	Demande nette d'eau (m ³ /ha)	Pourcentage d'eau économisée (%)	Revenu (milliers d'€)	Revenu (€/ha)	Perte de revenu (%)
1	0,00	485,047	2.674,47	-	129,066	567,32	-
2	0,02	428,962	2.365,23	11,56	119,174	523,84	7,66
3	0,04	406,375	2.240,68	16,22	110,525	485,83	14,36
4	0,06	406,372	2.240,67	16,22	101,991	448,31	20,98
5	0,08	396,046	2.183,73	18,35	93,476	410,88	27,57
6	0,11	347,752	1.917,45	28,31	85,538	375,99	33,73
7	0,13	306,318	1.688,99	36,85	78,650	345,71	39,06
8	0,15	306,316	1.688,98	36,85	72,216	317,43	44,05
9	0,17	306,313	1.688,96	36,85	65,782	289,15	49,03
10	0,19	305,975	1.687,10	36,92	59,347	260,87	54,02
11 (*)	0,21	242,434	1.336,74	50,02	53,388	234,67	58,63
12	0,23	169,274	933,35	65,10	49,632	218,16	61,55
13	0,25	169,127	932,54	65,13	46,072	202,52	64,30
14	0,27	167,973	926,18	65,37	42,544	187,01	67,04
15	0,29	125,434	691,62	74,14	40,616	178,53	68,53
16	0,32	114,443	631,02	76,41	38,551	169,45	70,13
17	0,34	113,838	627,69	76,53	36,160	158,95	71,98
18	0,36	112,956	622,82	76,71	33,807	148,60	73,81
19	0,38	110,634	610,02	77,19	31,580	138,81	75,53
20	0,40	110,634	610,02	77,19	29,257	128,60	77,33

(*) Tarif qui permet atteindre notre objectif

Tableau 26. Impact d'une politique tarifaire volumétrique uniforme sur les recettes et les dépenses de l'Etat dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Tarif	Prix (€/m3)	Recettes du gestionnaire (milliers d'€)	Recettes du gestionnaire (€/ha)	Dépenses publiques (milliers d'€)	Dépenses publiques (€/ha)	Budget de l'Etat (€/ha)	Augmentation du budget de l'Etat (%)
1	0,00	14,355	63,10	28,998	127,46	-64,36	0
2	0,02	23,364	102,70	28,415	124,90	-22,20	65,50
3	0,04	31,423	138,12	27,872	122,52	15,61	124,25
4	0,06	39,957	175,63	27,872	122,52	53,12	182,53
5	0,08	48,607	213,66	27,872	122,52	91,14	241,61
6	0,11	53,225	233,95	27,872	122,52	111,44	273,15
7	0,13	58,278	256,17	27,918	122,71	133,45	307,35
8	0,15	64,711	284,44	27,918	122,71	161,73	351,28
9	0,17	71,143	312,72	27,918	122,71	190,00	395,21
10	0,19	77,512	340,71	27,920	122,72	217,99	438,69
11 (*)	0,21	70,593	310,30	28,356	124,64	185,66	388,46
12	0,23	58,785	258,39	28,858	126,85	131,54	304,39
13	0,25	62,293	273,82	28,859	126,85	146,96	328,34
14	0,27	65,203	286,61	28,859	126,85	159,75	348,21
15	0,29	43,394	190,74	28,859	126,85	63,89	199,27
16	0,32	39,240	172,48	28,859	126,85	45,63	170,90
17	0,34	41,069	180,52	28,855	126,83	53,69	183,42
18	0,36	42,605	187,27	28,849	126,81	60,47	193,95
19	0,38	42,676	187,59	28,832	126,73	60,85	194,55
20	0,40	44,999	197,80	28,832	126,73	71,06	210,41

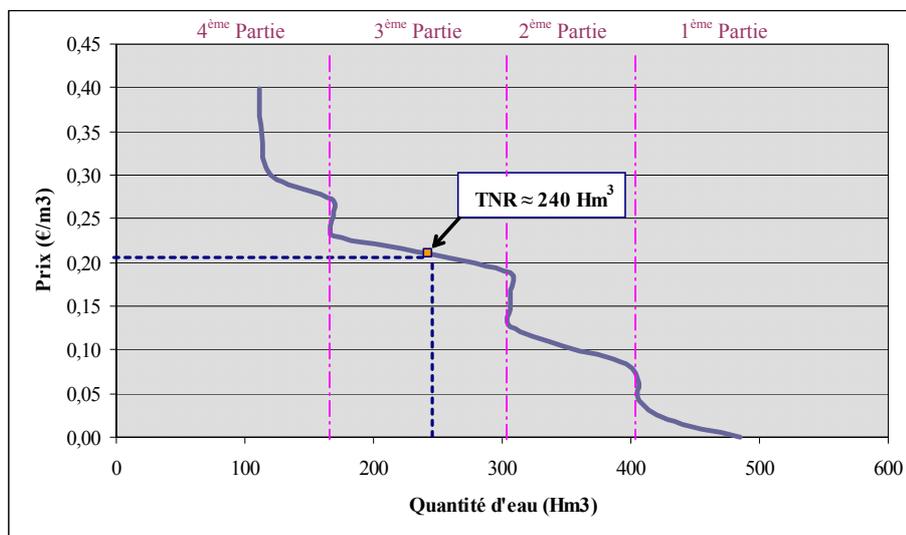
(*) Tarif qui permet atteindre notre objectif

Les résultats obtenus par exploitation peuvent être consultés dans l'annexe 3 de ce travail.

- **Impact sur la demande d'eau**

La consommation d'eau des agriculteurs face à une augmentation progressive du prix de l'eau a été modélisée pour obtenir la courbe de demande (voir figure 10).

Figure 10. Demande nette d'eau face à une politique de tarification volumétrique uniforme.



TNR : Taux naturel de recharge de l'aquifère.

Nous nous apercevons qu'au fur et à mesure que le prix de l'eau augmente, le volume d'eau utilisé diminue progressivement mais pas de la même façon. Nous pouvons différencier sur la courbe de demande, quatre parties sensibles aux changements des prix, séparées par fragments plus ou moins inélastiques de la courbe de demande.

La première partie se trouve entre les niveaux de prix de 0-0,04 €/m³. En effet, nous pouvons remarquer qu'au niveau de 0,04 €/m³, la quantité d'eau est déjà réduite de 16,22%. La deuxième partie commence à partir du niveau de prix de 0,06 €/m³. Nous pouvons vérifier que entre les valeurs de 0,06 €/m³ et 0,13 €/m³, la quantité d'eau utilisée est réduite encore une fois de 20,6% (36,85% de diminution en total). La troisième partie, encore plus élastique, se situe entre les niveaux de prix de 0,19 et 0,23 €/m³ et aboutit à une réduction de la consommation d'eau jusqu'à 65% (28,25% plus). Finalement, la dernière partie se révèle la moins élastique. Entre 0,27 et 0,38 €/m³ la quantité d'eau est réduite seulement 11,82% plus, ce qui fait quand même une diminution de la consommation d'eau total de 77,19%.

Nous pouvons vérifier que l'instauration de tarifs d'eau assez bas (0,04 €/m³) pourrait avoir un impact notable sur la demande d'eau. D'ailleurs, des études réalisées en Espagne montrent que l'implantation de taxes entre 0,04 et 0,06 €/m³ peuvent permettre de récupérer dans certains cas les coûts environnementaux de la ressource en eau (Gómez-Limón *et al.*, 2002). Néanmoins, en ce qui nous concerne, cet effet réducteur dans la consommation d'eau n'est pas malgré tout suffisant pour atteindre l'objectif recherché qui consiste à réduire la consommation en eau jusqu'au niveau du taux naturel de recharge de l'aquifère. La figure 11 montre le fait que, uniquement avec une taxe de 0,21 €/m³ on peut réduire la quantité d'eau de 50% et aboutir à une consommation totale de 240 Hm³, très proche du taux de renouvellement naturel de l'aquifère normalement fixé à 230 Hm³ par les spécialistes.

D'autre part, entre les niveaux de prix de 0,04-0,06 €/m³ ; 0,13-0,19 €/m³ ; 0,23-0,27 €/m³ ; et 0,38-0,40 €/m³, la quantité d'eau épargnée est nulle ou très faible. Nous nous trouvons ici dans des parties de la courbe de demande totalement inélastiques où l'augmentation du prix de l'eau ne provoque pas des changements dans l'assolement, et du coup il n'y a pas d'épargne significative d'eau.

De nombreuses études ont étudié l'inélasticité de la demande d'eau. La plupart d'elles montrent que la demande est inélastique pour des prix faibles et que seul un accroissement du prix de l'eau de l'ordre de 5-10 fois, peut stimuler un comportement épargnant chez l'agriculteur (De Fraiture *et al.*, 2002, Mejías

2002 ; Mejías *et al.*, 2004, Varela *et al.* 1998). En effet, lorsqu'on analyse les résultats désagrégés (par exploitation, annexe 3), on trouve des comportements similaires dans les exploitations des types 1 et 2 (les anciennes exploitations « mixtes », très consommatrices en eau), où le prix doit s'élever jusqu'à 0,08 €/m³ (quatre fois le prix de base) dans le cas de l'exploitation type 1 et jusqu'à 0,13 €/m³ (six fois le prix de base) dans le cas de l'exploitation type 2, pour aboutir à une réduction significative de la quantité d'eau utilisée.

Si nous observons les courbes de demande par exploitation (annexe 3), nous constatons que les résultats diffèrent d'une exploitation à l'autre en raison de leurs différences structurelles déjà expliquées dans la troisième partie de ce travail. L'exploitation type 1, assez grande et très diversifiée, a la demande la plus élastique des exploitations sélectionnées, même si elle présente une partie inélastique lorsque le prix de l'eau est faible. Les exploitations types 3 et 4, avec des cultures en sec et irriguées, ont une demande très élastique aux niveaux de prix bas, mais très inélastique lorsque le prix moyen de l'eau est élevé (notamment dans l'exploitation type 3). L'exploitation type 2, intensive en vigne, est par contre l'exploitation la moins sensible aux changements de prix de l'eau. Ainsi, on peut constater que lorsque le prix de l'eau est de 0,21 €/m³ (l'objectif est atteint), la réduction de la quantité d'eau consommée pour les exploitations types 1, 2, 3 et 4 est de : 68,16 ; 21,26 ; 44,83 ; et 51,61% respectivement.

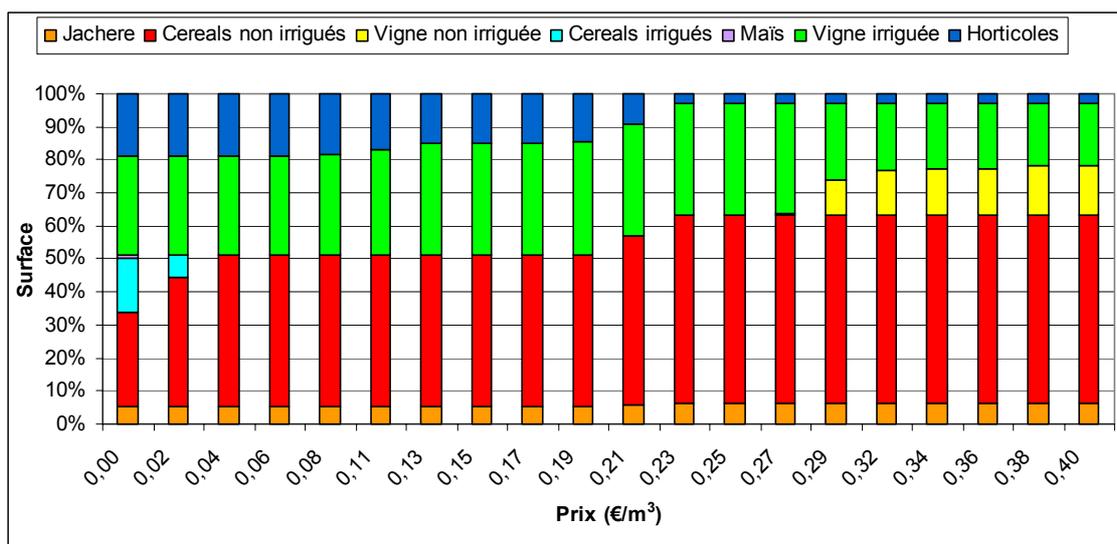
• Impact sur les stratégies des agriculteurs

Le modèle de simulation permet plusieurs stratégies de l'agriculteur face à l'imposition d'un prix supérieur pour l'eau :

- Changement de la technique de production et de la méthode d'irrigation.
- Changement des cultures irriguées : substitution des cultures très exigeantes en eau par cultures irriguées moins exigeantes.
- Augmentation de la surface non irriguée : changement des cultures irrigués par cultures en sec.

La figure 11 montre les stratégies adoptées par les agriculteurs face à une politique de tarification volumétrique uniforme. Etant donné le nombre élevé de cultures et techniques de production, nous n'avons pas affiché dans le graphique les changements par rapport aux techniques et à la méthode d'irrigation. Ils sont expliqués plus en détail dans le texte.

Figure 11. Changement de l'assolement face à une politique de tarification volumétrique uniforme.



Nous pouvons noter à partir du graphique ci-dessus que dans un premier temps (jusqu'au prix de 0,04 €/m³), les agriculteurs adaptent leurs stratégies en substituant des céréales irriguées (blé, orge, tournesol, maïs) par de céréales non irriguées, notamment l'orge.

Entre les niveaux de prix de 0,04-0,19 €/m³, la surface en sec n'augmente pas, mais les cultures irriguées très intensives en eau, telles que les cultures maraîchères, sont substituées par des cultures irriguées moins intensives en eau, dans ce cas-là, la vigne. Il faut souligner que les substitutions entre les cultures irriguées sont très faibles, car les agriculteurs essaient de garder par tous les moyens leurs cultures maraîchères vu l'importante marge brute que ces cultures offrent. Cela explique les différents fragments inélastiques de la courbe de demande (entre 0,04-0,06 €/m³ y 0,13-0,19 €/m³). Parmi les différentes cultures maraîchères mobilisées, le poivron est la culture la plus affectée car elle est la plus consommatrice d'eau. Dans les fragments les plus inélastiques de la courbe de demande, on observe une substitution importante entre le poivron et le melon, ce dernier reste une culture moins exigeante en eau et très bien adapté à la zone d'étude.

Lorsque les prix de l'eau atteignent des niveaux de 0,21-0,23 €/m³, les agriculteurs sont forcément obligés de diminuer leurs surfaces de cultures maraîchères et augmenter les surfaces en sec et en jachère, car ils ne peuvent plus accroître la surface de vigne irriguée. La diminution de surface en cultures maraîchères très consommatrice en eau va permettre de réduire énormément la quantité d'eau utilisée et d'atteindre notre objectif avec le tarif de 0,21€/m³. Le changement produit est donc cultures maraîchères-céréales non irriguées, mais surtout le melon- l'orge non irrigué. Il faut souligner que l'augmentation de la surface en sec (blé et orge non irrigués) va se produire dans les types de sol de bonne qualité. Dans les sols de mauvaise qualité, le blé non irrigué est remplacé par l'orge non irrigué, une culture spécialement bien adaptée aux conditions d'aridité de la zone.

A partir du niveau de prix de 0,25 €/m³, la vigne non irriguée est introduite dans l'assolement. Dans un premier temps, cette introduction exige une légère diminution de la surface de vigne irriguée et des cultures maraîchères, ce qui produit à nouveau des inélasticités dans la courbe de demande d'eau (entre 0,25-0,27 €/m³). Ensuite, nous observons une diminution de la vigne irriguée par rapport à la vigne non irriguée, ce qui promet à nouveau l'épargne d'eau mais de façon moins importante.

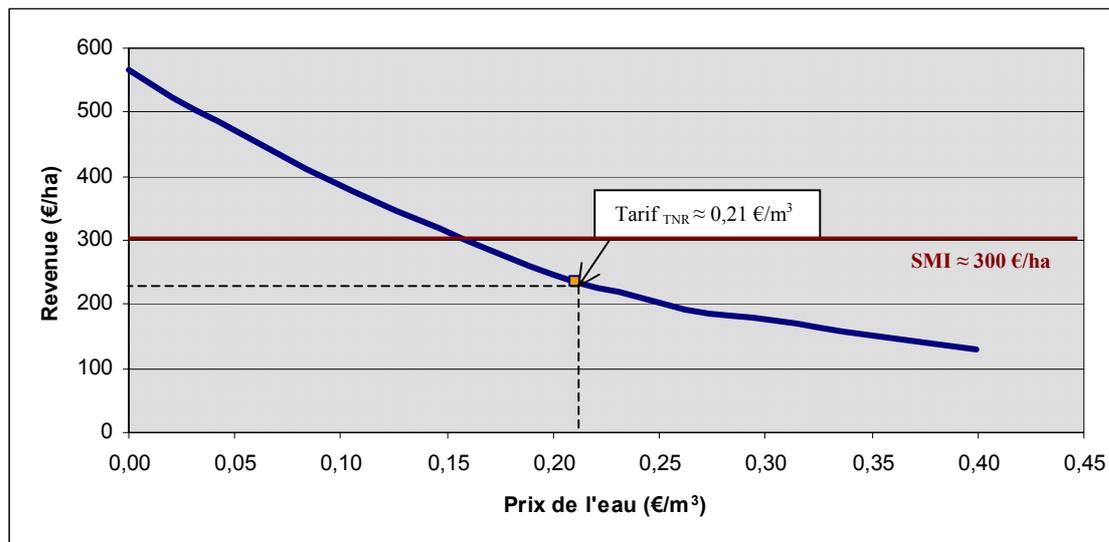
Dans l'annexe 3, on peut consulter les changements dans l'assolement par exploitation. Comme on avait déjà dit lorsqu'on avait analysé la demande en eau, nous pouvons noter que les stratégies des agriculteurs sont plus rigides dans l'exploitation type 2 que dans n'importe quelle autre exploitation. L'exploitation type 1 est en effet la plus flexible, nous pouvons observer qu'elle est la seule exploitation qui garde les cultures maraîchères même au-dessus du prix de 0,21 €/m³ d'eau.

Pour conclure, au niveau atteint de 0,21 €/m³, plus de 50% de la surface est cultivé par des céréales en sec (51,33%). Ces résultats nous amènent à affirmer que, à ce point-là, la région exprime une extensification de l'agriculture en sec de 30%, ce qui peut entraîner une sous-utilisation de l'infrastructure d'irrigation déjà construite.

- **Impact sur les revenus**

Une politique tarifaire qui augmente le coût de l'eau d'irrigation implique évidemment une perte de rente pour les agriculteurs. En effet, on peut constater sur le tableau 27 et sur la figure 12 qu'au fur et à mesure que le prix de l'eau augmente, le revenu diminue.

Figure 12. Le revenu des agriculteurs face à une politique de tarification volumétrique uniforme.



Tarif_{TNR} : tarif volumétrique uniforme qui réduit la consommation d'eau jusqu'au niveau du taux naturel de recharge de l'aquifère. **SMI** : Salaire minimum interprofessionnel

Ces pertes dépendent de l'élasticité de la demande d'eau, des stratégies des agriculteurs et du volume d'eau utilisé. Ainsi, dans les parties plus inélastiques de la courbe de demande d'eau, la perte de revenu de l'agriculteur va dépendre presque uniquement de la quantité d'eau consommée (et donc du coût total de l'eau) puisque l'agriculteur n'adopte pas de stratégie pour épargner l'eau. Dans les parties les plus élastiques de la courbe de demande, la perte de revenu va dépendre très fortement des stratégies suivies pour les agriculteurs (Sumpsi *et al.*, 1998 ; Mejías, P., 2002).

Nous pouvons noter dans la figure 12, que l'élasticité du revenu par rapport au prix de l'eau n'est pas constante. Il existe un point d'inflexion dans la courbe de revenus. Ce point correspond au tarif de 0,27 €/m³, lequel indique le début d'une partie inélastique dans la courbe de demande d'eau. Les pertes de revenus jusqu'à ce tarif sont plus prononcées car les cultures maraîchères (les plus rentables) sont les plus punies. A partir de ce niveau de prix, on avait observé une certaine stabilité dans la surface qui reste de cultures maraîchères (notamment soutenus par l'exploitation 1), et un changement de vigne irriguée à vigne non irriguée.

Finalement, nous constatons qu'au niveau du prix 0,21 €/m³, pour lequel la contrainte environnementale est respectée, les pertes de revenu sont de 58,63%. Le revenu moyen est de 235 €/ha, inférieur au Salaire Minimum Interprofessionnel (≈300 €/ha) ce qui peut compromettre la viabilité économique de nombreuses exploitations. Autrement dit, réduire de 50% la quantité d'eau utilisée dans l'aquifère comporterait une perte de revenu de 59%. Ce résultat a été vastement diffusé dans la littérature où normalement on démontre que face à une augmentation progressive du niveau de prix, les pertes de revenus sont plus que proportionnelles à la quantité d'eau épargnée, ce qui peut limiter l'application pratique de ces outils de gestion (Varela-Ortega *et al.*, 1998 ; Varela-Ortega *et al.*, 2006a; Blanco *et al.*, 2007).

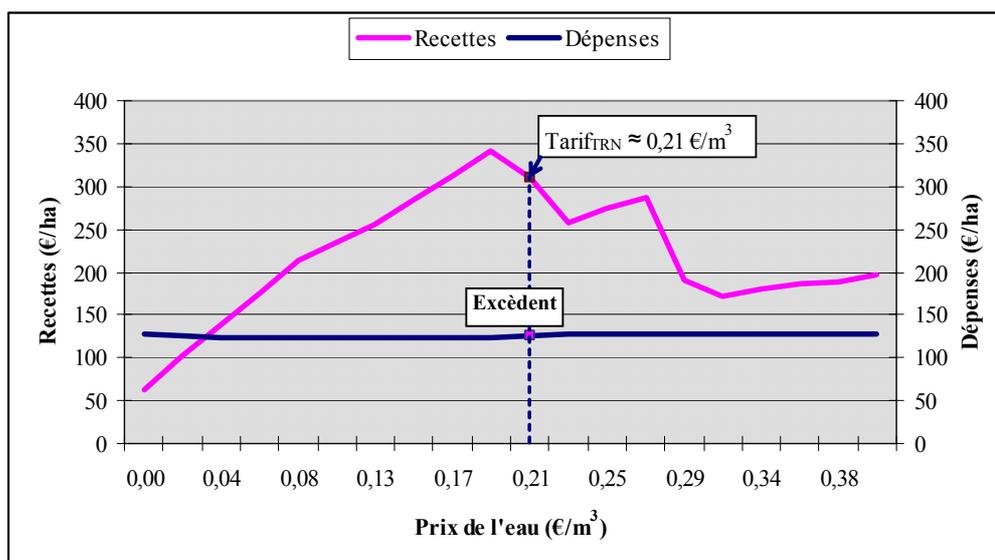
Les graphiques par exploitation affichés dans l'annexe 3 montrent que cette perte est plus forte dans les exploitations intensives les plus rigides (notamment les exploitations 2 et 3). Ainsi, au même niveau de prix (0,21 €/m³), l'exploitation type 1 doit sacrifier 53% du revenu pour diminuer de 68% la consommation d'eau ; l'exploitation type 2 doit sacrifier 113% de leur revenu pour réduire seulement de 21% leur consommation d'eau ; l'exploitation type 3, diminue de 45% la quantité d'eau utilisée mais perd 52% de son revenu ; et finalement l'exploitation type 4 doit sacrifier 41% du revenu pour diminuer de 52% la consommation d'eau. On peut aussi constater qu'atteindre notre objectif à partir d'une tarification volumétrique uniforme impliquerait l'abandon de l'activité agricole par l'exploitation type 2, avec un revenu moyen par hectare négatif de -43,40 €/ha, et la situation critique d'autres exploitations, telles que

les exploitations types 3 et 4, avec 250 et 133 €/ha de revenus respectivement, se traduisent par des revenus totaux inférieurs au SMI estimé.

- **Impact sur le budget de l'Etat**

Les recettes du gestionnaire sont équivalentes à l'augmentation du coût de l'eau supportée par les agriculteurs. Dans les parties totalement inélastiques de la courbe de demande, les recettes du gestionnaire vont coïncider avec les pertes de revenu des agriculteurs. D'ailleurs, il existe en général une relation inverse entre l'élasticité de la courbe de demande et les recettes perçues par l'organisme gestionnaire, de façon que les recettes commencent à diminuer, lorsque la courbe de demande devient plus élastique. Cela peut se voir clairement dans la figure 13, où on observe une alternance dans la pente positive et négative, ce qui correspond aux parties élastiques et inélastiques de la courbe de demande que nous avons expliquée précédemment. Consulter aussi le tableau 27.

Figure 13. Impact d'une politique tarifaire volumétrique uniforme sur le budget de l'Etat.



Tarif_{TNR} : tarif volumétrique uniforme qui réduit la consommation d'eau jusqu'au niveau du taux naturel de recharge de l'aquifère.

Nous pouvons aussi noter que les dépenses de l'Etat sont très uniformes avec n'importe quel niveau de tarif. La disparition des céréales irriguées avec un prix de l'eau bas diminue légèrement les dépenses publiques, mais l'augmentation de la surface en sec avec des tarifs moyens-élevés augmentent à nouveau les dépenses de l'Etat. En effet, nous avons expliqué dans la section antérieure que les dépenses de l'Etat sont très stables du fait de la mise en place du droit de paiement unique, ce qui représente 75% du total. Les résultats par exploitations affichés dans l'annexe 3 montrent que les exploitations qui produisent les dépenses les plus élevées sont les exploitations les plus extensives (3 et 4).

Par contre, les exploitations types 1 et 2, du fait de la légalisation des captages illégaux, sont les exploitations qui fournissent le plus de recettes à l'Etat.

Lorsqu'on analyse le budget net de l'Etat, on observe que le déficit initial de -64 €/ha à tarif zéro, est rapidement équilibré lorsque les prix de l'eau augmentent au-dessus de 0,04 €/m³.

Du point de vue budgétaire, lorsque l'objectif de la politique est la récupération des coûts, il est recommandé de fixer un tarif qui n'excède pas le premier maximum (Sumpsi *et al.*, 1998).

Dans notre cas, le premier maximum est atteint à 0,19 €/m³, point à partir duquel la demande en eau devienne très élastique et les recettes commencent à diminuer.

Néanmoins, notre objectif est autre. Au niveau de 0,21 €/m³, le tarif qui permet d'atteindre notre objectif, nous dépassons le premier maximum mais le budget de l'Etat continue à être positif. Il présente un excédent de 185,66 €/ha.

2. La tarification par paliers

La deuxième structure tarifaire testée est une tarification volumétrique par paliers. Ce système taxe la quantité d'eau utilisée à différents niveaux.

Normalement, la dotation est divisée en deux ou trois paliers, de façon à faire augmenter le tarif au fur et à mesure que la consommation d'eau s'élève au-delà des seuils qui indiquent le changement de la taxe.

Il faut souligner que la structure tarifaire ici choisie (voir la troisième partie du travail, 6^{ème} scénario) divise la quantité d'eau utilisée en trois paliers à parts égales, auxquelles est assigné un set de prix $t-t'$, équivalent à ceux de la tarification volumétrique uniforme.

Nous considérons que ce type de structure s'adapte correctement aux besoins de cette recherche où l'objectif recherché n'est pas de maximiser les recettes de l'organisme gestionnaire, mais réduire la consommation d'eau agricole et effectuer une analyse comparée de politiques³¹.

Les résultats au niveau régional sont montrés ci-dessous. Les tableaux 27 et 28 analysent les effets de l'application d'une politique tarifaire volumétrique par paliers sur la demande en eau, les revenus des agriculteurs et les recettes et dépenses de l'Etat.

Il faut indiquer que les prix ici affichés en €/m³ sont des prix « équivalents » obtenus à partir de la moyenne pondérée des prix par paliers.

³¹ Lorsque l'objectif recherché est de maximiser les recettes du gestionnaire, il paraît recommandé de taxer plus fortement le premier palier par rapport aux autres, car celui-ci est normalement consommé par tous les usagers.

Tableau 27. Impact d'une politique tarifaire volumétrique par paliers sur la demande d'eau et les revenus des agriculteurs dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Tarif	Prix (€/m ³)	Demande nette d'eau (Hm ³)	Demande nette d'eau (m ³ /ha)	Pourcentage d'eau économisée (%)	Revenu (milliers d'€)	Revenu (€/ha)	Perte de revenu (%)
1	0,000	485,047	2.674,47	-	129,066	567,32	-
2	0,015	428,962	2.365,23	11,56	121,539	534,24	5,83
3	0,030	406,375	2.240,68	16,22	115,257	506,62	10,70
4	0,046	406,372	2.240,67	16,22	109,088	479,51	15,48
5	0,060	396,046	2.183,73	18,35	102,939	452,48	20,24
6	0,071	347,752	1.917,45	28,31	97,367	427,98	24,56
7	0,080	306,318	1.688,99	36,85	92,845	408,11	28,06
8	0,093	306,316	1.688,98	36,85	88,776	390,23	31,22
9	0,106	306,313	1.688,96	36,85	84,708	372,34	34,37
10	0,119	305,975	1.687,10	36,92	80,639	354,46	37,52
11^(*)	0,112	242,434	1.336,74	50,02	77,046	338,66	40,30
12	0,116	225,312	1.242,33	53,55	74,675	328,24	42,14
13	0,126	225,312	1.242,33	53,55	72,309	317,84	43,98
14	0,137	225,312	1.242,33	53,55	69,943	307,44	45,81
15	0,147	225,312	1.242,33	53,55	67,577	297,04	47,64
16	0,158	225,312	1.242,33	53,55	65,212	286,64	49,47
17	0,149	169,316	933,58	65,09	63,437	278,85	50,85
18	0,159	169,234	933,13	65,11	61,851	271,87	52,08
19	0,168	169,127	932,54	65,13	60,267	264,91	53,31
20	0,177	168,488	929,01	65,26	58,695	258,00	54,52

(*) Tarif qui permet d'atteindre notre objectif

Tableau 28. Impact d'une politique tarifaire volumétrique par paliers sur les recettes et les dépenses de l'Etat dans l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Tarif	Prix (€/m ³)	Recettes du gestionnaire (milliers d'€)	Recettes du gestionnaire (€/ha)	Dépenses publiques (milliers d'€)	Dépenses publiques (€/ha)	Budget de l'Etat (€/ha)	Augmentation du budget de l'Etat (%)
1	0,000	14,355	63,10	28,998	127,46	-64,36	-
2	0,015	20,998	92,30	28,415	124,90	-32,60	49,34
3	0,030	26,692	117,33	27,872	122,52	-5,19	91,93
4	0,046	32,859	144,44	27,872	122,52	21,92	134,06
5	0,060	39,144	172,06	27,872	122,52	49,54	176,98
6	0,071	41,396	181,96	27,872	122,52	59,44	192,36
7	0,080	44,084	193,77	27,918	122,71	71,06	210,41
8	0,093	48,150	211,65	27,918	122,71	88,93	238,18
9	0,106	52,217	229,52	27,918	122,71	106,81	265,95
10	0,119	56,220	247,12	27,920	122,72	124,39	293,28
11^(*)	0,112	46,936	206,31	28,356	124,64	81,67	226,89
12	0,116	45,706	200,90	28,474	125,16	75,75	217,69
13	0,126	48,072	211,30	28,474	125,16	86,14	233,85
14	0,137	50,437	221,70	28,474	125,16	96,54	250,00
15	0,147	52,803	232,10	28,474	125,16	106,94	266,16
16	0,158	55,169	242,50	28,474	125,16	117,34	282,32
17	0,149	44,992	197,76	28,858	126,85	70,92	210,19
18	0,159	46,554	204,63	28,858	126,85	77,78	220,85
19	0,168	48,098	211,42	28,859	126,85	84,57	231,40
20	0,177	49,331	216,84	28,859	126,85	89,99	239,81

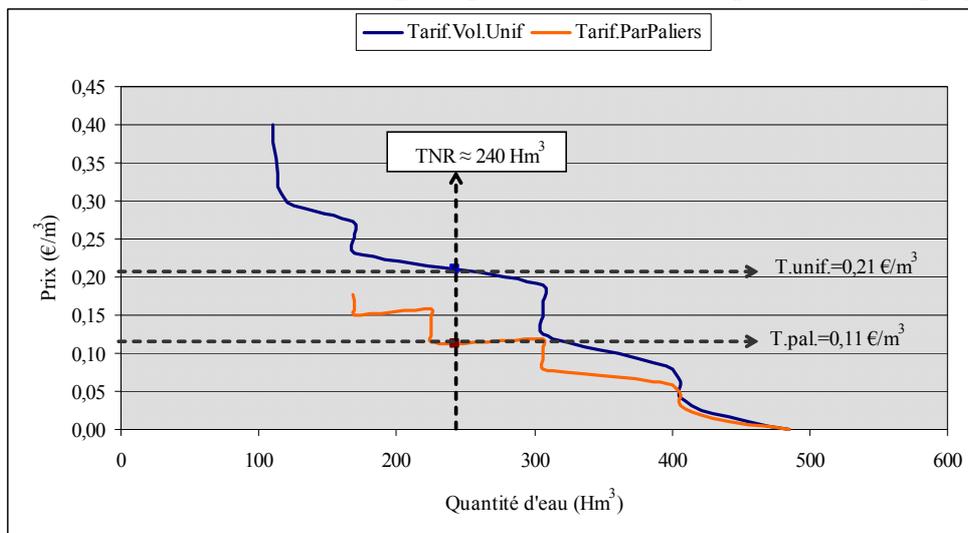
(*) Tarif qui permet d'atteindre notre objectif

Les résultats obtenus par exploitation peuvent être consultés dans l'annexe 3 de ce travail.

- **Différences sur la demande d'eau entre les systèmes tarifaires sélectionnés**

La consommation d'eau des agriculteurs face à une augmentation progressive du prix de l'eau selon les deux systèmes tarifaires mobilisés, a été modélisée pour obtenir la courbe de demande comparée (voir figure 14).

Figure 14. Demande nette d'eau face à une politique tarifaire volumétrique uniforme et par paliers.

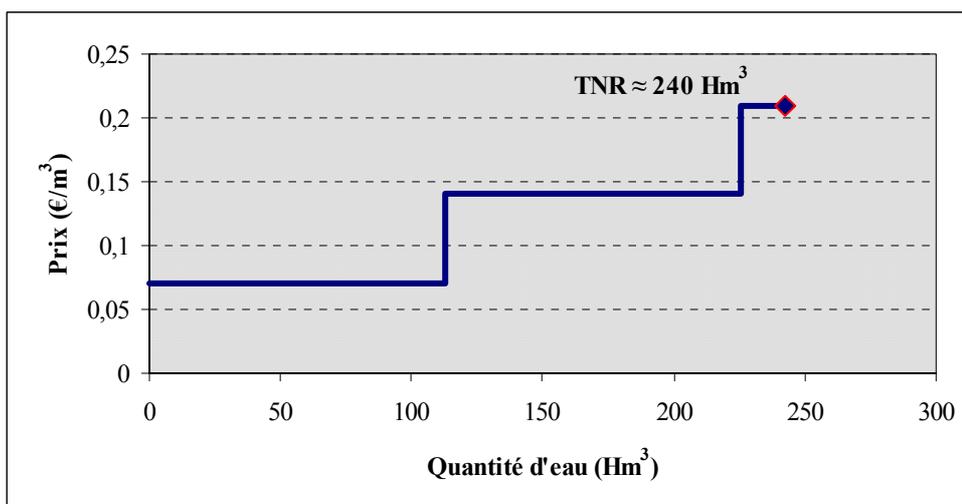


TNR : Taux naturel de recharge ; **T.unif.** : Tarif volumétrique uniforme qui permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR ; **T.pal.** : Tarif volumétrique équivalent par paliers qui permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR.

Nous pouvons observer dans la figure 15 que la courbe de demande inférieure correspond au système de tarification volumétrique par paliers. En effet, ce système incite à une épargne sur la consommation d'eau plus élevée qu'avec la tarification volumétrique uniforme. Autrement dit, pour atteindre un niveau d'épargne déterminé, dans notre cas particulier 240 Hm³, le niveau de prix doit être plus élevée dans le système uniforme (0,21 €/m³) que dans le système par paliers (0,112 €/m³).

Il faut souligner que parfois la courbe de demande par paliers présente une pente positive du fait de la propre nature de ce système (les blocs tarifaires) et qu'on a représenté des tarifs « équivalents » moyens et non des tarifs par paliers (mêmes résultats dans Sumpsi *et al.*, 1998). Au niveau des prix qui permettent d'atteindre notre objectif, la structure tarifaire par paliers est la suivante (voir figure 15).

Figure 15. Structure tarifaire par paliers lorsque l'objectif recherché est atteint.



TRN : taux naturel de recharge de l'aquifère.

A ce point là, les agriculteurs utilisent les trois paliers de la structure tarifaire. La consommation d'eau s'effectue selon la distribution suivante (voir tableau 29).

Tableau 29. Consommation d'eau avec un système de tarification volumétrique par paliers lorsque l'objectif est atteint.

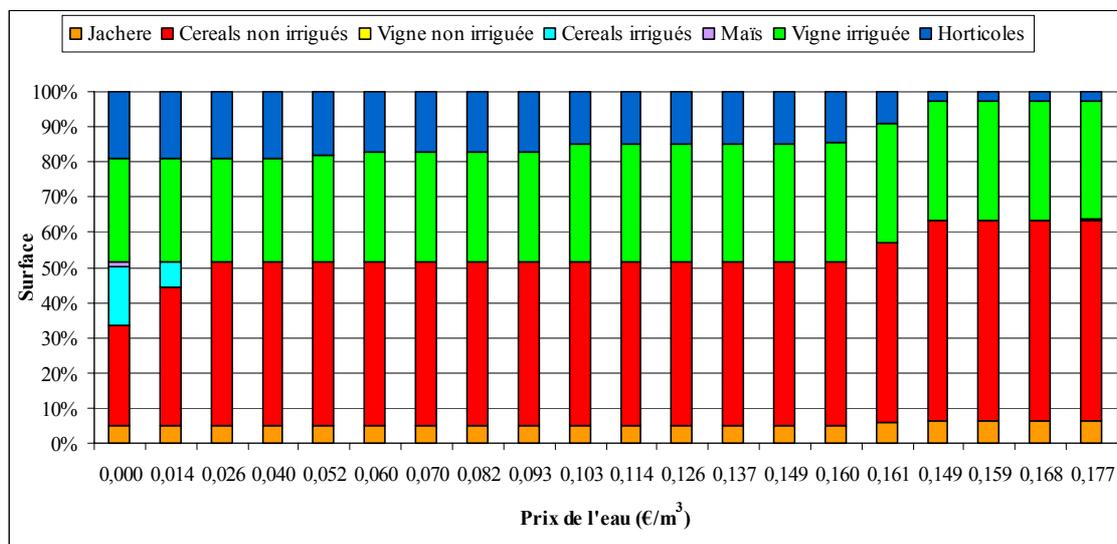
Prix (€/m ³)	Quantité d'eau utilisée (Hm ³)				TOTAL
	F1	F2	F3	F4	
0,07	33,593	30,160	28,770	20,133	112,66
0,14	27,558	42,659	14,910	27,529	112,66
0,21	0,000	15,150	1,980	0,000	17,12
TOTAL	61,15	87,97	45,66	47,66	242,43

Les résultats montrent que seules les exploitations de types 1 et 4 les plus flexibles n'utilisent pas le dernier palier. Par contre, dans le cas des exploitations du type 2 et 3, très rigides, il faudra aboutir à un tarif très élevé pour pouvoir stimuler correctement l'épargne d'eau nécessaire. A la différence de la tarification volumétrique uniforme, ce système va alors pénaliser les exploitations les plus intensives en eau. Autrement dit, la tarification par paliers est plus « équitable » que la tarification uniforme, étant entendu « l'équité » comme la distribution du coût de l'eau en fonction de la consommation de chaque irrigant. Celle-là est l'une des principales différences entre les deux systèmes, comme on l'avait déjà indiqué dans la première partie du travail.

- **Différences sur les stratégies des agriculteurs entre les systèmes tarifaires sélectionnés**

La figure 16 montre les stratégies adoptées par les agriculteurs face à une politique de tarification volumétrique par paliers.

Figure 16. Changement de l'assolement face à une politique de tarification volumétrique par paliers.



Nous pouvons observer que les agriculteurs vont suivre la même séquence face à une politique tarifaire volumétrique uniforme, que face à un système par paliers. Néanmoins, ces changements vont se produire plus rapidement avec une tarification volumétrique par paliers qu'avec la tarification volumétrique uniforme, car ce dernier incite à une épargne sur la consommation d'eau plus élevée. Ainsi, nous pouvons noter (entre la figure 11 et 16) que pour le même tarif moyen (par exemple, 0,17 €/m³), les cultures maraîchères sont beaucoup plus réduites avec le système par paliers qu'avec la tarification volumétrique uniforme.

Dans notre cas, nous n'observerons pas de changements dans l'assolement entre les systèmes tarifaires proposés, car notre objectif est de réduire la consommation d'eau jusqu'à un certain niveau. L'assolement

est pourtant le même avec un tarif volumétrique uniforme de $0,21 \text{ €/m}^3$ et un tarif volumétrique par palier équivalent de $0,112 \text{ €/m}^3$.

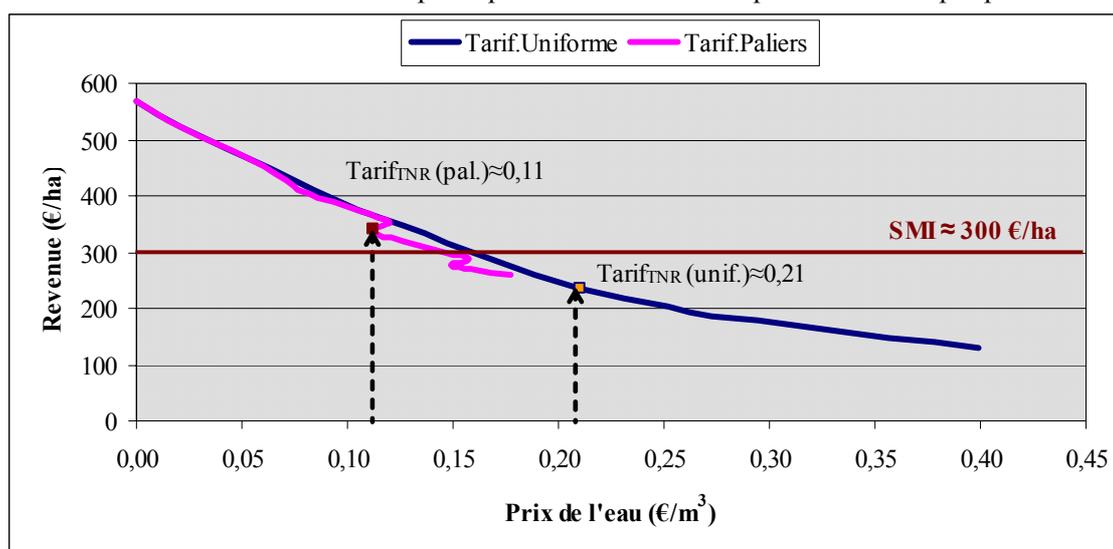
- **Différences sur le revenu des agriculteurs entre les systèmes tarifaires sélectionnés**

Les résultats montrent que la tarification volumétrique uniforme est le système qui pénalise le plus les revenus des agriculteurs. La perte de rente pour les agriculteurs est plus accusée avec une taxe progressive volumétrique puisque la consommation est toujours taxée quelque soit son niveau. Par contre, un système de tarification par paliers cause moins de dégâts parce que la taxe croît au fur et à mesure que la consommation diminue afin d'encourager à épargner l'eau.

Ainsi, pour réduire la quantité d'eau de 50% et respecter le taux de renouvellement de l'aquifère, la perte de revenu diminue de 59% lorsqu'on applique un système tarifaire uniforme, et 40% si le mécanisme établi est la tarification par paliers (voir tableau 29). Avec la tarification par paliers, le revenu moyen est de $338,66 \text{ €/ha}$, ce qui est supérieur au SMI. Les résultats par exploitation (voir annexe 3) montrent que lorsque le système instauré est la tarification par paliers, le revenu de l'exploitation 3 (et presque celui de la 4) monte au-dessus du SMI. L'exploitation type 2 continue à être pénalisée, mais elle n'a plus de revenus négatifs.

Nous avons reproduit dans la figure 17, la courbe de revenu des agriculteurs face aux deux systèmes tarifaires mobilisés.

Figure 17. Courbe de revenu avec une politique tarifaire volumétrique uniforme et par paliers.



Tarif_{TNR}(unif) : Tarif volumétrique uniforme qui permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du taux naturel de recharge (TNR) ; **Tarif_{TNR}(pal) :** Tarif volumétrique équivalent par paliers qui permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR ; SMI : Salaire minimum interprofessionnel.

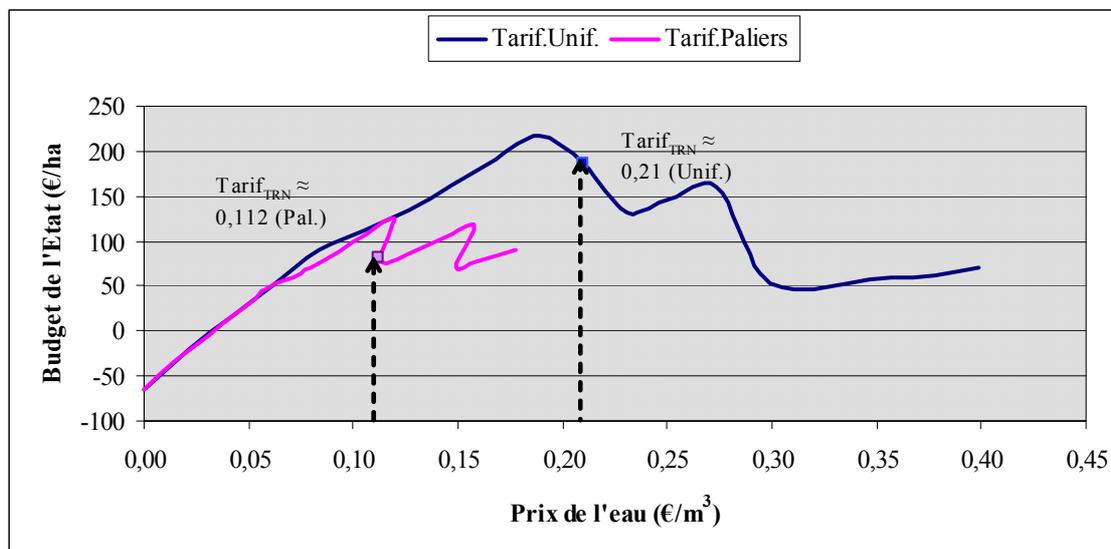
- **Différences sur le budget de l'Etat entre les systèmes tarifaires sélectionnés**

D'un point de vue budgétaire, on peut faire l'analyse opposée à celle du revenu. Nous avons déjà vu que les pertes de revenu coïncident normalement et surtout dans les parties inélastiques de la courbe de demande, avec l'augmentation des recettes et à l'inverse. Nous pouvons remarquer dans la figure 17, que les recettes du gestionnaire augmentent lorsqu'il s'agit d'un système tarifaire volumétrique. D'ailleurs, les dépenses sont presque fixes, donc on peut associer variabilité de recettes à la variabilité du budget public.

Pour conclure, nous pouvons affirmer que pour obtenir la même quantité d'eau épargnée la structure tarifaire volumétrique est le meilleur système pour collecter des recettes mais par contre, elle est aussi la plus nuisible aux agriculteurs du point de vue économique.

Le choix final entre ces deux politiques dépendra des objectifs politiques en jeu. Il s'agit donc d'un problème de décision multicritère. Nous contribuons à cette discussion, en évaluant ces deux politiques du point de vue du coût-efficacité.

Figure 18. Le budget de l'Etat face à une politique tarifaire volumétrique uniforme et par paliers.



Tarif_{TRN}(unif): Tarif volumétrique uniforme qui permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du taux naturel de recharge (TNR) ; **Tarif_{TRN}(pal):** Tarif volumétrique équivalent par paliers qui permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR.

3. Le système de quota

Contrairement aux incitations économiques des systèmes tarifaires où on cherche plutôt à générer un comportement voulu au travers de signaux économiques, un système de quotas limite le domaine des possibles pour les individus.

Dans notre cas, nous allons reproduire le type de quota initial, un système de quota volume en eau, mais avec une allocation différente. Nous avons établi un volume maximum prélevable sur la ressource par unité de temps (par an)³², et nous l'avons réparti entre les exploitations en fonction de leur surface (ou paramètre d'agrégation) selon le critère de type "grandfathering" (nous l'avons expliqué dans la troisième partie de ce travail, chapitre « scénarios de simulation »).

Donc, pour un quota global de 242,434 Hm³, l'exploitation de type 1 dispose de 75,749 Hm³ ; l'exploitation type 2 de 73,86 Hm³ ; l'exploitation type 3 de 42,53 Hm³ ; et finalement l'exploitation type 4 de 51,29 Hm³ (voir l'annexe 3, tableaux développés par exploitation). De toute façon, la dotation d'eau par hectare est maintenant identique pour toutes les exploitations ; elle se situe autour de 1.336,74 m³/ha. Selon cette distribution, les réductions de la quantité d'eau utilisée par rapport à la situation initiale sont : 60,57% pour l'exploitation du type 1 ; 29,86% pour l'exploitation type 2 ; 49,61% pour l'exploitation type 3, et 43,64% dans le cas de l'exploitation type 4.

Il est à signaler que parmi les différents instruments de gestion mobilisés jusqu'à présent, le système de quota volumétrique est la structure qui pénalise le plus la consommation d'eau pour les exploitations types 2 et 3. Ces exploitations présentent une structure très rigide. Dans le cas de l'exploitation type 2, une telle rigidité est due à ce qu'elle dispose d'une surface élevée cultivée en vigne (75%), une culture

³²Cette valeur est celle qui permet de respecter le taux de recharge de l'aquifère (230 Hm³), mais pour être exact et pour faciliter la comparaison entre les différents instruments de gestion, le quota établi est de 242,434 Hm³, quantité obtenue avec une taxe volumétrique uniforme et par paliers.

pérenne qui demande beaucoup d'investissement pour sa mise en place et donc pas facilement remplacé. L'exploitation type 3, même si elle est plus diversifiée, compte aussi avec une surface considérable de vigne, et en plus, elle est la plus petite. Par conséquent, elle ne bénéficie pas des économies d'échelle que peut avoir le reste des exploitations. Cette situation fait que son adaptation aux changements est plus faible. En ce qui nous concerne, l'analyse des impacts produit par une réduction dans la disponibilité d'eau, nous pouvons constater que ces exploitations essaient de ne pas réduire beaucoup leur consommation en eau. En général, elles vont être disposées à payer plus pour consommer plus, c'est pourquoi elles sont punies face à un système autoritaire, tel que le quota d'eau. La diminution de la quantité d'eau utilisée avec une politique tarifaire, par rapport à la situation de référence, est de 16,46 et 38,02% respectivement, des réductions inférieures à celles induites par le système de quota.

A l'opposée, les exploitations types 1 et 4 sont les plus sensibles aux changements de politiques, ce qui fait que c'est eux qui vont bénéficier de ce système. L'exploitation type 4, la plus extensive et la plus grande, s'adapte avec facilité aux réductions progressives de la disponibilité d'eau. L'exploitation type 1, à l'origine « mixte », dispose d'une dimension en surface moyenne et d'un assolement pas trop rigide, ce qui lui confère aussi un certain degré de flexibilité aux changements. La répartition de quota effectué à partir de la surface irriguée va notamment bénéficier à ces exploitations. Ainsi, nous pouvons remarquer, que la dotation par hectare est inférieure dans le cas de l'instauration des politiques tarifaires qu'avec un système de quota. La diminution de la quantité d'eau utilisée avec une politique tarifaire, par rapport à la situation de référence, est de 68,17 et 47,62% respectivement, des réductions supérieures à celles induites avec le système de quota.

L'impact comparée des différentes politiques de gestion sur la demande d'eau, les revenus des agriculteurs et les recettes et dépenses de l'Etat, lorsque la quantité d'eau utilisée est réduite jusqu'au taux naturel de recharge de l'aquifère, est affiché dans le tableau qui suit (tableau 30).

Tableau 30. Effets comparés sur la demande d'eau, les revenus, et le budget de l'Etat, des différents politiques de gestion qui permettent de réduire la consommation d'eau au niveau souhaité.

Indicateur	Scénarios simulés				
	Scénario de référence	Tar.Vol. Unif. (P=0,210 €/m ³)	Tar.Vol. Pal. (P=0,112 €/m ³)	Quota	Marché (P=0,238 €/m ³)
Revenu privé (milliers d'€)	144.345,65	53.388,09	77.045,83	104.158,31	104.185,55
Revenu privé (€/ha)	634,49	234,67	338,66	457,84	457,96
Recettes du gestionnaire (milliers d'€)	575,05	70.593,36	46.935,62	19.461,25	19.682,28
Recettes du gestionnaire (€/ha)	2,53	310,30	206,31	85,54	108,52
Dépenses publiques (milliers d'€)	29.888,91	28.356,13	28.356,13	28.351,04	28.356,11
Dépenses publics (€/ha)	119,16	124,64	124,64	124,62	124,64
Budget de l'Etat (milliers €)	-29.313,86	42.237,23	18.579,49	-8.889,79	-8.673,83
Budget de l'Etat (€/ha)	-116,63	185,66	81,67	-39,08	-16,12
Consommation d'eau (milliers m ³)	462.076,56	242.433,71	242.433,71	242.433,71	242.433,71
Consommation d'eau (milliers m ³ /ha)	2.547,81	1.336,74	1.336,74	1.336,74	1.336,74

Les changements dans l'assolement au niveau global seront les mêmes avec l'une ou l'autre politique de gestion, car la réduction d'eau globale est la même. Nous pouvons vérifier cela dans le tableau qui suit (tableau 31). Au niveau désagrégé, la surface en sec est plus élevée avec le système de quota qu'avec les mécanismes tarifaires dans le cas des exploitations F2 et F3, et moins élevée pour les exploitations F1 et

F4, car on avait vu que pour ces exploitations (F1 et F4), la réduction d'eau avec le mécanisme de quota est moins prononcée. Pour plus de détails au niveau d'exploitation, consulter l'annexe 3.

Tableau 31. L'assolement face aux différents politiques de gestion de l'eau qui permettent de réduire la consommation d'eau au niveau souhaité.

Assolement (%)			Scénarios simulés				
			Scénario de référence	Tar.Vol. Unif. (P=0,21 €/m ³)	Tar.Vol. Pal. (P=0,112 €/m ³)	Quota	Marché (P=0,238 €/m ³)
Culture	Sol	Technique					
Orge	Mauvais	En sec	14,88	45,57	45,57	45,47	45,50
Orge	Bon	En sec	0,00	5,04	5,04	5,13	5,15
Blé	Mauvais	En sec	2,34	0,14	0,14	0,25	0,21
Blé	Bon	En sec	0,00	0,58	0,58	0,42	0,47
Vigne	Bon	En sec	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00
Orge	Mauvais	Aspersions ext.	26,28	0,00	0,00	0,00	0,00
Blé	Mauvais	Aspersions ext.	2,31	0,00	0,00	0,00	0,00
Tournesol	Mauvais	Aspersions ext.	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Maïs	Mauvais	Aspersions ext.	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00
Pomme de terre	Bon	Aspersions int.	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
Melon	Bon	Goutte-à-g. ext.	5,79	9,10	9,10	9,17	9,10
Poivron	Bon	Goutte-à-g. ext.	8,91	0,00	0,00	0,00	0,00
Vigne	Bon	Goutte-à-g. int.	33,84	33,84	33,84	33,66	33,84
Jachère	Mauvais	En sec	3,69	0,49	0,00	0,00	0,00
Jachère	Mauvais	Aspersions ext.	1,45	5,21	5,70	5,70	5,70
Surface en sec			17,21	51,33	51,33	51,45	51,33
Surface irriguée			77,64	42,97	42,97	42,85	42,97
Jachère			5,14	5,70	5,70	5,70	5,70
Total			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

D'autre part, les résultats montrent qu'avec un système de quotas non échangeables, la perte globale de revenu se situe autour de 27,84%, la plus petite parmi les instruments de gestion utilisés jusqu'à présent. En effet, ce système paraît le plus « acceptable socialement », car il produit les moindres pertes de revenu pour toutes les exploitations étudiées. Ainsi, pour aboutir à notre objectif, l'exploitation type 1 devrait sacrifier 27,05% de son revenu avec un système de quotas, face à 42,36 % avec une tarification par paliers, même 53,38% avec une politique de tarification volumétrique uniforme. Nous trouvons la même tendance pour le reste des exploitations. Il faut souligner qu'avec ce système, les exploitations types 3 et 4 vont bénéficier de revenus par hectare de 479 et 372 €, notamment au-dessus du salaire minimum interprofessionnel (SMI), même l'exploitation type 2, laquelle avait des revenus négatifs avec le système de tarification volumétrique uniforme, va bénéficier d'un revenu par hectare de l'ordre de 299,11 €, en équilibre avec l'SMI.

Par rapport aux recettes collectées par l'organisme gestionnaire, nous pouvons remarquer que ce système est le moins contribuable. Les recettes proviennent des redevances d'eau (taxes forfaitaires à l'hectare et par puits), mais surtout de la légalisation des captages illégaux. C'est pourquoi le budget de l'Etat est négatif pour toutes les exploitations sauf l'exploitation type 2, à l'origine plus de 50% irriguée avec des puits illégaux. Le budget global est aussi négatif, -39,08 €/ha.

4. L'établissement d'un marché d'eau

Les marchés d'eau sont des outils de gestion plus flexibles que les instruments analysés précédemment. Ils aident à la promotion généralement de la croissance économique et diminuent la tension sociale, car ils assignent la ressource aux usages de valeur plus élevées, grâce aux échanges acceptables pour toutes les parties (Kemper, 2002).

Les caractéristiques du marché simulé ont été spécifiées dans la première partie du travail. Cependant, nous rappelons que le marché simulé dans cette recherche fait référence aux transferts d'eau qui

s'effectuent seulement dans le secteur agricole (entre agriculteurs) et qui sont limités à l'enceinte géographique de l'aquifère de la Mancha Occidentale.

Les quotas assignés aux exploitations types 1, 2, 3 et 4 dans les proportions stipulées dans la section précédente, constituent la répartition initiale des droits avant de mettre en place le fonctionnement du marché. Par conséquent, on respecte toujours le taux de renouvellement de l'aquifère.

Les valeurs duales de l'eau, obtenues à partir de la simulation du système de quotas précédent, vont délimiter la fourchette de prix « potentiels » d'échange³³. Le tableau 32 montre comme n'importe quel prix situé entre la valeur de 0,20 €/m³ (valeur duale de l'eau la plus basse, correspondant à l'exploitation type F4) et la valeur de 0,27 €/m³ (la valeur duale de l'eau la plus élevée, liée à l'exploitation type F2) est un prix possible d'échange, car l'utilité globale du système augmente. Nous avons simulé 10 niveaux de prix entre 0,201 et 0,268, avec une augmentation progressive de 0,0075 €/m³.

Tableau 32. Le marché d'eau face aux différents prix possibles d'échange.

Prix d'échange (€/m ³)	Gain global (*)	Gain par exploitation (**)				Marché d'eau	
		F1	F2	F3	F4	Théorique	Réel
0,201	36,358	0,000	52,067	0,000	-15,709	SI	NO
0,208	35,906	0,000	42,024	0,000	-6,118	SI	NO
0,216	35,486	0,000	33,295	0,000	2,192	SI	SI
0,223	35,100	0,000	25,877	0,000	9,223	SI	SI
0,231	34,746	0,000	19,769	0,000	14,977	SI	SI
0,238	34,425	0,000	14,971	0,000	19,454	SI	SI
0,246	34,134	0,000	10,422	0,000	23,712	SI	SI
0,253	33,849	0,000	4,726	0,000	29,123	SI	SI
0,261	33,564	0,000	-0,966	0,000	34,530	SI	NO
0,268	33,279	0,000	-6,655	0,000	39,934	SI	NO

(*) Gain global d'utilité par rapport au système de quotas.

(**) Gain d'utilité par exploitation par rapport au système de quotas.

Les résultats obtenus montrent que tout prix d'échange situé entre 0,021 €/m³ et 0,268 €/m³ va augmenter l'utilité espérée de l'ensemble et donc un échange théorique est possible. Néanmoins, cet échange « théorique » devient seulement réel lorsque tous les agents (exploitations) gagnent. On peut remarquer que lorsque le prix d'échange se rapproche de la valeur duale la plus petite (celle de l'exploitation type 4), les gains d'utilité de l'exploitation type 4 deviennent négatifs et du coup cette exploitation n'acceptera pas en réalité l'échange. Au contraire, lorsque le prix d'échange se rapproche de la valeur duale la plus grande (celle de l'exploitation type 2), les gains d'utilité de l'exploitation type 2 deviennent négatifs et du coup cette exploitation n'acceptera pas l'échange. Nous pouvons aussi remarquer que les exploitations avec les valeurs duales intermédiaires celles de types 1 et 3, n'expriment pas ni gains ni pertes d'utilité. Les échanges vont seulement se produire entre les deux extrêmes de la fourchette.

De cette façon, nous avons substitué la fourchette des prix possibles par la fourchette des prix réels d'échange, comprise entre les valeurs de 0,216 et 0,253 €/m³, et nous avons choisi aléatoirement un prix d'échange de 0,238 €/m³ (prix d'échange intermédiaire).

A ce niveau de prix, les exploitations types F1, F3 et F4 vont se comporter comme des vendeurs car le prix de vente (ce qui vont obtenir) est supérieur à la valeur duale (le coût d'opportunité de la ressource, ce qu'ils sont prêts à payer pour obtenir une unité ou m³ en plus d'eau). Au contraire, l'exploitation type F2 (ancienne exploitation « mixte ») va se comporter comme un acheteur car elle va pouvoir acheter de l'eau à un prix qui est inférieur à ce qu'ils sont prêts à payer.

³³ Valeurs duales de l'eau : F1=0,207 €/m³; F2=0,268 €/m³; F3=0,211 €/m³; F4=0,201 €/m³.

Au prix d'équilibre et face à une démarche de bénéfice mutuel, l'exploitation type F2 avec une structure plus intensive et plus rigide va acheter des quotas à l'exploitation type F4, qui a toujours intérêt à vendre (voir tableau 33).

Tableau 33. Quantités d'eau échangées dans un marché d'eau.

Exploitation	Quota initial (milliers m ³)	Quantité vendue (-) / achetée (+) (milliers m ³)	Quota final (milliers m ³)
F4	51.291,38	- 812,462	50.478,92
F2	73.860,39	+812,462	74.672,85
Total	125.151,77	-	125.151,77

Néanmoins, on avait souligné que notre marché n'est pas un marché parfait. En effet, nous avons pris en compte 5% de coûts de transaction qui vont occasionner des biais entre la valeur de la vente et la valeur d'achat. Normalement, les coûts dans une transaction doivent être pris en charge pour le vendeur, dans notre cas, pour l'exploitation type 4, ce qui explique que la valeur de vente est inférieure à la valeur d'achat (voir tableau 34).

Tableau 34. Les valeurs de la vente de l'achat de droits d'eau.

Exploitation	Prix d'achat/vente (€/m ³)	Quantité vendue / achetée (milliers m ³)	Valeur de la vente (+) / achat (-) (milliers €)
F4	0,226	-812,462	+ 183,6
F2	0,238	+812,462	- 193,4
Coûts de transaction (différence)	0,012	-	- 9,8

Lorsque nous atteindrons l'objectif recherché, la réduction de la quantité d'eau consommée va être la même que dans un système de quota pour les exploitations types 1 et 2, légèrement supérieure pour l'exploitation type 4 et légèrement inférieure pour l'exploitation type 2 (consulter annexe 3).

D'ailleurs, nous pouvons remarquer dans le tableau 34, que la perte globale de revenu est de 27,82%, la plus petite parmi les différents instruments utilisés, inclus le système de quota. Il va améliorer le revenu obtenu par les exploitations types 4 et 2, car ce sont elles qui réalisent l'échange.

Du point de vue budgétaire, un marché d'eau ne permet pas de collecter trop de recettes pour l'organisme gestionnaire. De la même façon qu'un système de quota non échangeable, les recettes proviennent notamment des exploitations type 2. Nous avons vu que, dans ce cas-là, la pénalisation des exploitations type 2 est plus faible et par conséquent, les recettes collectées sont plus hautes. En même temps, ce système réduit le déficit public par rapport au système de quota, mais il ne suffit pas pour équilibrer les dépenses de l'Etat. Le déficit est de 16,12 €/.

5. Analyse coût-efficacité des différents politiques publiques

Jusqu'à présent, nous avons exposé séparément le fonctionnement des différents outils de gestion de la demande en eau, leurs avantages et leurs inconvénients.

Tous ces instruments constituent des options alternatives et valables qui vont permettre d'atteindre l'objectif politique fixé au début du travail : réduire les extractions agricoles en-dessous du niveau de renouvellement de l'aquifère de la Mancha Occidentale ; un objectif qui peut être traduit en termes physiques de la façon suivante : maintenir les extractions agricoles au-dessous du seuil de 230 Hm³ par an.

Faire le choix entre les différents outils de gestion proposés, est une décision qui est du ressort du décideur public. Dans ce contexte, différents critères sont proposés pour renseigner les décideurs sur le pour et le contre de chaque outil envisagé. Nous avons identifié dans la première partie du travail

l'analyse coût bénéfice et l'analyse coût efficacité comme les méthodes d'évaluation classiques, et nous avons justifié l'application de la méthode coût efficacité grâce à la nature de notre objectif « physique ».

En restant sous cette approche, nous allons analyser le coût social des différents instruments de gestion d'eau simulés précédemment, de façon que l'outil qui entraîne le plus petit coût social sera l'outil le plus efficace pour atteindre notre objectif.

Dans le tableau suivant, on montre la perte de revenu, l'augmentation du budget public et le coût social de chaque outil étudié par rapport à la situation de référence (année, 2006). Le coût social représente la balance entre la perte de revenu des agriculteurs et l'augmentation du budget de l'Etat.

Tableau 35. Analyse coût-efficacité des différents instruments de gestion de l'eau.

Indicateur	Situation de référence	Tarif.Vol.Unif. (P=0,210 €/m ³)	Tarif..Paliers (P=0,112 €/m ³)	Quota	Marché (P=0,238 €/m ³)
Revenu (milliers d'€)	144.345,65	53.388,09	77.045,83	104.158,31	104.185,55
Perte de revenu (milliers d'€)	-	-90.957,56	-67.299,82	-40.187,34	-40.160,10
Perte de revenu (%)	-	63,01	46,62	27,84	27,82
Budget public (milliers d'€)	-29.313,86	42.237,23	18.579,49	-8.889,79	-8.673,83
Augmentation du budget public (milliers d'€)	-	71.551,09	47.893,35	20.424,07	20.640,03
Augmentation du budget public (%)	-	244,09	163,38	69,67	70,41
Coût social (milliers d'€)	-	-19.406,47	-19.406,47	-19.763,27	-19.520,06
Coût social (€/ha)	-	-85,30	-85,30	-86,87	-85,80
Coût social (€/m ³)	-	-0,0420	-0,0420	-0,0428	-0,0422
RANG (*)		1		3	2

(*) 1 est assigné à l'instrument avec le plus petit coût social. 3 est assigné à l'instrument avec le plus grand coût social. 2, représente une situation intermédiaire.

Les résultats obtenus montrent que l'option politique la plus efficace en termes de coûts est la tarification volumétrique. Cet instrument économique permet d'atteindre notre objectif de réduction de la consommation d'eau agricole avec le plus petit coût social de 19.406,47 milliers d'euros (85,30 €/ha). Le deuxième meilleur instrument placé est le marché de quotas et finalement, nous trouvons dans le dernier rang, le système de quotas non échangeables.

Ces résultats sont inattendus car la théorie économique affirme que la confrontation de l'offre et la demande sur un marché permet d'établir au prix d'équilibre, une allocation efficiente de la ressource entre les usagers. Donc nous espérons trouver le marché de quota en premier rang en lieu d'un deuxième rang. Nous pouvons l'expliquer par le fait que les hypothèses sur lesquelles repose les marchés ne sont pas respectées dans notre modèle. D'un côté, la répartition initial des droits de propriété n'est pas tout à fait neutre car on a fait payer aux illégaux le prix de la légalisation, et d'autre côté le principal souci est l'existence de coûts de transaction qui, même faibles, peuvent changer l'ordre des résultats.

Néanmoins, il est à signaler que les différences entre les coûts sociaux des différents outils ne sont pas très remarquables. Entre le plus petit et le plus grand coût social, on observe un biais de 356 milliers d'euros (seulement 1,57 €/ha).

Le coût social entre les politiques tarifaires volumétriques et par paliers est le même car nous avons choisi de tarifs équivalents. Néanmoins, du point de vu des revenus des agriculteurs et du budget de l'Etat, nous remarquons des différences considérables. Ainsi, l'instrument de gestion qui produit les pertes les plus élevées pour les agriculteurs est la tarification volumétrique uniforme, suivie de la tarification volumétrique par paliers, le système de quota et finalement le marché d'eau. Par rapport au budget public,

l'outil qui permet d'accroître plus fortement les recettes publiques est la tarification volumétrique uniforme, suivie de la tarification volumétrique par paliers, le marché d'eau et finalement le système de quotas.

Les différences augmentent lorsqu'on effectue une analyse par exploitation. Les résultats par exploitation affichés dans l'annexe 3, montrent que la différence structurelle entre les quatre types d'exploitations produisent des résultats différents lorsqu'on applique le même instrument de politique.

Pour l'exploitation type 1, assez grande et sensible aux changements de politique, la politique la plus coût efficace est le marché d'eau, et le système de quotas, car elle décide de pas vendre ses droits d'eau. Néanmoins, les différences entre le coût social de ses politiques ne sont pas non plus très importantes.

L'exploitation type 2, la plus rigide structurellement, présente un coût social notamment inférieur lorsqu'on applique une politique tarifaire. Cette exploitation, à l'origine « mixte » avec plus de la moitié des captages illégaux, fournit à l'organisme gestionnaire d'importantes recettes qui vont masquer la chute produite dans les revenus des agriculteurs. D'ailleurs, nous avons remarqué que l'établissement de ces politiques de prix pourrait compromettre très sérieusement la viabilité de ces exploitations. Le système de quotas serait l'instrument le moins désirable du point de vue coût-efficacité.

En ce qui concerne l'exploitation type 3, l'outil de gestion le plus efficace est aussi la politique tarifaire. Etant donné qu'elle ne vend pas ses droits, le système de quotas est celui du marché sont équivalents. Les différences ne sont quand même pas trop marquées.

Finalement, nous pouvons noter que le système le plus efficace pour l'exploitation type 4, la plus extensive et la plus flexible des exploitations sélectionnées, est le marché d'eau et en dernier rang les politiques tarifaires.

Conclusion

La diversité d'opinions, les conflits d'intérêts, le manque de transparence de l'information, les pressions externes et internes qui exigent la récupération des zones humides, etc., montrent la complexité de la problématique et le croissant souci de la part des autorités publiques, qui depuis vingt ans essayent, avec plus ou moins succès, de trouver une solution à la surexploitation de l'aquifère de la Mancha Occidentale dans le bassin supérieur du Guadiana, en Espagne.

L'objet de cette étude a été de prévoir le comportement des agriculteurs face à la mise en application de différentes politiques publiques visant à réduire la consommation d'eau agricole dans l'aquifère de la Mancha Occidentale, afin de promouvoir une gestion soutenable et de restaurer les zones humides dégradés des Tablas de Daimiel. Nous avons simulé des options envisageables par les principales parties intéressées privés et publics (agriculteurs et organismes gestionnaires) et nous avons introduit des nouveaux scénarios de politiques.

La première conclusion qu'on peut tirer est que les résultats qui ont été obtenus sont très contingents des choix arbitraires qu'on a faits. On a toujours essayé de s'inspirer de documents officiels et de travaux scientifiques, mais le choix final du prix de la légalisation par exemple, les niveaux des paliers dans la tarification volumétrique par paliers, de la répartition de quotas, du prix de l'échange, etc., reste quand même arbitraire.

Deuxièmement, l'analyse du contrôle des extractions révèle que l'imposition de quotas plus restrictifs aux captages « légales », ne va faire qu'intensifier les extractions « illégales ». Un contrôle effectif des extractions, exige alors un double contrôle : du côté des légaux et du côté des illégaux. La fermeture des captages illégaux ne semble pas être une solution envisageable car elle peut compromettre la viabilité de nombreuses exploitations et les constations sociales peuvent être très fortes. Une légalisation conditionnelle va réduire le conflit et le malaise social entre les agriculteurs et va fonder les bases pour établir une vraie coopération entre les agents. Néanmoins, la quantité d'eau épargnée n'est pas suffisante pour récupérer l'aquifère, ce qui justifie l'introduction de politiques de gestion de l'eau comme des mesures complémentaires.

Troisièmement, l'analyse coût-efficacité des politiques mises en application nous révèle qu'au niveau global, les politiques tarifaires volumétriques équivalentes (uniformes et par paliers) impliquent le coût le plus petit pour la société. A l'extrême opposé, le système de quotas comporte le coût social le plus élevé et il est pourtant l'outil le moins recommandable. Le marché d'eau occupe alors une position intermédiaire, ce qui dénote qu'on est loin de jouer dans un marché parfait. Il peut être expliqué d'une part, parce que la répartition initiale des droits de propriété n'est pas neutre ; d'autre part, du fait de l'existence de coûts de transactions, car même s'ils sont faibles, ils peuvent détourner les résultats.

Quatrièmement, le coût social des différentes politiques publiques envisagées est très similaire. Cela est logique du côté des politiques tarifaires, car nous avons analysé les effets de tarifs équivalents. Le gain global obtenu avec le marché de quotas est toujours plus élevé, avec n'importe quel prix d'échange possible, que le gain obtenu avec un système de quotas non échangeables, néanmoins cette différence n'est pas très importante. Cela dénote que la répartition initiale de quotas selon le critère de type « *grandfathering* » est très proche de la répartition optimale. Des différences plus marquées entre le système de quotas et du marché ont été obtenues dans le travail précédent (Blanco 2006), où les exploitations ont été divisées dichotomiquement en « légales » et « illégales ». Le travail ici présent considère une approche beaucoup plus réaliste où les exploitations sont « mixtes », ce qui produit de résultats plus nuancés.

Cinquièmement, les résultats agrégés au niveau de l'aquifère cachent des différences structurelles importantes. Les politiques tarifaires, les outils les plus recommandables du point de vue coût efficacité,

produisent des pertes très importantes dans les revenus des agriculteurs, ce qui pourrait compromettre la viabilité de beaucoup des exploitations dans la région. Ces pertes vont parfois au-dessous du salaire minimum interprofessionnel, et peuvent même atteindre des valeurs négatives, notamment dans le cas de l'ancienne exploitation mixte F2 qui dispose d'une fonction de production très rigide. A ce propos, la Directive Cadre de l'Eau de l'Union Européenne contemple dans son article 9 la prise en compte des caractéristiques agro-climatiques, structurales et institutionnelles des régions étudiées face à l'application de politiques tarifaires. Sur cette approche, le système de quotas ou les marchés d'eau semblent être des mécanismes socialement plus optimums.

Sixièmement, par conséquent, nous ne pouvons pas conclure qu'une politique tarifaire est la meilleure solution dans tous les contextes (efficacité et équité). Le choix d'un outil de politique exige la réalisation d'études additionnelles, où il faudra prendre en compte d'autres critères, tels que les coûts à long terme, l'acceptabilité des usagers, la capacité institutionnelle et les coûts de transactions de l'implémentation des politiques publiques.

Finalement, nous constatons que ce qui semblerait le plus raisonnable, est de faire une combinaison des outils proposés, tels que la combinaison d'une politique tarifaire et d'un système de quotas. Il paraît aussi judicieux d'introduire des mesures de protection environnementales (programmes spécifiques de développement rural, conditionnalité, etc.) qui aident à protéger les zones humides associés à l'aquifère de la Mancha Occidentale et à développer une agriculture durable en accord avec les principes de la Directive Cadre de l'Eau du 2000.

Références bibliographiques

1. **Abbes, K. (2005)**. Analyse de la relation agriculture-environnement : une approche bio-économique : cas de la salinisation des sols et pollution par les nitrates au nord Tunisien. Thèse de doctorat : Université Montpellier I. 302 p.
2. **Agudelo, J. (2001)**. *The economic valuation of water: Principles and methods*. Delft (NLD) : IHE. (Value of water research report series; n. 5).
3. **Anderson, T., Burt, O., Fractor, D. (1981)**. Privatizing groundwater basins : a model and applications. In : Anderson, T. (ed.). *Water Rights: Scarce Resource Allocation, Bureaucracy, and the Environment*. Cambridge: Ballinger.
4. **Arrow, K.J. et Fisher, A.C. (1974)**. Environmental preservation. Uncertainty and irreversibility. *Journal of economics*. vol 88, p. 312-319.
5. **Bergstrom, J.C. et Dorfman, J.H. (1994)**. Commodity information and willingness-to-pay for groundwater quality protection. *Review of agricultural economics*, vol. 16, p. 143-425.
6. **Blanco, I. (2006)**. Impacts de politiques alternatives dans la gestion durable des eaux souterraines pour l'agriculture: le cas de l'aquifère de la Mancha Occidentale (Bassin du Guadiana-Espagne). Master : Faculté de Sciences Economiques, Montpellier I.
7. **Blanco, I., et Varela Ortega, C. (2007)**. Integrating strategies for an efficient water management under uncertainty: empirical evidence in Spain. In : *Proceedings de la Conferencia Internacional: Water Saving in Mediterranean Agriculture & Future Research Needs, Valenzano, Italy*. Bari (ITA) : CIHEAM-IAM. (Options méditerranéennes. Serie B: Studies and Research. n° 56, vol. III).
8. **Boggess, W., Lacewell R. et Zilberman. (1993)**. Economics of water use in agriculture. In : Carlson, Zilberman et Miranowski (eds). *Agricultural and Environmental Resource Economics*. New York : Oxford University Press. p. 319-341.
9. **Boussard, J.M. (1987)**. *Economie de l'agriculture*. Paris: Economica. 320 p.
10. **Boussard, J.M., Flichman, G., Boussemart, J.P., Jacquet, F., Lefer, H.B. (1997)**. Les effets de la réforme de la PAC sur les exploitations de grande culture : changements technique et renforcement des spécialisation régionales. *Economie rurale*, n° 239, p. 20-29.
11. **Bromley, D.W. (1991)**. *Environment and economy: property rights and public policy*. Oxford (UK) : Blackwell.
12. **Burt, O.R. (1964)**. Optimal resource use over time with an application to groundwater. *Management science*, vol. 11, p. 80-93.
13. **Burt, O.R. (1967a)**. Temporal allocation of groundwater. *Water Resources Research*, vol. 3, p. 45-56.
14. **Burt, O.R. (1967b)**. Groundwater management under quadratic criteria functions. *Water Resources Research*, vol. 3, p. 673-682.
15. **Carrasco, M. (2003)**. Daimiel como paradigma de los conflictos entre comunidades de usuarios de aguas subterráneas y humedales de alto valor ecológico. In : Coletto C., Martínez-Cortina L. et Llamas MR. (eds). *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales*. Madrid : Mundiprensa. p. 3-68
16. **CGU (Comunidad General de Usuarios) (2006)**. Consejo nacional del agua. [Consulté en avril 2007] www.acuifero23.com
17. **CHG (Confederación Hidrográfica del Guadiana). (1996)**. Constitución de la Comunidad General de Usuarios del Acuífero de la Mancha Occidentale (U.H. 04.04, Acuífero 23), en las provincias de Ciudad Real, Cuenca y Albacete. Madrid : Ministerio de Medio ambiente.
18. **CHG (2004)**. Plan Especial del Alto Guadiana [en ligne]. Madrid : Ministerio de Medio ambiente. [Consulté en novembre 2007] <http://www.chguadiana.es>
19. **CHG (2005a)**. Trabajos sobre los Artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea en la cuenca del Guadiana y en los ámbitos complementarios de los ríos Tinto, Odiel y Piedras [en ligne]. Madrid : Ministerio de Medio ambiente. [Consulté en novembre 2007] <http://www.chguadiana.es>

20. **CHG (2005b)**. Régimen de Explotación para el año 2006 de la Unidad Hidrogeológica de la Mancha Occidental y un perímetro adicional de la Unidad hidrogeológica de Siterra de Altamira [en ligne]. Madrid : Ministerio de Medio ambiente. [Consulté en novembre 2007] <http://www.chguadiana.es>
21. **CHG (2006)**. Análisis económico de la demarcación hidrográfica del Guadiana según la directiva marco del agua [en ligne]. Madrid : Ministerio de Medio ambiente. [Consulté en novembre 2007] <http://www.chguadiana.es>
22. **CHG (2007)**. Régimen de Explotación para el año 2007 de la Unidad Hidrogeológica de la Mancha Occidental y un perímetro adicional de la Unidad hidrogeológica de Siterra de Altamira [en ligne]. Madrid : Ministerio de Medio ambiente. [Consulté en novembre 2007] <http://www.chguadiana.es>
23. **Chohin-Kuper, A., Rieu, T. et Montginoul, M. (2003)**. Water policy reforms: Pricing water, cost recovery, water demand and impact on agriculture. Lessons from the Mediterranean experience. Paper presented at Water Pricing Seminar, Agencia Catalana del Agua and World Bank Institute, Barcelona, 30 June-2 July.
24. **Cholin-Kuper, A., Rieu, T., Montginoul, M. (2002)**. *Les outils économiques pour la gestion de la demande en eau en Méditerranée [en ligne]*. Montpellier : CEMAGREF. 33 p. Forum « Avancées de la gestion de la demande en eau en Méditerranée », Fiuggi, 3-5 octobre 2002. [Consulté en novembre 2007]. http://www.planbleu.org/publications/fiuggi_cemagref.pdf
25. **COAG-IR (Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos, Madrid) (2005)**. Dossier sobre la cuenca del Alto Guadiana y el acuífero 23. Jornada Profesional sobre el futuro del regadío en la cuenca alta del Guadiana. Coordinadora de Agricultores y Ganaderos/Iniciativa Rural por Castilla-La Mancha et Diputación Provincial de Ciudad Real. Manzanares, Espagne, 14 Juillet, 2005.
26. **Coase, R. (1960)**. The problem of social cost, *Journal of Law and Economics*, October.
27. **Coletto C., Martínez Cortina L. et Llamas R. (2003)**. *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: la cuenca alta del Guadiana*. Madrid : Mundi Prensa. 352 p.
28. **Commission Européenne. (2000)**. Water Framework Directive: Directive 2000/60/EC of The European Parliament and of The Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.
29. **Conrad, J.M. (1999)**. *Resource Economics*. Cambridge (UK) : Cambridge University Press. 213 p.
30. **Custodio E. (2002)**. Aquifer overexploitation: what does it mean ? *Hydrogeology Journal*, vol. 10, p. 254-277.
31. **De Fraiture, C., et Perry, C. (2002)**. *Why is irrigation water demand inelastic at low price ranges ?* Paper presented at the conference on irrigation water policies: Micro an macro considerations. IWMI. 15-17 June 2002, Agadir, Morocco. Article 27, p. 465-482.
32. **De Juan Valero JA., Ortega Álvarez JF., Tarjuelo Martín-Benito JM. (2003)**. *Sistemas de cultivo. Evaluación de itinerarios técnicos*. Madrid : Mundi Prensa. 470 p.
33. **De la Hera A. (2003)**. Caracterización de los humedales de la cuenca alta del Guadiana. In : Coletto C., Martínez-Cortina L. et Llamas MR. (eds). *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales*. Madrid : Mundiprensa. p. 165-196.
34. **Dillon, J.L., Pasquale L., Scandizzo P.L., (1978)**. Risk attitudes of subsistence farms in Northeast Brazil: a sampling approach. *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 60, p. 425-435.
35. **Dirección del Estado (España). (2006)**. Real Decreto-Ley 9/2006, de 15 de septiembre, por el que se adoptan medidas urgentes para paliar los efectos producidos por la sequía en las poblaciones y en las explotaciones agrarias de regadío en determinadas cuencas hidrográficas.
36. **Feinerman, E. (1987)**. Groundwater Management: efficiency and equity considerations. *Agricultural Economics*, n. 2, p. 1-18.
37. **Fisher, I. (1923)**. *Elementary principles of economics*. New York : Macmillan.
38. **Flichman, G., Webster, P., Varela, C., Cabelguenne, M., Marques, C., Rossi A., et Boussemart, J.P. (1995)**. Analysis of socio-economic impacts of agricultural reform in certain european regions : competitiveness and environmental protection. Proyecto de la UE (contrato n. 8001-CT91-0306-4706A) Bruselas. Comision de la UE, DG VI
39. **García JM., Atance I., Barco, E., Benito, I., Compés R., Langreo A., (2006)**. La reforma de la Política Agraria Común. Preguntas y respuestas en torno al futuro de la agricultura. Madrid : Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación-Eumedia. 242 p.

40. **Garduño H., Foster, S., Dumars, Ch., Kemper, K., Tuinhof, A. et Nanni, M. (2002).** Groundwater Abstraction Rights--from theory to practice [en ligne]. (Briefing Note Series ; n. 5). Washington : Banque Mondiale. [Consulté en mai 2007] <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWRM/0,,contentMDK:20438923~pagePK:210058~piPK:210062~theSitePK:337240,00.html>
41. **Garduño H., Foster, S., Nanni, M., Kemper, K., Tuinhof, A. et Koundouri, P. (2004).** Groundwater dimensions of national water resource and river basin planning--promoting an integrated [en ligne]. (Briefing Note Series ; n. 10). Washington : Banque Mondiale. [Consulté en mai 2007]. <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWRM/0,,contentMDK:20438923~pagePK:210058~piPK:210062~theSitePK:337240,00.html>
42. **Garrido, A. (1998).** An economic analysis of water markets within the Spanish agricultural sector: Can they provide substantial benefits ? In : Easter, KW, Rosegrant, M. and Dinar, A. (eds). *Markets for Water: Potential and Performance*. New York : Kluwer Academic Publishers. p. 223-239.
43. **Gascó JM, López-Sanz G et Naredo JM. (2004).** Informe sobre los problemas del agua en La Mancha y sus posibles tratamientos, con un dictamen sobre el Proyecto de Trasvase Tajo-La Mancha llamado Sistema de abastecimiento de agua potable a las poblaciones de la llanura manchega desde el acueducto Tajo-Segura. [en ligne]. Fundación Nueva Cultura del Agua. 39 p. [Consulté en juin 2006]. <http://www.unizar.es/fnca/docu/docu85.pdf>
44. **Ghali, M.A. (2007).** Un modèle bioéconomique d'exploitation pour l'analyse de l'écoconditionnalité et des mesures agrienvironnementales de lutte contre l'érosion : les cas du Lauragais. Thèse de master : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier. 91 p.
45. **Gisser, M. (1980).** Competition versus optimal control in groundwater pumping. *Water Resources Research*, vol. 16, p. 638-642.
46. **Gleick, P.H. (2000).** *The world's water 2000-2001 : the biennial report on fresh-water resources*. Washington, D.C. : Island Press. 315 p.
47. **Gomez-Limón, J.A. et Riesgo, L. (2004).** Irrigation water pricing: differential impacts on irrigated farms. *Agricultural Economics*, vol. 31, p. 47-66.
48. **Gómez-Limón, J.A., et Riesgo, L. (2002).** Irrigation water pricing: Differential impacts on irrigated farms. Paper presented at the conference on irrigation water policies: Micro an macro considerations. IWMI. 15-17 June 2002, Agadir, Morocco. Article 7, p. 118-132.
49. **Gordon H.S. (1954).** The economic theory of a common property resource: the fishery. *Journal of Political Economy*, vol. 62, p. 124-142.
50. **Grafton, R.Q. (2000).** Governance of the Commons: A role for the State ? *Land Economics*, vol. 76, p. 504-517.
51. **Hardin G., (1968).** The tragedy of the commons. *Science*, vol. 162, p. 1243-1248.
52. **Hazell P.B.R., Norton R.D., (1986).** *Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture*. New York : Macmillan Publishing. 400 p.
53. **Hernandez-Mora, N. et López Gunn., E. (2003).** La gestión colectiva de las aguas subterráneas en La Mancha. In : Coletto C., Martinez-Cortina L. and Llamas MR. (eds). *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales*. Madrid : Mundiprensa. p. 291-324.
54. **Howe Ch.W. et Salles, J-M. (1998).** Que nous apprend le cas de la ressource en eau sur la relation entre définition des droits de propriété et efficacité des marchés ? Document présenté à la IIème Conférence internationale sur les Droits de propriété, économie et environnement. Aix-en-provence, France.
55. **Iglesias, E. (2001).** Economía y gestión de las aguas subterráneas: el caso del acuífero Mancha Occidental. Thèse de doctorat. Université Polytechnique de Madrid. 157 p.
56. **IGME (Instituto Geológico y Minero de España). (2004).** Evolución piezométrica de la UH 04.04 Mancha Occidental y del entorno del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel. Informe 4. Instituto Geológico y Minero de España. 1 p.
57. **INE (Instituto Nacional de Estadística, España). (1999).** *Censo Agrario*. Madrid : INE
58. **INE (Instituto Nacional de Estadística, España). (2005).** *Encuesta sobre la estructura de las explotaciones agrícolas*. Madrid : INE
59. **Israel, M. et Lund, J.R. (1995).** Recent California Water Transfers: Implications for Water Management. *Natural Resources Journal*, vol. 35, p. 1-32.

60. **IWMI (International Water Management Institute). (2000).** *Water supply and Demand in 2025.* Colombo (Sri Lanka) : International Water Management Institute.
61. **IWMI. (2006).** Gestion integrada de los recursos hídricos: fortalecimiento de las acciones locales [en ligne]. Eje temático n. 2 : Gestion integrada de los recursos hídricos. IV Sommet Mondial de l'Eau. GWP-IWMI, Mexique. 64 p. [Consulté en mai 2007]. <http://www.iwmi.cgiar.org/>
62. **Jacquet F., (2000).** Le risque dans le modèle d'exploitation agricole. Montpellier, CIHEAM-IAMM. 12 p.
63. **JCC-LM (Junta de Comunidades de Castilla La Mancha). (2004).** Anuario estadístico de Castilla-La Mancha. Comunidad de Castilla-La Mancha.
64. **JCC-LM (Junta de Comunidades de Castilla La Mancha). (2006).** *Consejería de Agricultura y Medio Ambiente.* Toledo : Comunidad de Castilla-La Mancha.
65. **Johansson, R.C., Tsur, Y., Roe, T.L., Doukkali, R. and Dinar, A. (2002).** Pricing irrigation water: A review of theory and practice. *Water Policy*, n. 4, p. 173-199.
66. **Jourdain, D. (2004).** Impact des politiques visant à réduire la consommation brute en eau des systèmes irrigués : le cas de puits gérés pas des collectifs de producteurs au Mexique. Thèse de doctorat, CIRAD-UM1, Montpellier. 341 p.
67. **Kemper, K., Foster, S., Garduño, H., Nanni, M. et Tuinhof, A. (2003).** *Economic Instruments for Groundwater Management using incentives to improve sustainability [en ligne].* (Briefing Note Series; n 7). Washington : Banque mondiale. [Consulté en mai 2007] <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWRM/0,,contentMDK:20438923~pagePK:210058~piPK:210062~theSitePK:337240,00.html>
68. **Kemper, K. E. (2002).** Markets for Tradable Water Rights. Focus 2020. IFPRI Washington, D.C., USA.
69. **Kolm., S-Ch. (1986).** L'allocation des ressources naturelles et le libéralisme, *Revue Economique*, 37(2), mars, p. 207-241.
70. **Llamas M.R. (2005).** Lecciones aprendidas en tres décadas de gestión de las aguas subterráneas en España y su relación con los ecosistemas acuáticos. Gonzalez-Bernaldez Lecture (2005). Universidad Autónoma de Madrid, Espagne. 66p
71. **Llamas M.R. et Martínez-Santos P. (2005b).** The Water Project WB.3 Report-Baseline Condition Report. WP 3.4. Guadiana Basin. Deliverable 3.4.1. Universidad Complutense de Madrid. Novembre, (2005).
72. **Llamas M.R. et Martínez-Santos, P. (2005a).** Intensive groundwater use: silent revolution and potential source of social conflict. *ASCE Journal of Water Resources Planning and Management* p. 337-341.
73. **Llamas MR et Custodio E. (2003).** *Intensive Use of Groundwater. Challenges and Opportunities.* The Netherlands : Balkema Publishers. 478 p.
74. **López-Gunn E. (2003).** The role of collective action in water governance: a comparative study of groundwater user associations in La Mancha aquifers, Spain. *Water International*, vol. 28, n. 3, p. 367-378.
75. **MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). (2007).** Hechos y cifras de la agricultura española.
76. **Martínez Cortina L. (2001).** Estimación de la recarga en grandes cuencas sedimentarias mediante modelos numéricos de flujo subterráneo. Aplicación a la cuenca alta del Guadiana. Thèse de doctorat, Universidad de Cantabria, Santander. 418 p.
77. **Martínez Cortina L. (2003).** Marco hidrológico de la cuenca alta del Guadiana. In : Coletto C., Martínez-Cortina L. et Llamas MR.(eds). *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales.* Madrid : Mundiprensa. p. 3-68.
78. **Martínez-Santos, P. (2007).** Hacia la gestión adaptable del acuífero de la Mancha Occidental. Thèse de doctorat. Faculté de Sciences Géologiques. Universidad Complutense de Madrid. 383 p.
79. **Mejías M. (2001).** Contribución al conocimiento hidrogeológico de la unidad hidrogeológica 04.04 (Mancha Occidental). Análisis de la evolución piezométrica. VII Simposio de Hidrogeología. Asociación Española de Hidrología Subterránea. Murcia, Espagne.
80. **Mejías P. (2002).** Etude des impacts socio-economiques des politiques de gestion de l'eau et des politiques agricoles: Modélisation de la production agricole d'un périmètre irrigué (Bassin du Guadalquivir-Espagne). Thèse du Master of Science, IAMM-CIHEAM. 169 p.

81. **Mejías, P. Varela-Ortega, C. et Flichman, G. (2004).** Integrating Agricultural Policies and Water Policies Under water supply and climate Uncertainty. *Water Resources Research*. vol. 40, n. 7.
82. **Milliman J.W. (1956).** Commonality, the price system and use of water supplies. *The Southern Journal*, vol. 22, p. 426-437.
83. **Ministerio del Medio Ambiente (2004).** Plan A.G.U.A. “Actuaciones para la Gestión y Utilización del Agua”.
84. **Ministerio del Medio Ambiente-Confederación Hidrográfica del Guadiana (2006).** Pliego de cláusulas administrativas particulares y prescripciones técnicas particulares que regirán en la oferta pública 1/06 de la Confederación Hidrográfica del Guadiana para la adquisición de derechos de agua en la Cuenta Alta del Guadiana. Ministerio del Medio Ambiente-Confederación Hidrográfica del Guadiana, Ciudad Real, 13 p.
85. **Mitchell, R.C. et Carson, R.T. (1990).** *Using surveys to value public goods: the contingent valuation method*. Washington D.C. : Resources for the future.
86. **Molle, F., Berkoff, J. (eds). (2007).** *Irrigation Water Pricing : the Gap between Theory and Practice*. IWMI/CABI. Forthcoming. Chapter 2 : Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture
87. **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, CEMAGREF-UM1, Montpellier. 296 p.
88. **Negri, D.H. (1989).** The common property aquifer as a differential game. *Water Resources Research*, vol. 25, p. 9-15.
89. **Nocentini, L. ((2001).** Application de la théorie des jeux à la gestion locale de l'eau: le cas du bassin de la Lère (Tarn et Garonne). Mémoire de DEA, Cemagref, INRA ENSAM, UM1, Montpellier, 115 p.
90. **NRC (Nacional Research Council). (1997).** *Valuing groundwater: economic concepts and approaches*. Washington DC : National Academy Press.
91. **Olmedo A, (2003).** La participación ciudadana y las comunidades de usuarios en la gestión de las aguas subterráneas y de los humedales de Castilla-La Mancha. In : Coletto C., Martinez-Cortina L. et Llamas MR.(eds). *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales*. Madrid : Mundiprensa. p. 325-346.
92. **Ostrom, E. (1990).** *Governing the commons. The evolution of institutions for collective action*, Cambridge (UK) : Cambridge university press.
93. **Ostrom, E., Burger, J., Field, C.B., Norgaard, R.B., et Policansky, D. (1999).** Revisiting the commons: local lessons, global challenges. *Science*, vol. 284, n. 5412, p. 278-288.
94. **Page, T. (1997).** On the problem of achieving efficiency and equity, intergenerationally. *Land Economics*, vol. 73, n. 4, p. 580-596.
95. **Provencher B. (1993).** A private property rights regime to replenish a groundwater aquifer. *Land Economics*, vol. 69, p. 325-340.
96. **Provencher B., et Burt. O. (1993).** The externalities associated with the common property exploitation of groundwater. *Journal of environmental economics and management*, vol. 24, p. 139-158.
97. **RAMSAR (2002).** *La convention sur les zones humides : résolutions de la 8e Session de la Conférence des Parties contractantes [en ligne]*. Valence, Espagne, 18 au 26 novembre 2002. [Consulté en juin 2007]. http://www.ramsar.org/res/key_res_viii_index_f.htm
98. **RAMSAR (2005).** *La convention RAMSAR sur les zones humides : résolutions de la 9e Session de la Conférence des Parties contractantes [en ligne]*. Kampala, Ouganda, 8 au 15 novembre 2005. [Consulté en juin 2007]. http://www.ramsar.org/res/key_res_ix_index_f.htm
99. **Randall, A. (1981).** Property entitlement and pricing policies for a maturing water economy, *The Australian Journal of Agricultural Economics*, vol. 25, n. 3, p. 195-220.
100. **Reyes, P. (1994).** Tarifas óptimas en la extracción de agua. Modelos de juegos discretos y multiprocesos. *El Trimestre Económico*, n. 243, p. 525-563.
101. **Rosegrant M.W., Cai X. et Cline S.A. (2002).** *World Water and Food to 2025. Dealing with scarcity*. Washington, D.C. : International Food Policy Research Institute.
102. **Rubio, S. J., et Casino, B. (2001).** Competitive versus efficient extraction of a common property resource : the groundwater case. *Journal of Economics Dynamics & Control*, vol. 25, p. 1117-1137.

103. **Scott A. (1955).** The fishery: the objectives of the sole ownership. *Journal of Political Economy*, vol. 63, p. 116-124.
104. **Seeman, J., Flichman, G., Scardigno, A., Steduto, P. (2007).** Analysis of nitrate pollution control policies in the irrigated agriculture of Apulia Region (Southern Italy): A bio-economic modelling approach. *Agricultural Systems*, vol. 94, n. 2, p. 357-367.
105. **SEIS (Sistema Español de Información de Suelos). (2007).** Atlas digital de comarcas de suelos [en ligne]. [Consulté en novembre 2007] <http://www.irmase.csic.es/users/microleis/mimam/atlas.htm>
106. **Sorensen, A. Et Hebbertsson, T.T. (1998).** Policy rules for exploitation of renewable resources : a macroeconomic perspective. *Environmental and Resource Economics*, vol. 12, p. 53-76.
107. **Stenger, A., et Willinger. M. (1998).** Preservation value for groundwater in a large aquifer: a contingent valuation of the Alsatian aquifer. *Journal of Environmental Management*, vol. 53, p. 177-193.
108. **Sumpsi, J.M., Garrido, A., Sagardoy, J.A., Burchi, S., Pizarro, F., Varela-Ortega, C. et Gligo, N. (2001).** Políticas e instrumentos de la gestión del agua en la agricultura. Roma : FAO-FODEPAL.
109. **Sumpsi, J.M., Garrido, G., Blanco, M., Varela Ortega, C. and Iglesias, E. (1998).** *Economía y Política de Gestión del Agua en la Agricultura*. Madrid : Mundi Prensa
110. **Tablas de Daimiel, (2006).** *Parque nacional de las Tablas de Daimiel [en ligne]*. [Consulté en juin 2006] www.lastablasdedaimiel.com
111. **Taylor, C.R. et Howitt, R. (1993).** Aggregate evaluation concept and models. Carlson, Zilberman et Miranowski (eds). *Agricultural and environmental resource economics*. Oxford University Press. p. 142-174.
112. **Tietenberg, T. (1998).** *Environnemental economics and policy*. USA : Addison-Wesley educational publishers Inc. 460 p.
113. **Tietenberg, T. (2006).** Replenishable but depletable resources : water. In : *Environmental Natural Resource Economics*. USA : Daryl Fox publisher. Chapitre 10, p. 206-232.
114. **Torell, L., Libbin, J., et Miller, M. 1990.** The Market Value of Water in the Ogallala Aquifer. *Land economics*, vol. 66, n. 2, p. 163-175.
115. **Tsur, Y. et Zemel, A. (1995).** Uncertainty and irreversibility in groundwater resource management. *Journal of Environment Economy Management*, n. 29, p. 149-161.
116. **Tsur, Y., Roe, T., Doukkali, R. et Dinar, A. (2004).** *Pricing irrigation, water principles and cases from developing countries*. Washington : Resources for the future. 319 p.
117. **Tuinhof A., Dumars, Ch., Foster, S., Kemper, K., Garduño, H. et Nanni, M. (2003).** *Groundwater Resource Management: an introduction to its scope and practice [en ligne]*. Washington : Banque Mondiale. 6 p. (Briefing Note Series ; n. 1) [Consulté en mai 2007]. <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWRM/0,,contentMDK:20438923~pagePK:210058~piPK:210062~theSitePK:337240,00.html>
118. **Turner K., Georgiou S., Clark R., Brower R., et Burke J. (2004).** *Economic valuation of water resources in agriculture. From the sectoral to a functional perspective of natural resource management*. Rome : FAO. 188 p. (Water Reports; n. 27).
119. **United Nations. (2003).** *Water for People, Water for Life*. Paris : UNESCO. 576 p. United Nations World Water Development Report.
120. **Varela C, Sumpsi J.M. and Blanco M. (2003).** Analisis económico de los conflictos entre el regadío y la conservación de humedales en el Alto Guadiana. In : Coletto C., Martinez-Cortina L. et Llamas MR.(eds). *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales*. Madrid : Mundiprensa. p. 257-276.
121. **Varela C. et Hernandez-Mora N., (2005).** Institutions and institutional reform in the Spanish water sector. A historical perspective. In : Garrido A. et Llamas Mr. (eds). *Water Policy in Spain*. Washington: Resources for the Future Press.
122. **Varela C., (2003a).** Assessment of agricultural policy options for sustainable ground-water management : a case study of wetland conservation in Spain. In : Jacquet F., Lerin F. (eds.). *Libre-échange, agriculture et environnement : L'Euro-Méditerranée et le développement rural durable : état des lieux et perspectives*. Montpellier : CIHEAM-IAMM, p. 183-197. (Options Méditerranéennes, Série A ; n°52).

123. **Varela Ortega, C., Blanco, I. (2006c).** *Fieldwork report in the Upper Guadiana Basin (Spain)*. Newater WP 1.7 Methods for transition to Adaptive Management. Proyecto Newater (n° 511179-2)-DG Investigación, Comisión Europea; Universidad Politécnica de Madrid, Madrid
124. **Varela Ortega, C., Blanco, I., et Esteve, P. (2006b).** *Economic and Agronomic aspects of water management in the Upper Guadiana Basin (Spain)*. Report for Newater WP 1.7: Methods for Transition to Adaptive Management. Proyecto Newater (n° 511179-2)-DG Investigación, Comisión Europea; Universidad Politécnica de Madrid ; Universidad Complutense de Madrid.
125. **Varela Ortega, C., Sumpsi, J.M., Garrido, A., Blanco, M. et Iglesias, E. (1998).** Water pricing policies, public decision making and farmers' response: Implications for water policy. *Agricultural Economics*, vol. 19, p. 193-202.
126. **Varela, C. (2003b).** *Implementation of water tariffs and cost recovery policy. Jamaica national Irrigation Development Plan. Final report*. Washington D.C. : Inter-American Development Bank.
127. **Varela-Ortega, C. (2007).** Policy-Driven Determinants of Irrigation Development and Environmental Sustainability: A Case Study in Spain. Dans: Molle, F. and J. Berkoff (eds): *Irrigation water pricing policy in context: exploring the gap between theory and practice*. Comprehensive Assessment of Water Management. IWMI and CABI press.
128. **Varela-Ortega, C., Simó, A. et Blanco, I. (2006a).** *The Effects of Alternative Policy Scenarios on Multifunctionality: A Case Study of Spain*. Bruxelles : ENARPRI (European Network of Agricultural Policy Research Institutes), CEPS (Center for European Policy Studies), Bruxelles. (Working Paper n° 15).
129. **Vaux, H. (2005).** The economics of groundwater resources and the American experience. In : *The Global Importance of Ground Water in the 21st Century. Proceedings of the International Symposium on Ground Water Sustainability*. National Groundwater Association, USA.
130. **Viladomiu L et Rossell J. (2003).** Intensificación agraria, agua y humedales en la cuenca alta del Guadiana. In : Coletto C., Martínez-Cortina L. et Llamas MR.(eds). *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales*. Madrid : Mundiprensa. p. 277-290
131. **World Bank (2002).** *Water Resources Sector Strategy: Strategic Directions for World Bank Engagement*. Rapport, Mars 2002

Annexes

Annexe 1. Exemple d'enquête aux exploitations agricoles



NEW APPROACHES TO ADAPTIVE WATER MANAGEMENT UNDER UNCERTAINTY 

DATOS E INFORMACIÓN SOLICITADA PARA EL PROYECTO NEWATER

ENCUESTA A LAS EXPLOTACIONES

1. Información general sobre la explotación

1.1. Localización de la explotación: provincia, comarca, municipio

2. Datos agronómicos y de las explotaciones agrarias

2.1. Superficie de la explotación (sin contar caminos, etc.):

2.2. ¿Usted tiene la tierra en propiedad, en renta o la usa en aparcería?

2.3. ¿Está usted acogido al Plan Agroambiental 7.1? ¿Al 50% o al 100%? ¿Cuánto recibe de ayudas? ¿Cuántas Has tiene acogidas? ¿Se acoge con toda la explotación...cultivos perennes no, etc.?

2.4. ¿Qué tipos suelos tiene usted en la explotación? ¿Cultiva más unos cultivos en un tipo de suelo que en otro distinguiendo entre suelo bueno, malo y regular?

2.3. Especificación de la superficie cultivada por tipo de cultivos, método de riego (lluvia, gravedad, aspersión, goteo), y técnica de riego (lluvia, algo de riego, riego intensivo):

Proporción de cultivos en secano:

TIPO DE CULTIVO	SECANO (ha)	SUELO

Proporción de cultivos en regadío:

TIPO DE CULTIVO	REGADÍO (ha)	Técnica de riego	SUELO

2.5 Rendimientos diferenciados por cultivos y por secano/regadío y por tipo de suelos (bueno, malo y regular) (Kg por hectárea):

	<i>SECANO</i>	<i>REGADÍO</i>
<i>1.Cultivo:</i>		
<i>2.</i>		
<i>3.</i>		
<i>4.</i>		
<i>5.</i>		
<i>6.</i>		

Rendimiento por tipo de suelos.

	<i>BUENO</i>	<i>MALO</i>	<i>REGULAR</i>
<i>1.Cultivo:</i>			
<i>2.</i>			
<i>3.</i>			
<i>4.</i>			
<i>5.</i>			
<i>6.</i>			

- *Ordene de mayor a menor cultivos en función del riesgo por los factores climáticos. ¿Cuánto puede variar el rendimiento en año bueno y año malo, en regadío y en secano?*

2.6. Necesidades de agua diferenciadas por cultivos y por secano/regadío (metros cúbicos):

	<i>SECANO</i>	<i>REGADÍO</i>
<i>1.Cultivo:</i>		
<i>2.</i>		
<i>3.</i>		
<i>4.</i>		
<i>5.</i>		
<i>6.</i>		

2.7. Necesidades de mano de obra diferenciadas por cultivo, secano/regadío e invierno/verano (horas/ha): preparación, abonado, siembra, fitosanitarios...

<i>Cultivo1:</i>	<i>Otoño</i>	<i>Invierno</i>	<i>Primavera</i>	<i>Verano</i>
<i>Secano</i>				
<i>Regadío poco intensivo</i>				
<i>Regadío intensivo</i>				

<i>Cultivo2:</i>	<i>Otoño</i>	<i>Invierno</i>	<i>Primavera</i>	<i>Verano</i>
<i>Secano</i>				
<i>Regadío poco intensivo</i>				
<i>Regadío intensivo</i>				

.....

2.8. Entrantes y labores de cada cultivo

Cultivo 1	Cantidad (Kg/ha; l/ha)	Periodo	Precio Unitario (€/Tn)
Semillas			
Fertilizantes			
Insecticidas			
Funguicidas			
Herbicidas			
Preparación			
Abonado			
Siembra			
Poda			
Recolección			
Mantenimiento			
Venta (especificar el mes)			

Cultivo 2	Cantidad (Kg/ha; l/ha)	Periodo	Precio Unitario (€/Tn)
Semillas			
Fertilizantes			
Insecticidas			
Funguicidas			
Herbicidas			
Preparación			
Abonado			
Siembra			
Poda			
Recolección			
Mantenimiento			
Venta			

.....

3. Datos económicos

3.1 Aunque la tenga en propiedad, ¿A cuánto está en €/Ha el alquiler en la zona (secano y regadío)? Igualmente, ¿a cuánto está la venta (secano y regadío)?

3.2 Precios de los cultivos (euros/kg):

	Precio
1.Cultivo:	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	

- Ordene de mayor a menor los cultivos en función de la variación de los precios en el mercado. ¿Variará más en secano que en regadío, no?

3.3. Primas o subvenciones recibidas y diferenciadas por cultivos (euros/ha):

	Primas (euro/ha)
1. Cultivo:	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	

3.4. Ayudas recibidas con el nuevo Pago Único. ¿Ha visto usted reducida su ayuda? ¿Cuánto?

3.5. ¿Y cuánto cree usted que debería ganar para subsistir una familia media (renta mínima)?

3.6. Costes variables especificados por cultivos y por secano/regadío (euros/ha):

En este apartado se consideran todos los costes variables menos los asociados a la mano de obra (Seguridad Social, personas contratado...) y a lo que se paga por el riego, ambos los considero separadamente.

	SECANO	REGADÍO
1. Cultivo:		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		

3.7 Costes fijos:

- ¿Cuánto cuesta poner en marcha una Ha en aspersión? ¿En goteo? ¿Qué vida útil tienen estos equipos? ¿En cuál de estos sistemas se pierde menos agua?
- ¿Cuánto cuesta construir un pozo? ¿Qué vida útil media tiene un pozo? ¿Cuánto cuesta extraer el agua (gasolina, electricidad) en €/m³? ¿Cuántos Kw cuesta subir un m³ de agua? ¿Cuánto cuesta un Kw?

3.8. Financiación

- A corto plazo: Por ejemplo, financiación de las semillas, fertilizantes..., etc. Es decir, todo lo que se utilice en la misma campaña. ¿Quién financia esto? ¿Las casas de fertilizantes, semillas..., o piden un crédito bancario? ¿Qué garantía: hipotecaria, la de la PAC, etc.? Especificar el tipo de interés, la anualidad..., etc.

- A largo plazo: Por ejemplo, construcción de los pozos, puesta en práctica de los sistemas de aspersión, goteo.... ¿Quién financia esto? ¿Se pide un crédito? Especificar el tipo de interés, la anualidad..., etc.

4. Mano de Obra:

4.1 Mano de obra familiar. ¿Qué labores hace: gestión, laboreo, supervisión, etc.? ¿Cuántas horas trabaja usted al día en Otoño-Invierno-Primavera-Verano?

4.2 ¿Se utiliza mano de obra contratada fija o/y eventual? ¿Cuántas horas trabajan respectivamente al día en Otoño-Invierno-Primavera-Verano? ¿Para qué funciones y/o cultivos la contrata?

4.3 ¿Cuánto cuesta en (€/h) la mano de obra contratada fija? ¿Y la eventual?

5. Agua

5.1 ¿De cuánto agua dispone en total (m³) por “resolución administrativa”? ¿Cuánto le permite regar el régimen de extracciones?

5.2 ¿Tiene usted caudalímetros? ¿Cuál es la cantidad de agua bruta que usted utiliza? ¿Qué pasa si su pozo se queda obsoleto? ¿Tienen derecho a hacer otro, a reprofundizar? ¿Cuántos pozos tiene y qué

características tienen esos pozos? Profundidad (m), diámetro (cm), tipo de bomba, superficie máxima regada, etc.

5.3. ¿Qué tarifas paga por el agua?

- A la C.R.: ¿Cuántos €/pozo? ¿Cuántos €/Ha regadío? ¿Cuántos €/Ha acogida al Plan de Humedales?
- A la Confederación: por limpieza de pozos, etc.
- ¿Otras tarifas relacionadas con el agua?

SOLUCIÓN AL CONFLICTO

- ¿Qué opina del centro de intercambio de derechos propuesto en el borrador del PEAG, 2006?
- ¿Considera apropiadas las cantidades de indemnización de 3.000-10.000 €/ha para los no-leñosos y 3.000-6.000 €/ha para los leñosos?
- ¿Quién cree usted que se va a acoger? ¿Usted vendería sus derechos?
- ¿Qué opina usted de que en el PEAG no se haya hecho mención a las captaciones ilegales?
- ¿Cuántos pozos ilegales tiene usted? ¿Por qué son ilegales: porque los ha cambiado de sitio, porque ha reprofundizado, porque los ha construido sin permiso, porque no ha respetado la distancia mínima obligatoria? ¿Los tiene en la misma explotación con pozos legales? ¿Cuáles son las diferencias con un pozo legal: es decir, diámetro, profundidad, bomba, etc.?
- ¿Cuántas Has ilegales tiene usted? ¿Por qué son ilegales: porque las riega desde un pozo ilegal, porque las riega con un pozo legal pero se pasa de la superficie permitida, etc.?
- ¿Qué cultivos son los que produce en esa superficie llamada "ilegal"? ¿Cuáles son las diferencias respecto a la parte legal: utiliza los mismos tipos de suelo (bueno, malo, regular), obtiene mayores rendimientos, etc.?

Annexe 2. Exemple de modélisation en GAMS

\$Ontext

This is the Base Model (These IAMM IB 2007).

Excell files are localized in F:\GAMS\IAMM\TABLES\TABLASBUENAS4.

There are 4 types of farms, 2 of them (F1&F2) have illegal wells.

This is the representation of the reality: legal farms don't respect the WAP (Water Abstraction Plan) and there are also illegal water abstractions.

The coefficient of risk aversion has been used to calibrate the model.

The PAD parameter in relation to crop distribution has been used to validate the model.

\$Offtext

\$setglobal direccion F:\GAMS\IAMM\TABLES\TABLASBUENAS4

\$offlisting

SET f farms/

f1 farm type 1 (mixed)

f2 farm type 2 (mixed)

f3 farm type 3 (legal)

f4 farm type 4 (legal)

;/

SET i legality/

le legal

il illegal

;/

SET c crops;

\$ CALL GDXXRW %direccion%CropCodeTable.xls set=c Rng=c!a2:a15 Rdim=1

\$ GDXIN CropCodeTable.GDX

\$ LOAD c

\$ GDXIN

OPTION c:0:0:1;

DISPLAY c;

SET cop(c) cop crops/

ba

wh

ma

su

pe

sr

si

;/

SET cer(c) cereals/

ba

wh

su

pe

;/

SET setas(c) setaside/

sr
si

/;

SET veg(c) vegetables/

po
pp
me
ga

/;

SET k soil /

k1 low quality
k2 good quality

/;

DISPLAY k;

SET r technique /

rf rainfed
sp1 sprinkler ext
sp2 sprinkler int
dr1 drip ext
dr2 drip int

/;

DISPLAY r;

SET ri(r) irrigation technique;

ri(r)=YES;

ri('rf')=NO;

DISPLAY ri;

SET p periods /

p1 winter
p2 summer

/;

DISPLAY p;

SET coef coefficient label;

\$ CALL GDXXRW %direccion%GrosMargin.xls set=coef Rng=coef!e2:o2 Cdim=1

\$ GDXIN GrosMargin.GDX

\$ LOAD coef

\$ GDXIN

OPTION coef:0:0:1;

DISPLAY coef;

PARAMETER co(c,k,r,coef) farm coefficients;

\$ CALL GDXXRW %direccion%GrosMargin.xls par=co Rng=coef!b2:o45 Rdim=3 Cdim=1

\$ GDXIN GrosMargin.GDX

\$ LOAD co

\$ GDXIN

OPTION co:3:2:1;

DISPLAY co;

```

SET cost_comp(coef)/
    see
    fer
    pes
    til
    sow
    pru
    har
/;
DISPLAY cost_comp;

PARAMETER vc(c,k,r) variable cost by agro technique (€ by ha);
vc(c,k,r)=SUM[coef$cost_comp(coef), co(c,k,r,coef) ];
OPTION vc:2:0:1;
DISPLAY vc;

PARAMETER rev(c,k,r) revenue by agro technique (€ by ha);
rev(c,k,r)=co(c,k,r,'qu')*co(c,k,r,'pr');
OPTION rev:2:0:1;
DISPLAY rev;

PARAMETER gm(c,k,r) gross margin by agro technique (€ by ha);
gm(c,k,r)=rev(c,k,r)-vc(c,k,r);
OPTION gm:2:0:1;
DISPLAY gm;

PARAMETER agr_v(c,k,r) variability of the nature;
$CALL GDXXRW %direccion%Risk.xls par=agr_v Rng=Nature!b3:e40 Rdim=3
$GDXIN Risk.gdx
$LOAD agr_v
$GDXIN
OPTION agr_v:2:0:1;
DISPLAY agr_v;

PARAMETER eco_v(c,k,r) variability of the market;
$CALL GDXXRW %direccion%Risk.xls par=eco_v Rng=Market!b3:e40 Rdim=3
$GDXIN Risk.gdx
$LOAD eco_v
$GDXIN
OPTION eco_v:2:0:1;
DISPLAY eco_v;

SET sn states of nature for agronomic variability/
    n1*n10
/;
DISPLAY sn;

SET sm states of market for price variability/
    m1*m10
/;
DISPLAY sm;

PARAMETER gmnv(c,k,r,sn) product variability;
gmnv(c,k,r,sn) = 1+UNIFORM(-1,1)*agr_v(c,k,r)/100;

```

OPTION gmnv:2:3:1;
DISPLAY gmnv;

PARAMETER gmmv(c,k,r,sm) market variability;
*gmmv(c,k,r,sm) = 1+UNIFORM(-1,1)*eco_v(c,k,r)/100;*
OPTION gmmv:2:3:1;
DISPLAY gmmv;

PARAMETER lr (c,r,p) labor requirement by agro technique (h per ha);
\$ CALL GDXXRW %direccion%Labor.xls par=lr Rng=Tab_Labor!g5:j52 Rdim=3
\$ GDXIN Labor.GDX
\$ LOAD lr
\$ GDXIN
OPTION lr:2:2:1;
DISPLAY lr;

PARAMETER scal() scalars;*
\$ CALL GDXXRW %direccion%scalars.xls par=scal Rng=BaseM!c3:d200 Rdim=1
\$ GDXIN scalars.GDX
\$ LOAD scal
\$ GDXIN
OPTION scal:8:0:1;
DISPLAY scal;

SCALAR phi risk aversion coefficient;

PARAMETER surf(k,f) total surface (thousands of ha);
surf('k1','f1')=scal('surf11');
surf('k1','f2')=scal('surf12');
surf('k1','f3')=scal('surf13');
surf('k1','f4')=scal('surf14');
surf('k2','f1')=scal('surf21');
surf('k2','f2')=scal('surf22');
surf('k2','f3')=scal('surf23');
surf('k2','f4')=scal('surf24');

PARAMETER sirr(i,f) irrigation surface (thousands of ha);
sirr('le','f1')=scal('sirr_le1');
sirr('il','f1')=scal('sirr_il1');
sirr('le','f2')=scal('sirr_le2');
sirr('il','f2')=scal('sirr_il2');
sirr('le','f3')=scal('sirr_le3');
sirr('il','f3')=scal('sirr_il3');
sirr('le','f4')=scal('sirr_le4');
sirr('il','f4')=scal('sirr_il4');

PARAMETER surf_vi(i,f) current surface in the region for vineyard (thousands of ha);
surf_vi('le','f1')=scal('svi_le1');
surf_vi('il','f1')=scal('svi_il1');
surf_vi('le','f2')=scal('svi_le2');
surf_vi('il','f2')=scal('svi_il2');
surf_vi('le','f3')=scal('svi_le3');
surf_vi('il','f3')=scal('svi_il3');
surf_vi('le','f4')=scal('svi_le4');
surf_vi('il','f4')=scal('svi_il4');

PARAMETER *sfp_st(f)* single farm payment setaside (€);
sfp_st('f1')=scal('sfp_st1');
sfp_st('f2')=scal('sfp_st2');
sfp_st('f3')=scal('sfp_st3');
sfp_st('f4')=scal('sfp_st4');
 DISPLAY *sfp_st*;

PARAMETER *sfp_cop(f)* single farm payment setaside (€);
sfp_cop('f1')=scal('sfp_cop1');
sfp_cop('f2')=scal('sfp_cop2');
sfp_cop('f3')=scal('sfp_cop3');
sfp_cop('f4')=scal('sfp_cop4');
 DISPLAY *sfp_cop*;

PARAMETER *num_f(f)* number of farms (thousands of farms);
num_f('f1')=scal('num_f1');
num_f('f2')=scal('num_f2');
num_f('f3')=scal('num_f3');
num_f('f4')=scal('num_f4');

PARAMETER *la_fa(p,f)* available family labor (thousands of h);
la_fa('p1','f1')= scal('la_fawf1') ;
la_fa('p1','f2')= scal('la_fawf2') ;
la_fa('p1','f3')= scal('la_fawf3') ;
la_fa('p1','f4')= scal('la_fawf4') ;
la_fa('p2','f1')= scal('la_fasf1') ;
la_fa('p2','f2')= scal('la_fasf2') ;
la_fa('p2','f3')= scal('la_fasf3') ;
la_fa('p2','f4')= scal('la_fasf4') ;

PARAMETER *water_a(i,f)* maximum available water (thousands of m3);
water_a('le','f1')=scal('wa_le1');
water_a('il','f1')=scal('wa_il1');
water_a('le','f2')=scal('wa_le2');
water_a('il','f2')=scal('wa_il2');
water_a('le','f3')=scal('wa_le3');
water_a('il','f3')=scal('wa_il3');
water_a('le','f4')=scal('wa_le4');
water_a('il','f4')=scal('wa_il4');

PARAMETER *well_n(i,f)* number of wells (thousands of wells);
well_n('le','f1')=scal('well_le1');
well_n('il','f1')=scal('well_il1');
well_n('le','f2')=scal('well_le2');
well_n('il','f2')=scal('well_il2');
well_n('le','f3')=scal('well_le3');
well_n('il','f3')=scal('well_il3');
well_n('le','f4')=scal('well_le4');
well_n('il','f4')=scal('well_il4');

PARAMETER *well_t(i)* well tariff (€ per well);
well_t('le')=scal('twell_le');
well_t('il')=scal('twell_il');

PARAMETER *wp_ha(i)* water price (area tariff) (€ per ha);
wp_ha('le')=scal('t_ha_le');
wp_ha('il')=scal('t_ha_il');

PARAMETER *alpha(i)* polynomial coefficients;
alpha('le')=scal('alpha1');
alpha('il')=scal('alpha2');

PARAMETER *beta(i)* polynomial coefficients;
beta('le')=scal('beta1');
beta('il')=scal('beta2');

PARAMETER *delta(i)* polynomial coefficients;
delta('le')=scal('delta1');
delta('il')=scal('delta2');

***SURFACE OBSERVED-----

PARAMETER *cerf(f)* rainfed cereals;
cerf('f1')=scal('cerf1');
cerf('f2')=scal('cerf2');
cerf('f3')=scal('cerf3');
cerf('f4')=scal('cerf4');

PARAMETER *cerirr(f)* irrigated cereals;
cerirr('f1')=scal('cerirr1');
cerirr('f2')=scal('cerirr2');
cerirr('f3')=scal('cerirr3');
cerirr('f4')=scal('cerirr4');

PARAMETER *ma(f)* mais;
ma('f1')=scal('ma1');
ma('f2')=scal('ma2');
ma('f3')=scal('ma3');
ma('f4')=scal('ma4');

PARAMETER *sg(f)* sugarbeet;
sg('f1')=scal('sg1');
sg('f2')=scal('sg2');
sg('f3')=scal('sg3');
sg('f4')=scal('sg4');

PARAMETER *veget(f)* vegetables;
veget('f1')=scal('veg1');
veget('f2')=scal('veg2');
veget('f3')=scal('veg3');
veget('f4')=scal('veg4');

PARAMETER *virf(f)* rainfed vineyard;
virf('f1')=scal('virf1');
virf('f2')=scal('virf2');
virf('f3')=scal('virf3');
virf('f4')=scal('virf4');

PARAMETER viirrf(f) irrigated vineyard;

viirrf('f1')=scal('viirr1');
viirrf('f2')=scal('viirr2');
viirrf('f3')=scal('viirr3');
viirrf('f4')=scal('viirr4');

PARAMETER setasi(f) setaside;

setasi('f1')=scal('setas1');
setasi('f2')=scal('setas2');
setasi('f3')=scal('setas3');
setasi('f4')=scal('setas4');

*The set 'fo(c,k,r)' restrict the feaseable production activities-----

SET fo(c,k,r) feaseable options/

ba.(k1,k2).(rf,sp1,sp2),
wh.(k1,k2).(rf,sp1,sp2),
ma.(k1,k2).(sp1,sp2),
su.(k1,k2).(rf,sp1,sp2),
sg.(k1,k2).(sp1,sp2),
pe.(k1,k2).rf,
po.k2.sp2,
me.k2.dr1,
pp.k2.dr1,
ga.k2.sp2,
*vi.(k1,k2).(rf,dr1),
vi.(k1,k2).(rf,dr1,dr2),
sr.(k1,k2).rf,
si.(k1,k2).sp1

;/
DISPLAY fo;

*-----

VARIABLE

U utility
U2(f) utility2
Z(f) income (thousands of €)
ZV(f,sn,sm) variable income (thousands of €)

;

POSITIVE VARIABLE

X(c,k,r,i,f) crop surface (thousands of ha)
L(p,f) total labor (thousands of h)
LFA(p,f) family labour (thousands of h)
LHI(p,f) hired labor (thousands of h)
WC(i,f) water consumption (thousands of m3)
TWC(i) total water consumption (thousands of m3)
TPC(i,f) total pumping cost (thousands of €)
SIGMA standard deviation of the expected income
VINE(i,f) level of investment in vineyard surface (thousand of ha)
VINE2(i,f) level of extraction in vineyard surface (thousand of ha)

;
LFA.up(p,f)=la_fa(p,f);

EQUATION

E_UTILITY global utility
E_UTILITY2(f) global utility per farm type
E_INCOME1 F1 farm income
E_INCOME1V1(sn,sm) F1 farm income by market and agronomic states
E_INCOME2 F2 farm income
E_INCOME2V2(sn,sm) F2 farm income by market and agronomic states
E_INCOME3 F3 farm income
E_INCOME3V3(sn,sm) F3 farm income by market and agronomic states
E_INCOME4 F4 farm income
E_INCOME4V4(sn,sm) F4 farm income by market and agronomic states
E_STDEV(f) standard deviation accounting
E_SURFACE(k,f) surface constraint
E_SURFIRR (i,f) surface irrigated constraint
E_SURFVIN(i,f) vineyard surface constraint
E_MAXVINE maximal surface of vineyard
E_LABAL(p,f) labor balance
E_WCONSUM(i,f) water consumption by farm and year
E_WCONSUM2(i,f) water consumption by farm and year
E_TWATER(i) total water consumption
E_PUMPCOST(i,f) total pumping cost
E_SETMIN(f) minimum setaside surface
E_SETMAX(f) maximum setaside surface

;

E_UTILITY.. $U = e = \text{SUM} [f, Z(f) - \text{phi} * \text{SIGMA}(f)];$

E_UTILITY2(f).. $U2(f) = e = Z(f) - \text{scal}('phi') * \text{SIGMA}(f);$

E_INCOME1.. $Z('f1') = e = \text{SUM} [(c,k,r,i) \$fo(c,k,r), \text{gm}(c,k,r) * X(c,k,r,i,'f1')]$
 $+ \text{SUM} [(c,k,r,i) \$fo(c,k,r), \text{co}(c,k,r,'sb') * \text{scal}('coup') * \text{scal}('modu') * X(c,k,r,i,'f1')]$
 $+ [sfp_st('f1') + sfp_cop('f1') * \text{scal}('decoup')] * \text{scal}('modu') * \text{num}_f('f1')$
 $- \text{SUM} [(p), LFA(p,'f1') * \text{scal}('la_fa_oc')]$
 $- \text{SUM} [(p), LHI(p,'f1') * \text{scal}('la_hi_wa')]$
 $- \text{SUM} [(i), TPC(i,'f1')] - \text{SUM} [(i), \text{sirr}(i,'f1') * \text{wp_ha}(i)]$
 $- \text{SUM} [(i), \text{well_t}(i) * \text{well_n}(i,'f1')]$
 $- \text{scal}('c_vine') * \text{SUM} [(i), VINE(i,'f1')]$
 $- \text{scal}('c_vine2') * \text{SUM} [(i), VINE2(i,'f1')]$

;

E_INCOME1V1(sn,sm).. $ZV('f1',sn,sm) = e = \text{SUM} [(c,k,r,i) \$fo(c,k,r),$
 $\text{gmmv}(c,k,r,sn) * \text{gmmv}(c,k,r,sm) * \text{gm}(c,k,r) * X(c,k,r,i,'f1')]$
 $+ \text{SUM} [(c,k,r,i) \$fo(c,k,r), \text{co}(c,k,r,'sb') * \text{scal}('coup') * \text{scal}('modu') * X(c,k,r,i,'f1')]$
 $+ [sfp_st('f1') + sfp_cop('f1') * \text{scal}('decoup')] * \text{scal}('modu') * \text{num}_f('f1')$
 $- \text{SUM} [(p), LFA(p,'f1') * \text{scal}('la_fa_oc')]$
 $- \text{SUM} [(p), LHI(p,'f1') * \text{scal}('la_hi_wa')]$
 $- \text{SUM} [(i), TPC(i,'f1')] - \text{SUM} [(i), \text{sirr}(i,'f1') * \text{wp_ha}(i)]$
 $- \text{SUM} [(i), \text{well_t}(i) * \text{well_n}(i,'f1')]$

$$- \text{scal}('c_vine') * \text{SUM}[i, \text{VINE}(i, 'f1')]]$$

$$- \text{scal}('c_vine2') * \text{SUM}[i, \text{VINE2}(i, 'f1')]]$$

;

$$E_INCOME2.. \quad Z(f2') = e = \text{SUM}[(c,k,r,i) \$fo(c,k,r), \text{gm}(c,k,r) * X(c,k,r,i, 'f2')]$$

$$+ \text{SUM}[(c,k,r,i) \$fo(c,k,r), \text{co}(c,k,r, 'sb') * \text{scal}('coup') * \text{scal}('modu') * X(c,k,r,i, 'f2')]$$

$$+ [\text{sfp_st}(f2') + \text{sfp_cop}(f2') * \text{scal}('decoup')] * \text{scal}('modu') * \text{num_f}(f2')$$

$$- \text{SUM}[(p), \text{LFA}(p, 'f2') * \text{scal}('la_fa_oc')]$$

$$- \text{SUM}[(p), \text{LHI}(p, 'f2') * \text{scal}('la_hi_wa')]$$

$$- \text{SUM}[(i), \text{TPC}(i, 'f2')] - \text{SUM}[(i), \text{sirr}(i, 'f2') * \text{wp_ha}(i)]$$

$$- \text{SUM}[(i), \text{well_t}(i) * \text{well_n}(i, 'f2')]$$

$$- \text{scal}('c_vine') * \text{SUM}[(i), \text{VINE}(i, 'f2')]$$

$$- \text{scal}('c_vine2') * \text{SUM}[(i), \text{VINE2}(i, 'f2')]$$

;

$$E_INCOMEV2(sn,sm).. \quad ZV(f2',sn,sm) = e = \text{SUM}[(c,k,r,i) \$fo(c,k,r),$$

$$\text{gmnv}(c,k,r,sn) * \text{gmnv}(c,k,r,sm) * \text{gm}(c,k,r) * X(c,k,r,i, 'f2')]$$

$$+ \text{SUM}[(c,k,r,i) \$fo(c,k,r), \text{co}(c,k,r, 'sb') * \text{scal}('coup') * \text{scal}('modu') * X(c,k,r,i, 'f2')]$$

$$+ [\text{sfp_st}(f2') + \text{sfp_cop}(f2') * \text{scal}('decoup')] * \text{scal}('modu') * \text{num_f}(f2')$$

$$- \text{SUM}[(p), \text{LFA}(p, 'f2') * \text{scal}('la_fa_oc')]$$

$$- \text{SUM}[(p), \text{LHI}(p, 'f2') * \text{scal}('la_hi_wa')]$$

$$- \text{SUM}[(i), \text{TPC}(i, 'f2')] - \text{SUM}[(i), \text{sirr}(i, 'f2') * \text{wp_ha}(i)]$$

$$- \text{SUM}[(i), \text{well_t}(i) * \text{well_n}(i, 'f2')]$$

$$- \text{scal}('c_vine') * \text{SUM}[(i), \text{VINE}(i, 'f2')]$$

$$- \text{scal}('c_vine2') * \text{SUM}[(i), \text{VINE2}(i, 'f2')]$$

;

$$E_INCOME3.. \quad Z(f3') = e = \text{SUM}[(c,k,r,i) \$fo(c,k,r), \text{gm}(c,k,r) * X(c,k,r,i, 'f3')]$$

$$+ \text{SUM}[(c,k,r,i) \$fo(c,k,r), \text{co}(c,k,r, 'sb') * \text{scal}('coup') * \text{scal}('modu') * X(c,k,r,i, 'f3')]$$

$$+ [\text{sfp_st}(f3') + \text{sfp_cop}(f3') * \text{scal}('decoup')] * \text{scal}('modu') * \text{num_f}(f3')$$

$$- \text{SUM}[(p), \text{LFA}(p, 'f3') * \text{scal}('la_fa_oc')]$$

$$- \text{SUM}[(p), \text{LHI}(p, 'f3') * \text{scal}('la_hi_wa')]$$

$$- \text{SUM}[(i), \text{TPC}(i, 'f3')] - \text{SUM}[(i), \text{sirr}(i, 'f3') * \text{wp_ha}(i)]$$

$$- \text{SUM}[(i), \text{well_t}(i) * \text{well_n}(i, 'f3')]$$

$$- \text{scal}('c_vine') * \text{SUM}[(i), \text{VINE}(i, 'f3')]$$

$$- \text{scal}('c_vine2') * \text{SUM}[(i), \text{VINE2}(i, 'f3')]$$

;

$$E_INCOMEV3(sn,sm).. \quad ZV(f3',sn,sm) = e = \text{SUM}[(c,k,r,i) \$fo(c,k,r),$$

$$\text{gmnv}(c,k,r,sn) * \text{gmnv}(c,k,r,sm) * \text{gm}(c,k,r) * X(c,k,r,i, 'f3')]$$

$$+ \text{SUM}[(c,k,r,i) \$fo(c,k,r), \text{co}(c,k,r, 'sb') * \text{scal}('coup') * \text{scal}('modu') * X(c,k,r,i, 'f3')]$$

$$+ [\text{sfp_st}(f3') + \text{sfp_cop}(f3') * \text{scal}('decoup')] * \text{scal}('modu') * \text{num_f}(f3')$$

$$- \text{SUM}[(p), \text{LFA}(p, 'f3') * \text{scal}('la_fa_oc')]$$

$$- \text{SUM}[(p), \text{LHI}(p, 'f3') * \text{scal}('la_hi_wa')]$$

$$- \text{SUM}[(i), \text{TPC}(i, 'f3')] - \text{SUM}[(i), \text{sirr}(i, 'f3') * \text{wp_ha}(i)]$$

$$- \text{SUM}[(i), \text{well_t}(i) * \text{well_n}(i, 'f3')]$$

$$- \text{scal}('c_vine') * \text{SUM}[(i), \text{VINE}(i, 'f3')]$$

$$- \text{scal}('c_vine2') * \text{SUM}[(i), \text{VINE2}(i, 'f3')]$$

;

$$E_INCOME4.. \quad Z(f4') = e = \text{SUM}[(c,k,r,i) \$fo(c,k,r), \text{gm}(c,k,r) * X(c,k,r,i, 'f4')]$$

$$+ \text{SUM}[(c,k,r,i) \$fo(c,k,r), \text{co}(c,k,r, 'sb') * \text{scal}('coup') * \text{scal}('modu') * X(c,k,r,i, 'f4')]$$

$$+ [\text{sfp_st}(f4') + \text{sfp_cop}(f4') * \text{scal}('decoup')] * \text{scal}('modu') * \text{num_f}(f4')$$

$$- \text{SUM}[(p), \text{LFA}(p, 'f4') * \text{scal}('la_fa_oc')]$$

$$- \text{SUM}[(p), \text{LHI}(p, 'f4') * \text{scal}('la_hi_wa')]$$

- SUM[(i),TPC(i,'f4')] - SUM[(i), sirr(i,'f4') * wp_ha(i)]
 - SUM[(i), well_t(i)*well_n(i,'f4')]
 - scal('c_vine')*SUM[(i),VINE(i,'f4')]
 - scal('c_vine2')*SUM[(i),VINE2(i,'f4')]

;

E_INCOMEV4(sn,sm).. ZV(f4',sn,sm) =e= SUM[(c,k,r,i)\$fo(c,k,r),
 gmnv(c,k,r,sn)*gmnv(c,k,r,sm)*gm(c,k,r) * X(c,k,r,i,'f4')]
 + SUM[(c,k,r,i)\$fo(c,k,r), co(c,k,r,'sb') * scal('coup')*scal('modu')*X(c,k,r,i,'f4')]
 + [sfp_st('f4')+sfp_cop('f4')*scal('decoup')]*scal('modu')*num_f('f4')
 - SUM[(p), LFA(p,'f4') * scal('la_fa_oc')]
 - SUM[(p), LHI(p,'f4') * scal('la_hi_wa')]
 - SUM[(i),TPC(i,'f4')] - SUM[(i), sirr(i,'f4') * wp_ha(i)]
 - SUM[(i), well_t(i)*well_n(i,'f4')]
 - scal('c_vine')*SUM[(i),VINE(i,'f4')]
 - scal('c_vine2')*SUM[(i),VINE2(i,'f4')]

;

E_STDEV(f).. SIGMA(f) =e= sqrt [[SUM[(sn,sm), sqr[ZV(f,sn,sm)-Z(f)]]] /
 [CARD(sn)*CARD(sm)]] ;

E_SURFACE(k,f).. SUM[(c,r,i)\$fo(c,k,r), X(c,k,r,i,f)] =l= surf(k,f);

E_SURFIRR(i,f).. SUM[(c,k,ri)\$fo(c,k,ri), X(c,k,ri,i,f)] =l= sirr(i,f);

E_SURFVIN(i,f).. SUM[(k,r)\$fo('vi',k,r), X('vi',k,r,i,f)] =e= surf_vi(i,f)+ VINE(i,f)- VINE2(i,f);

E_MAXVINE.. SUM[(i,f), VINE(i,f)] =l= scal('maxvine');

E_LABAL(p,f).. SUM[(c,k,r,i)\$fo(c,k,r), lr(c,r,p) * X(c,k,r,i,f)] =l= LFA(p,f) + LHI(p,f);

E_WCONSUM(i,f).. WC(i,f) =e= SUM[(c,k,r)\$fo(c,k,r), co(c,k,r,'wat')*X(c,k,r,i,f)];

E_WCONSUM2(i,f).. SUM[(c,k,r)\$fo(c,k,r), co(c,k,r,'wat')*X(c,k,r,i,f)] =l= water_a(i,f);

E_TWATER(i).. TWC(i) =e= SUM[f, WC(i,f)];

E_PUMPCOST(i,f).. TPC(i,f) =e= alpha(i)*SQR[WC(i,f)] + beta(i)*WC(i,f) + delta(i);

E_SETMIN(f).. SUM[(setas,k,r,i)\$fo(setas,k,r), X(setas,k,r,i,f)] =g=
 scal('s_min')*SUM[(cop,k,r,i),X(cop,k,r,i,f)];

E_SETMAX(f).. SUM[(setas,k,r,i)\$fo(setas,k,r), X(setas,k,r,i,f)] =l=
 scal('s_max')*SUM[(cop,k,r,i),X(cop,k,r,i,f)];

MODEL

BCM base case model /

all /

;

*

SET risk simulations /risk1*risk14/

PARAMETER res(*,*,*)

PARAMETER res1(*,*,*,*)
 PARAMETER res2(*,*,*,*)
 PARAMETER res3(*,*,*,*,*)
 PARAMETER res4(*,*,*,*,*)
 PARAMETER res5(*,*,*,*,*,*,*) results;

LOOP(risk,
 phi = 0 + 0.15*(ord(risk)-1);

SOLVE BCM USING NLP MAXIMIZING U ;

*\$Ontext

res('Utility','thous€',risk)=U.l;
 res('Utility','€/ha',risk)=U.l/SUM[(k,f), surf(k,f)];
 res('TotalIncome','thous€',risk)=SUM[f,Z.l(f)];
 res('TotalIncome','€/ha',risk)=SUM[f,Z.l(f)]/SUM[(k,f), surf(k,f)];
 res('TotalWC','thousM3',risk)=SUM[i, TWC.l(i)];
 res('TotalWC','M3/ha',risk)=SUM[i, TWC.l(i)]/[SUM[(i,f), sirr(i,f)];
 res('TRcovery','thous€',risk)= SUM[(i,f), sirr(i,f)*wp_ha(i)] + SUM[(i,f), well_t(i)*well_n(i,f)];
 res('TRcovery','€/ha',risk)= [SUM[(i,f), sirr(i,f)*wp_ha(i)] + SUM[(i,f),
 well_t(i)*well_n(i,f)]]/SUM[(k,f), surf(k,f)];
 res('SFP','thous€',risk)= [SUM[f, sfp_st(f)] + SUM[f, sfp_cop(f)]*scal('decoup')]*scal('modu')*SUM[f,
 num_f(f)];
 res('TExpendit','thous€',risk)= SUM[(c,k,r,i,f), co(c,k,r,'sb') * scal('coup')*scal('modu')*X.l(c,k,r,i,f)]+
 res('SFP','thous€',risk);
 res('TExpendit','€/ha',risk)= res('TExpendit','thous€',risk)/SUM[(k,f), surf(k,f)];

res1('surfT','thousha',f,risk)= SUM[k, surf(k,f)];
 res1('SFP','thous€',f,risk)= [sfp_st(f)+sfp_cop(f)*scal('decoup')]*scal('modu')*num_f(f);

res2('Utility2','thous€',f,risk)= U2.l(f);
 res2('Utility2','€/ha',f,risk)=U2.l(f)/SUM[(k), surf(k,f)];
 res2('Income','thous€',f,risk)=Z.l(f);
 res2('Income','€/ha',f,risk)=Z.l(f)/SUM[(k), surf(k,f)];
 res2('TWC','thousM3',i,risk)=TWC.l(i);
 res2('WC','thousM3',f,risk)= SUM[(i), WC.l(i,f)];
 res2('WC','M3/ha',f,risk)= SUM[(i), WC.l(i,f)]/SUM[(i), sirr(i,f)];
 res2('Recovery','thous€',f,risk)= SUM[(i), sirr(i,f)*wp_ha(i)] + SUM[(i), well_t(i)*well_n(i,f)];
 res2('Rcovery','€/ha',f,risk)= [SUM[(i), sirr(i,f)*wp_ha(i)] + SUM[(i), well_t(i)*well_n(i,f)]]/SUM[k,
 surf(k,f)];
 res2('Expendit','thous€',f,risk)= SUM[(c,k,r,i), co(c,k,r,'sb') * scal('coup')*scal('modu')*X.l(c,k,r,i,f)]+
 res1('SFP','thous€',f,risk) ;
 res2('Expendit','€/ha',f,risk)= res2('Expendit','thous€',f,risk)/SUM[k, surf(k,f)];

res2('LandHire','€/ha',f,risk)= [surf('k1',f)*E_SURFACE.M('k1',f)+
 surf('k2',f)*E_SURFACE.M('k2',f)]/SUM[k, surf(k,f)];

res3('WaterC','thousM3',i,f,risk)=WC.l(i,f);
 res3('UnitWaterC','M3/ha',i,f,risk)=WC.l(i,f)/[sirr(i,f)];
 res3('TPumpCost','thous€',i,f,risk)=TPC.l(i,f);
 res3('UnitCost','€/m3',i,f,risk)=TPC.l(i,f)/[WC.l(i,f)];
 res3('WaterCost','thous€',i,f,risk)= TPC.l(i,f)+ sirr(i,f) * wp_ha(i)+ well_t(i)*well_n(i,f);
 res3('UnitWaterCost','€/ha',i,f,risk)= [TPC.l(i,f)+sirr(i,f) * wp_ha(i)+well_t(i)*well_n(i,f)]/[sirr(i,f)];

res4('FamL','thousH',p,f,risk)=LFA.l(p,f);

res4('HiredL','thousH',p,f,risk)=LHL.l(p,f);
 res4('TLabor','thousH',p,f,risk)=LFA.l(p,f)+LHL.l(p,f);

res5('CropDistrib','thousHa',c,k,r,i,f,risk)=X.l(c,k,r,i,f);
 res5('CropDistrib2','%','c,k,r,i,f,risk)=100*X.l(c,k,r,i,f)/res1('surfT','thousha',f,risk);
 res5('VerifCrop','%',' ',' ',' ','f,risk)=SUM[(c,k,r,i),res5('CropDistrib2','%','c,k,r,i,f,risk)];

*** PAD CALCUL-----

*Surface simulated

res1('Tcerrf','thousHa',f,risk)=SUM[(cer,k,i),X.l(cer,k,'rf',i,f)];
 res1('Tcerirr','thousHa',f,risk)=SUM[(cer,k,ri,i),X.l(cer,k,ri,i,f)];
 res1('Tmais','thousHa',f,risk)=SUM[(k,ri,i),X.l('ma',k,ri,i,f)];
 res1('Tsg','thousHa',f,risk)=SUM[(k,ri,i),X.l('sg',k,ri,i,f)];
 res1('Tveg','thousHa',f,risk)=SUM[(veg,k,ri,i),X.l(veg,k,ri,i,f)];
 res1('Tvirf','thousHa',f,risk)=SUM[(k,i),X.l('vi',k,'rf',i,f)];
 res1('Tviirr','thousHa',f,risk)=SUM[(k,ri,i),X.l('vi',k,ri,i,f)];
 res1('Tset','thousHa',f,risk)=SUM[(setas,k,r,i),X.l(setas,k,r,i,f)];

res1('CerrfSim','%','f,risk)=100*[SUM[(cer,k,i),X.l(cer,k,'rf',i,f)]/res1('surfT','thousha',f,risk)];
 res1('CerirrSim','%','f,risk)=100*[SUM[(cer,k,ri,i),X.l(cer,k,ri,i,f)]/res1('surfT','thousha',f,risk)];
 res1('MaSim','%','f,risk)=100*[SUM[(k,ri,i),X.l('ma',k,ri,i,f)]/res1('surfT','thousha',f,risk)];
 res1('SgSim','%','f,risk)=100*[SUM[(k,ri,i),X.l('sg',k,ri,i,f)]/res1('surfT','thousha',f,risk)];
 res1('VegSim','%','f,risk)=100*[SUM[(veg,k,ri,i),X.l(veg,k,ri,i,f)]/res1('surfT','thousha',f,risk)];
 res1('VirfSim','%','f,risk)=100*[SUM[(k,i),X.l('vi',k,'rf',i,f)]/res1('surfT','thousha',f,risk)];
 res1('ViirrSim','%','f,risk)=100*[SUM[(k,ri,i),X.l('vi',k,ri,i,f)]/res1('surfT','thousha',f,risk)];
 res1('SetasSim','%','f,risk)=100*[SUM[(setas,k,r,i),X.l(setas,k,r,i,f)]/res1('surfT','thousha',f,risk)];

res1('VerifSim','%','f,risk)=res1('CerrfSim','%','f,risk)+res1('CerirrSim','%','f,risk)+
 res1('MaSim','%','f,risk)+
 res1('SgSim','%','f,risk)+res1('VegSim','%','f,risk)+res1('VirfSim','%','f,risk)+
 res1('ViirrSim','%','f,risk)+res1('SetasSim','%','f,risk);

*Surface observated

res1('CerfObs','%','f,risk)=100*[cerf(f)/res1('surfT','thousha',f,risk)];
 res1('CerirrObs','%','f,risk)=100*[cerirr(f)/res1('surfT','thousha',f,risk)];
 res1('MaObs','%','f,risk)=100*[ma(f)/res1('surfT','thousha',f,risk)];
 res1('SgObs','%','f,risk)=100*[sg(f)/res1('surfT','thousha',f,risk)];
 res1('VegObs','%','f,risk)=100*[veget(f)/res1('surfT','thousha',f,risk)];
 res1('VirfObs','%','f,risk)=100*[virf(f)/res1('surfT','thousha',f,risk)];
 res1('ViirrObs','%','f,risk)=100*[viirr(f)/res1('surfT','thousha',f,risk)];
 res1('SetasObs','%','f,risk)=100*[setasi(f)/res1('surfT','thousha',f,risk)];

res1('VerifObs','%','f,risk)=res1('CerfObs','%','f,risk)+res1('CerirrObs','%','f,risk)+
 res1('MaObs','%','f,risk)+res1('SgObs','%','f,risk)+res1('VegObs','%','f,risk)+res1('VirfObs','%','f,risk)+
 res1('ViirrObs','%','f,risk)+res1('SetasObs','%','f,risk);

*Diferences (Simulated-Observated)

res1('CerfDif','%','f,risk)=res1('CerrfSim','%','f,risk)-res1('CerfObs','%','f,risk);
 res1('CerirrDif','%','f,risk)=res1('CerirrSim','%','f,risk)-res1('CerirrObs','%','f,risk);
 res1('MaDif','%','f,risk)=res1('MaSim','%','f,risk)-res1('MaObs','%','f,risk);
 res1('SgDif','%','f,risk)=res1('SgSim','%','f,risk)-res1('SgObs','%','f,risk);
 res1('VegDif','%','f,risk)=res1('VegSim','%','f,risk)-res1('VegObs','%','f,risk);
 res1('VirfDif','%','f,risk)=res1('VirfSim','%','f,risk)-res1('VirfObs','%','f,risk);

```
res1('ViirrDif','%',f,risk)= res1('ViirrSim','%',f,risk)- res1('ViirrfObs','%',f,risk);
res1('SetasDif','%',f,risk)= res1('SetasSim','%',f,risk)- res1('SetasObs','%',f,risk);
```

**PAD=Sum of absolved deviations*

```
res1('PHI',' ',',',risk)=phi;
res1('PAD','%',f,risk)=
abs[res1('CerfDif','%',f,risk)]+abs[res1('CerirrDif','%',f,risk)]+abs[res1('MaDif','%',f,risk)]
+abs[res1('SgDif','%',f,risk)]+abs[res1('VegDif','%',f,risk)]+abs[res1('VirfDif','%',f,risk)]
+abs[res1('ViirrDif','%',f,risk)]+abs[res1('SetasDif','%',f,risk)];
```

**** PAD FINAL CALCUL-----*

);

OPTION res:3:1:1, res1:3:2:1,res2:3:2:1,res3:3:3:1,res4:3:3:1,res5:3:6:1;

OPTION

LIMROW=0

LIMCOL=0

SOLPRINT=off

SOLPRINT=on

SYSOUT=off

;

DISPLAY res,res1,res2,res3,res4,res5;

**\$Ontext*

EXECUTE_UNLOAD 'PolicyScenariosIAM.gdx', res ;

EXECUTE 'GDXXRW.EXE PolicyScenariosIAM.gdx Par=res Rng=BMPhi!a4' ;

EXECUTE_UNLOAD 'res_BModellIAM.gdx', res ;

EXECUTE 'GDXXRW.EXE res_BModellIAM.gdx Par=res Rng=MBPhi!a4' ;

EXECUTE_UNLOAD 'res_BModellIAM.gdx', res2 ;

EXECUTE 'GDXXRW.EXE res_BModellIAM.gdx Par=res2 Rng=MBPhi!a14' ;

EXECUTE_UNLOAD 'res_BModellIAM.gdx', res3 ;

EXECUTE 'GDXXRW.EXE res_BModellIAM.gdx Par=res3 Rng=MBPhi!a30' ;

EXECUTE_UNLOAD 'res_BModellIAM.gdx', res4 ;

EXECUTE 'GDXXRW.EXE res_BModellIAM.gdx Par=res4 Rng=MBPhi!a47' ;

EXECUTE_UNLOAD 'res_BModellIAM.gdx', res5 ;

EXECUTE 'GDXXRW.EXE res_BModellIAM.gdx Par=res5 Rng=MBPhi!a57' ;

**\$Offtext*

Annexe 3. Résultats pour exploitation

Situation de référence (I)

Indicateur	F1		F2		F3	F4
	Légal	Illégal	Légal	Illégal	Légal	Légal
Revenu de l'exploitation (milliers d'€)	60.232,71		33.369,47		20.751,38	29.992,09
Revenu de l'exploitation (€/ha)	1.062,92		603,93		534,31	390,82
Recettes du gestionnaire (milliers d'€)	177,59		86,58		139,10	171,78
Recettes du gestionnaire (€/ha)	3,13		1,57		3,58	2,24
Dépenses publics (milliers d'€)	6.654,76		3.121,17		5.926,03	14.186,95
Dépenses publics (€/ha)	117,44		56,49		152,59	184,87
Consommation d'eau (milliers m ³)	125.666,67	66.445,93	45.066,67	60.230,63	73.666,67	91.000,00
Consommation d'eau totale (milliers m ³)	192.112,60		105.297,30			
Consommation d'eau (milliers m ³ /ha)	3.168,03	3.908,54	2.330,36	1.677,02	2.370,99	2.371,61
Consommation d'eau moyenne (milliers m ³ /ha)	3.390,19		1.905,69			
Coûts d'eau (milliers €)	8.029,58	5.450,85	2.967,70	4.990,49	4.635,36	5.726,53
Coûts d'eau totaux (milliers €)	13.480,43		7.958,20			
Coûts d'eau (€/ha)	202,42	320,63	153,46	138,95	149,19	149,24
Coûts d'eau moyens (€/ha)	237,89		144,03			
Coûts d'eau (€/m ³)	0,064	0,082	0,066	0,083	0,06	0,06
Coûts d'eau moyens (€/m ³)	0,070		0,076			

Situation de référence (II)

Assolement (%)			F1		F2		F3	F4
Culture	Sol	Technique	Légal	Illégal	Légal	Illégal	Légal	Légal
Orge	Mauvais	En sec	0,00		0,00		10,14	38,97
Orge	Bon	En sec	0,00		0,00		0,00	0,00
Blé	Mauvais	En sec	1,22		1,31		4,06	3,03
Blé	Bon	En sec	0,00		0,00		0,00	0,00
Vigne	Bon	En sec	0,00		0,00		0,00	0,00
Orge	Mauvais	Aspersion extensive	29,31	1,29	7,72	6,79	29,31	1,29
Blé	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	3,12	1,23	0,00	0,00	3,12
Tournesol	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00
Maïs	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00
Pomme de terre	Bon	Aspersion intensive	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01
Melon	Bon	Goutte-à-g. extensive	0,00	0,00	4,10	0,00	0,00	0,00
Poivron	Bon	Goutte-à-g. extensive	18,34	12,83	0,86	0,00	18,34	12,83
Vigne	Bon	Goutte-à-g. intensive	22,35	7,65	20,10	54,90	22,35	7,65
Jachère	Mauvais	En sec	0,00		0,00		5,80	8,00
Jachère	Mauvais	Aspersion extensive	3,88		2,00		0,00	0,00
Surface en sec			13,98		4,52		1,22	1,31
Surface irriguée			54,24	27,89	70,00	24,90	35,00	61,69
Jachère			3,88		2,00		3,88	2,00
Total			100,00		100,00		100,00	100,00

Le control des extractions légales : le « Régime d'Exploitation » (I)

Indicateur	F1		F2		F3	F4
	Légal	Illégal	Légal	Illégal	Légal	Légal
Revenu de l'exploitation (milliers d'€)	59.682,25		32.996,55		20.077,18	25.851,05
Revenu de l'exploitation (€/ha)	1.053,20		597,18		516,95	336,86
Recettes du gestionnaire (milliers d'€)	177,59		86,58		139,10	171,78
Recettes du gestionnaire (€/ha)	3,13		1,57		3,58	2,24
Dépenses publics (milliers d'€)	6.403,24		3.055,02		5.499,12	13.727,42
Dépenses publics (€/ha)	113,00		55,29		141,59	178,88
Consommation d'eau (milliers m ³)	87.267,61	93.813,71	29.008,42	71.990,52	49.712,06	38.370,51
Consommation d'eau totale (milliers m ³)	181.081,32		100.998,94			
Consommation d'eau (milliers m ³ /ha)	2.200,00	5.518,39	1.500,00	2.004,46	1.600,00	1.000,00
Consommation d'eau moyenne (milliers m ³ /ha)	3.195,52		1.827,90			
Coûts d'eau (milliers €)	5.499,34	7.569,82	2.132,55	5.868,04	3.271,44	2.698,39
Coûts d'eau totaux (milliers €)	13.069,16		8.000,59			
Coûts d'eau (€/ha)	138,64	445,28	110,27	163,39	105,29	70,32
Coûts d'eau moyens (€/ha)	230,63		144,80			
Coûts d'eau (€/m ³)	0,063	0,081	0,074	0,082	0,07	0,07
Coûts d'eau moyens (€/m ³)	0,072		0,079			

Le control des extractions légales : le « Régime d'Exploitation » (II)

Assolement (%)			F1		F2		F3	F4
Culture	Sol	Technique	Légal	Illégal	Légal	Illégal	Légal	Légal
Orge	Mauvais	En sec	12,04		3,12		51,58	71,50
Orge	Bon	En sec	0,00		0,00		0,00	2,76
Blé	Mauvais	En sec	1,94		1,40		0,62	0,14
Blé	Bon	En sec	0,00		0,00		0,00	0,85
Vigne	Bon	En sec	0,00		0,00		0,00	0,00
Orge	Mauvais	Aspersion extensive	19,42	0,00	9,94	2,58	0,00	0,00
Blé	Mauvais	Aspersion extensive	1,54	0,00	0,43	0,54	0,00	0,00
Tournesol	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maïs	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pomme de terre	Bon	Aspersion intensive	0,01	0,01	0,02	0,00	0,03	0,03
Melon	Bon	Goutte-à-g. extensive	0,00	0,00	0,01	4,01	10,94	6,36
Poivron	Bon	Goutte-à-g. extensive	10,93	20,23	0,07	0,88	3,03	0,00
Vigne	Bon	Goutte-à-g. intensive	22,35	7,65	20,10	54,90	28,00	10,00
Jachère	Mauvais	En sec	0,00		0,00		0,00	0,00
Jachère	Mauvais	Aspersion extensive	3,88		2,00		5,80	8,36
Surface en sec			13,98		4,52		52,20	75,25
Surface irriguée			54,24	27,89	30,57	62,91	42,00	16,39
Jachère			3,88		2,00		5,80	8,36
Total			100,00		100,00		100,00	100,00

Le contrôle des extractions illégales : la « fermeture » des puits illégaux

Indicateur	F1	F2	F3	F4
Revenu de l'exploitation (milliers d'€)	45.934,09	1.293,61	20.077,18	25.851,05
Revenu de l'exploitation (€/ha)	810,59	23,41	516,95	336,86
Recettes du gestionnaire (milliers d'€)	177,59	86,58	139,10	171,78
Recettes du gestionnaire (€/ha)	3,13	1,57	3,58	2,24
Dépenses publics (milliers d'€)	6.154,19	2.829,59	5.499,12	13.727,42
Dépenses publics (€/ha)	108,60	51,21	141,59	178,88
Consommation d'eau (milliers m ³)	87.267,61	29.008,42	49.712,06	38.370,51
Consommation d'eau (milliers m ³ /ha)	2.200,00	1.500,00	1.600,00	1.000,00
Coûts d'eau (milliers €)	5.499,34	2.132,55	3.271,44	2.698,39
Coûts d'eau (€/ha)	138,64	110,27	105,29	70,32
Coûts d'eau (€/m ³)	0,063	0,074	0,066	0,070

Assolement (%)			F1	F2	F3	F4
Culture	Sol	Technique				
Orge	Mauvais	En sec	34,10	14,04	51,58	71,50
Orge	Bon	En sec	6,06	0,00	0,62	2,76
Blé	Mauvais	En sec	0,00	3,79	0,00	0,14
Blé	Bon	En sec	2,37	1,78	0,00	0,85
Vigne	Bon	En sec	7,65	54,90	0,00	0,00
Orge	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	0,00	0,00	0,00
Blé	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	0,00	0,00	0,00
Tournesol	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	0,00	0,00	0,00
Maïs	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	0,00	0,00	0,00
Pomme de terre	Bon	Aspersion intensive	0,05	0,25	0,03	0,03
Melon	Bon	Goutte-à-g. extensive	22,69	2,97	10,94	6,36
Poivron	Bon	Goutte-à-g. extensive	0,00	0,00	3,03	0,00
Vigne	Bon	Goutte-à-g. intensive	22,35	20,10	28,00	10,00
Jachère	Mauvais	En sec	0,00	0,00	0,00	0,00
Jachère	Mauvais	Aspersion extensive	4,73	2,18	5,80	8,36
Surface en sec			50,18	74,51	52,20	75,25
Surface irriguée			45,09	23,32	42,00	16,39
Jachère			4,73	2,18	5,80	8,36
Total			100,00	100,00	100,00	100,00

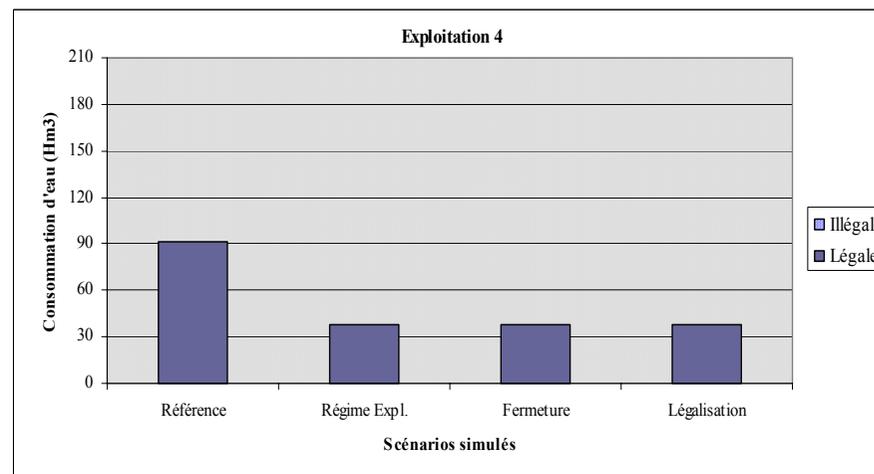
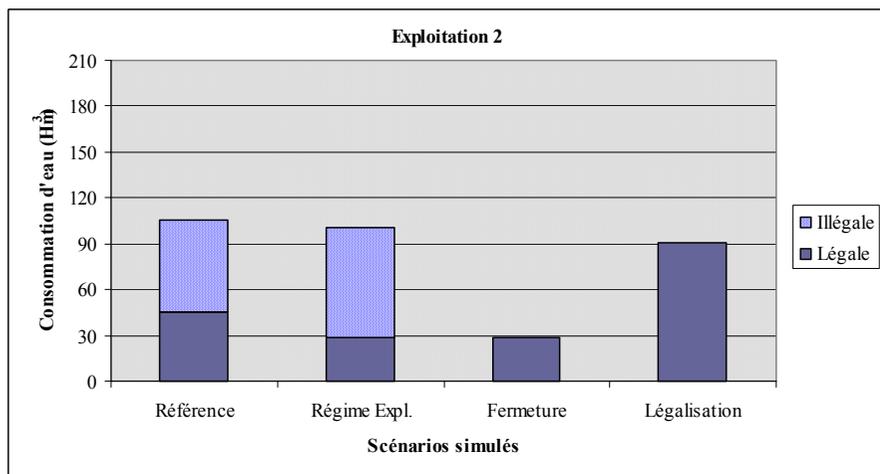
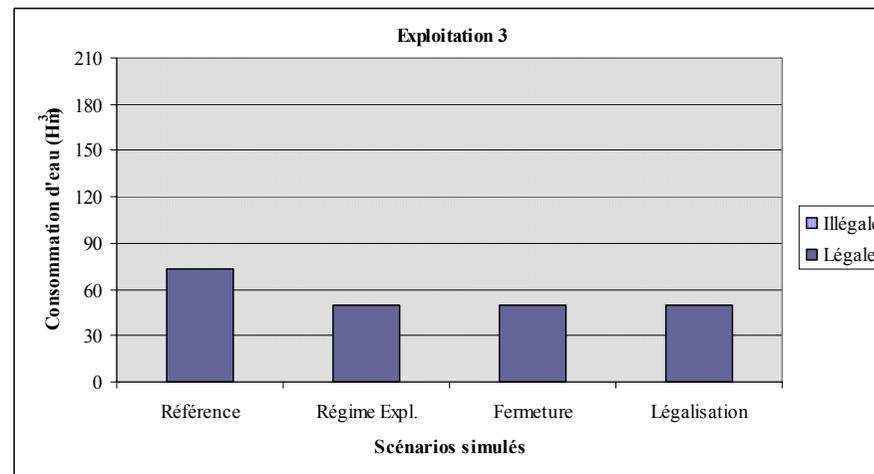
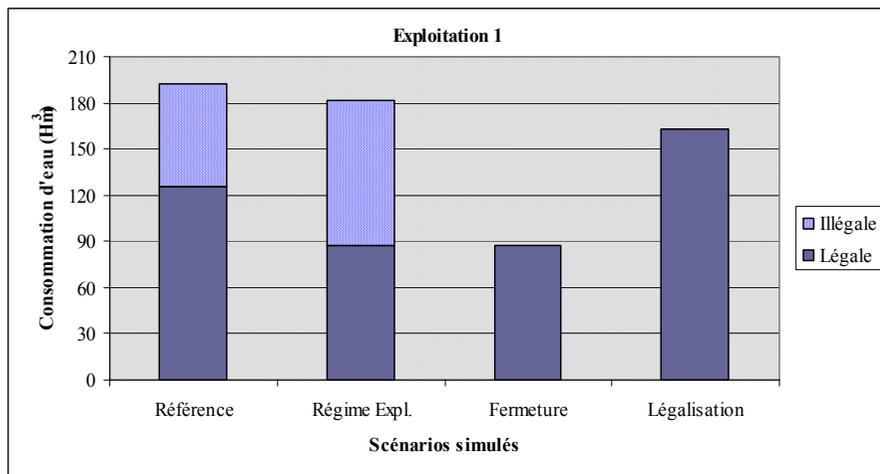
Le contrôle des extractions illégales : la « légalisation » des puits illégaux

Indicateur	F1	F2	F3	F4
Revenu de l'exploitation (milliers d'€)	52.157,93	15.723,26	20.077,18	25.851,05
Revenu de l'exploitation (€/ha)	920,42	284,56	516,95	336,86
Recettes du gestionnaire (milliers d'€)	7.547,21	17.267,41	139,10	171,78
Recettes du gestionnaire (€/ha)	133,18	312,51	3,58	2,24
Dépenses publics (milliers d'€)	5.990,21	2.795,84	5.499,12	13.727,42
Dépenses publics (€/ha)	105,71	50,60	141,59	178,88
Consommation d'eau (milliers m ³)	163.086,76	90.212,13	49.712,06	38.370,51
Consommation d'eau (milliers m ³ /ha)	2.877,97	1.632,68	1.600,00	1.000,00
Coûts d'eau (milliers €)	11.948,71	7.630,99	3.271,44	2.698,39
Coûts d'eau (€/ha)	210,86	138,11	105,29	70,32
Coûts d'eau (€/m ³)	0,073	0,085	0,066	0,070

Assolement (%)			F1	F2	F3	F4
Culture	Sol	Technique				
Orge	Mauvais	En sec	34,54	17,79	51,58	71,50
Orge	Bon	En sec	0,00	0,00	0,62	2,76
Blé	Mauvais	En sec	0,40	0,22	0,00	0,14
Blé	Bon	En sec	0,00	0,00	0,00	0,85
Vigne	Bon	En sec	0,00	0,00	0,00	0,00
Orge	Mauvais	Aspersions extensive	0,00	0,00	0,00	0,00
Blé	Mauvais	Aspersions extensive	0,00	0,00	0,00	0,00
Tournesol	Mauvais	Aspersions extensive	0,00	0,00	0,00	0,00
Mais	Mauvais	Aspersions extensive	0,00	0,00	0,00	0,00
Pomme de terre	Bon	Aspersions intensive	0,02	0,01	0,03	0,03
Melon	Bon	Goutte-à-g. extensive	0,00	3,67	10,94	6,36
Poivron	Bon	Goutte-à-g. extensive	31,16	1,32	3,03	0,00
Vigne	Bon	Goutte-à-g. intensive	30,00	75,00	28,00	10,00
Jachère	Mauvais	En sec	0,00	0,00	0,00	0,00
Jachère	Mauvais	Aspersions extensive	3,88	2,00	5,80	8,36
Surface en sec			50,18	74,51	34,94	18,01
Surface irriguée			45,09	23,32	61,18	79,99
Jachère			4,73	2,18	3,88	2,00
Total			100,00	100,00	100,00	100,00

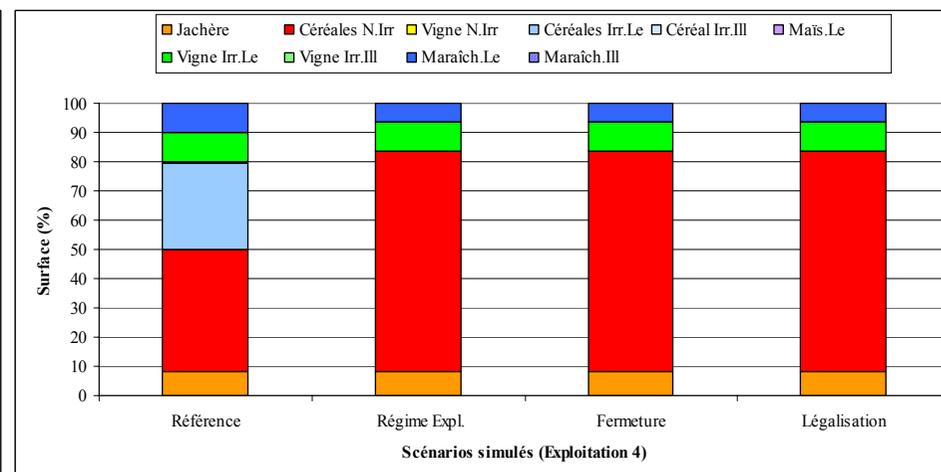
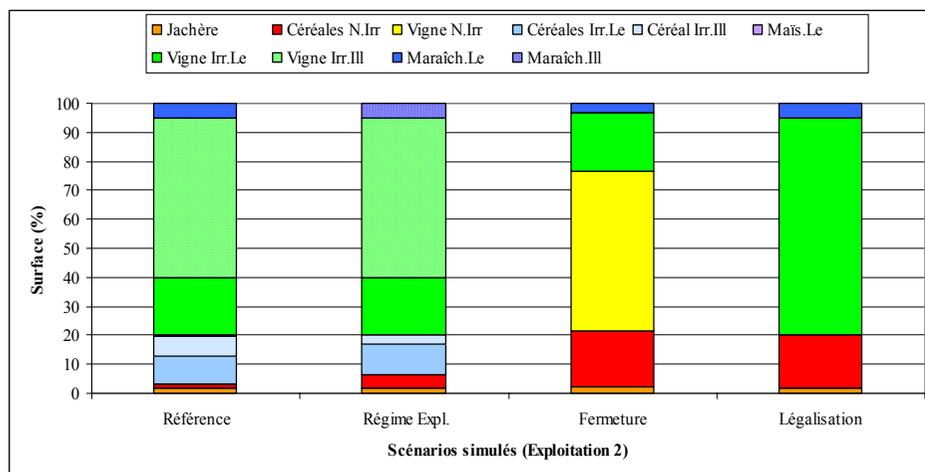
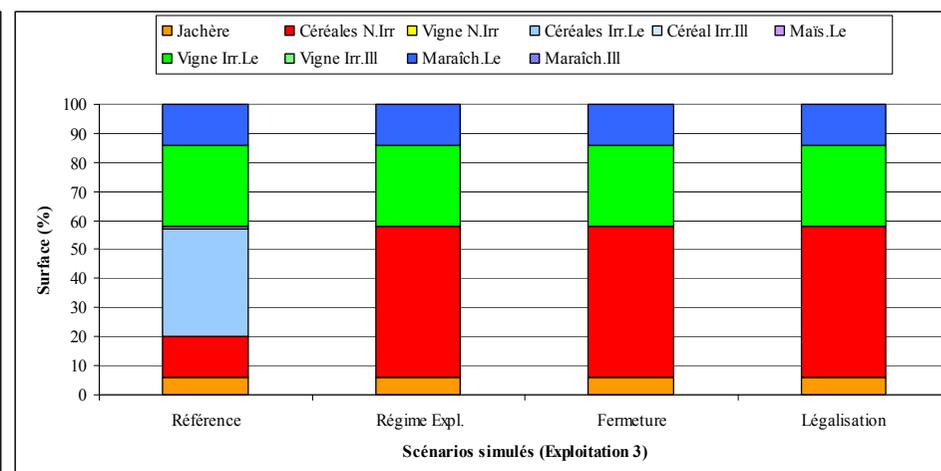
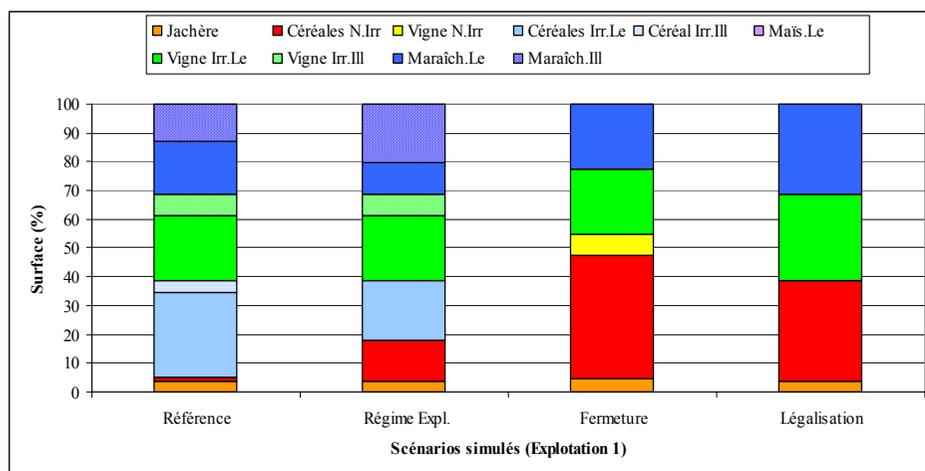
Analyse comparée des impacts dérivés du contrôle des extractions (I)

- Effets sur la demande d'eau



Analyse comparée des impacts dérivés du contrôle des extractions (II)

- Effets sur les stratégies des agriculteurs

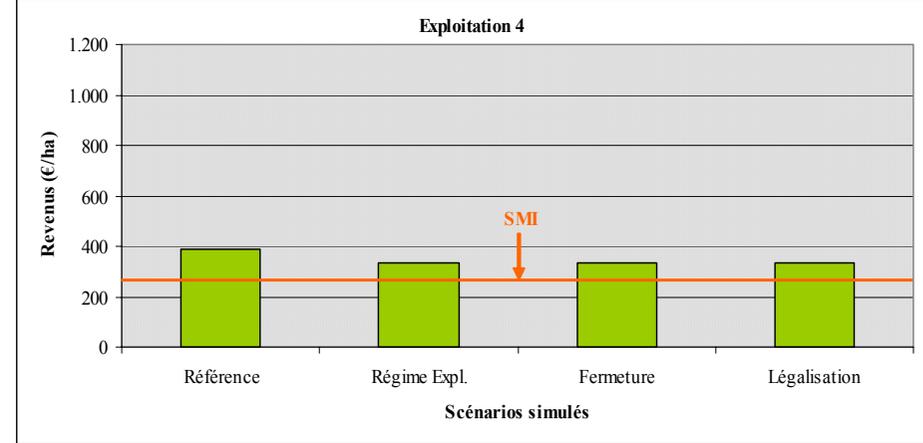
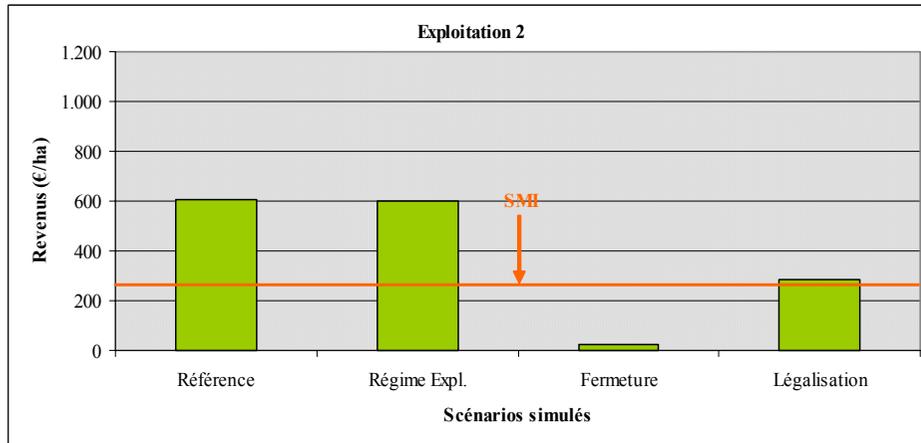
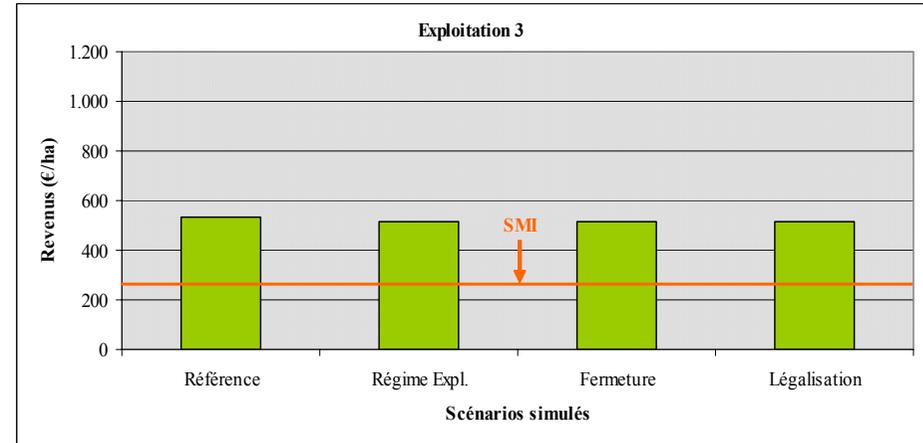
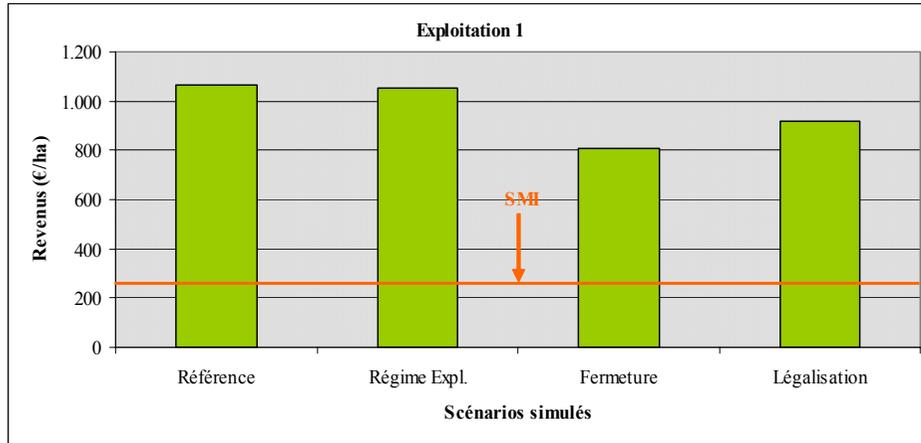


Analyse comparée des impacts dérivés du contrôle des extractions (III)

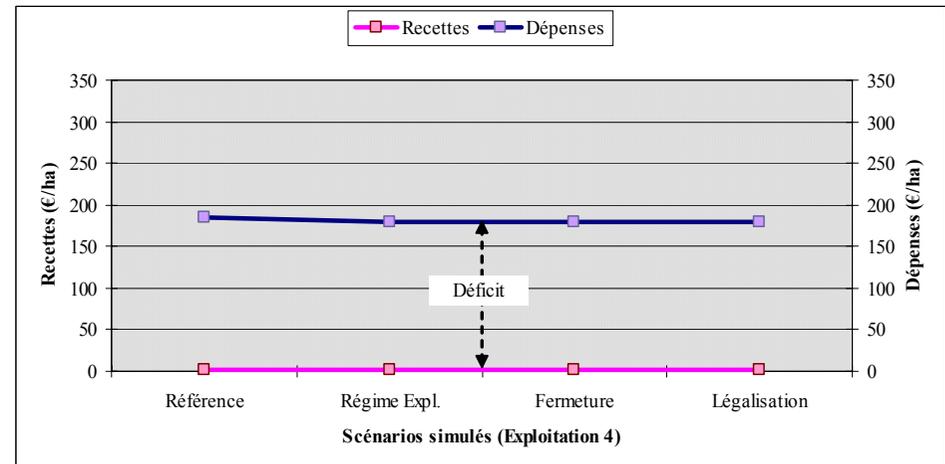
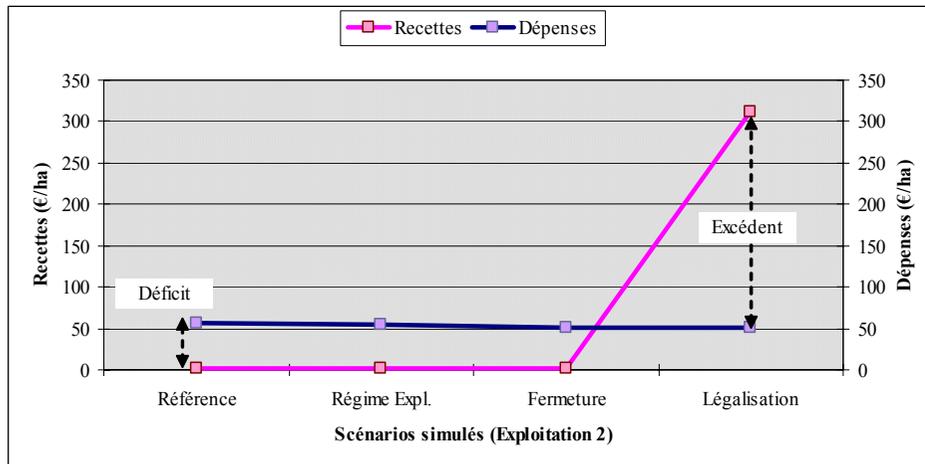
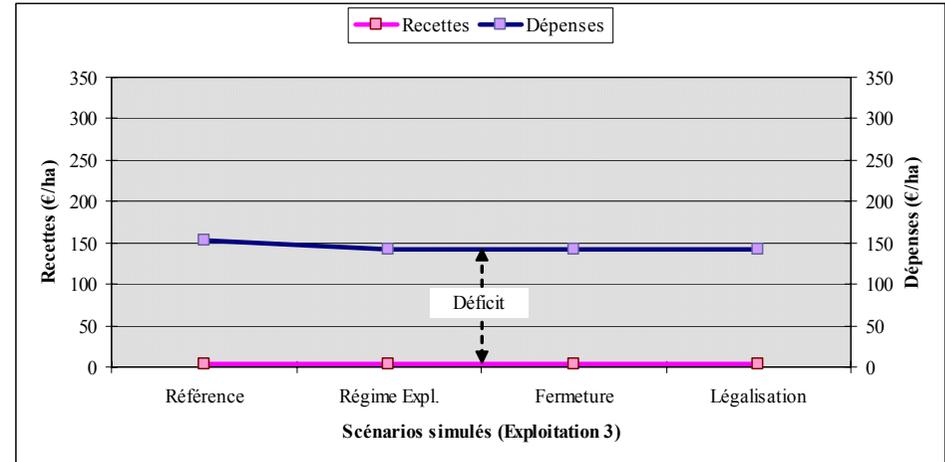
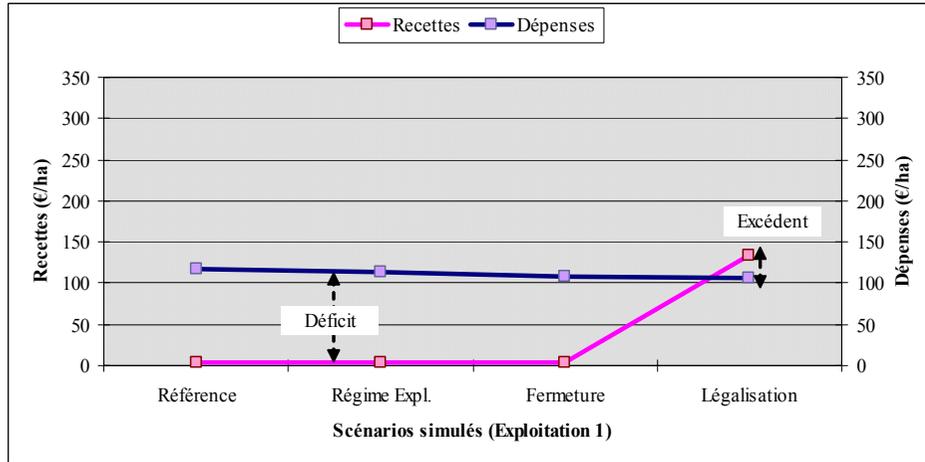
- Effets sur les revenus

SMI (Salaire minimum interprofessionnel) ≈: 299 €/ha

Analyse comparée des impacts dérivés du contrôle des extractions (IV)



• Effets sur le budget de l'Etat



La tarification volumétrique uniforme (I)

Tarif	Prix (€/m ³)	Exploitation F1				
		Demande nette d'eau (m ³ /ha)	Revenu (€/ha)	Recettes du gestionnaire (€/ha)	Dépenses publics (€/ha)	Balance public (€/ha)
1	0,00	3.389,63	1.045,70	4,73	107,43	-102,70
2	0,02	3.314,33	975,77	74,33	105,71	-31,38
3	0,04	3.314,31	906,18	143,93	105,71	38,22
4	0,06	3.314,29	836,58	213,53	105,71	107,82
5	0,08	3.132,10	767,33	285,18	105,71	179,47
6	0,11	2.279,90	708,26	285,68	105,71	179,97
7	0,13	2.098,97	663,99	310,76	105,71	205,05
8	0,15	2.098,96	619,90	354,84	105,71	249,13
9	0,17	2.098,95	575,82	398,92	105,71	293,21
10	0,19	2.093,03	531,72	441,87	105,75	336,12
11	0,21	1.079,12(*)	495,58	272,91	112,71	160,20
12	0,23	1.078,61	472,88	295,45	112,71	182,74
13	0,25	1.078,16	450,21	317,99	112,71	205,27
14	0,27	1.078,16	427,57	340,63	112,71	227,91
15	0,29	1.078,16	404,93	363,27	112,71	250,56
16	0,32	1.077,57	382,29	385,36	112,71	272,65
17	0,34	1.066,89	359,88	397,86	112,63	285,22
18	0,36	1.051,33	338,14	405,17	112,52	292,64
19	0,38	1.010,35	318,62	386,64	112,23	274,40
20	0,40	1.010,35	297,41	407,85	112,23	295,62

(*) Demande nette d'eau = 61,151 Hm³

Perte en pourcentage, tarif 11 : Demande d'eau = 68,16 % ; Revenu = 52,61 %

Tarif	Prix (€/m ³)	Exploitation F2				
		Demande nette d'eau (m ³ /ha)	Revenu (€/ha)	Recettes du gestionnaire (€/ha)	Dépenses publics (€/ha)	Balance public (€/ha)
1	0,00	2.021,91	342,92	249,33	49,78	199,55
2	0,02	2.021,91	300,46	291,79	49,78	242,01
3	0,04	2.021,91	257,99	334,25	49,78	284,47
4	0,06	2.021,90	215,53	376,71	49,78	326,93
5	0,08	2.021,90	173,07	419,17	49,78	369,39
6	0,11	2.021,89	130,61	461,63	49,78	411,85
7	0,13	1.599,78	90,97	504,68	50,60	454,08
8	0,15	1.599,77	57,38	538,28	50,60	487,68
9	0,17	1.599,77	23,78	571,87	50,60	521,27
10	0,19	1.599,76	-9,82	605,47	50,60	554,87
11	0,21	1.592,02(*)	-43,40	637,44	50,65	586,78
12	0,23	1.350,34	-72,59	615,04	52,31	562,73
13	0,25	1.349,55	-100,96	643,03	52,31	590,72
14	0,27	1.329,82	-128,87	660,07	52,31	607,75
15	0,29	560,14	-127,84	229,52	52,31	177,20
16	0,32	361,84	-129,31	119,00	52,31	66,68
17	0,34	361,84	-136,91	126,59	52,31	74,28
18	0,36	361,84	-144,51	134,19	52,31	81,88
19	0,38	361,84	-152,11	141,79	52,31	89,48
20	0,40	361,84	-159,70	149,39	52,31	97,08

(*) Demande nette d'eau = 87,966 Hm³

Perte en pourcentage, tarif 11 : Demande d'eau = 21,26 % ; Revenu = 112,66 %

La tarification volumétrique uniforme (II)

Tarif	Prix (€/m ³)	Exploitation F3				
		Demande nette d'eau (m ³ /ha)	Revenu (€/ha)	Recettes du gestionnaire (€/ha)	Dépenses publics (€/ha)	Balance public (€/ha)
1	0,00	2.663,57	536,31	3,58	153,22	-149,64
2	0,02	1.903,99	493,63	35,57	146,91	-111,34
3	0,04	1.627,68	464,92	58,27	141,59	-83,32
4	0,06	1.627,66	437,57	85,62	141,59	-55,98
5	0,08	1.627,65	410,22	112,96	141,59	-28,63
6	0,11	1.627,64	382,87	140,30	141,59	-1,29
7	0,13	1.505,32	356,15	155,32	141,59	13,73
8	0,15	1.505,30	330,86	180,61	141,59	39,01
9	0,17	1.505,29	305,56	205,89	141,59	64,30
10	0,19	1.505,27	280,27	231,18	141,59	89,59
11	0,21	1.469,43(*)	255,11	250,44	141,79	108,66
12	0,23	631,23	242,95	120,23	146,39	-26,16
13	0,25	630,43	232,32	130,68	146,40	-15,72
14	0,27	630,00	221,72	141,17	146,40	-5,22
15	0,29	630,00	211,14	151,76	146,40	5,36
16	0,32	630,00	200,56	162,34	146,40	15,94
17	0,34	630,00	189,97	172,93	146,40	26,53
18	0,36	630,00	179,39	183,51	146,40	37,11
19	0,38	630,00	168,80	194,09	146,40	47,70
20	0,40	630,00	158,22	204,68	146,40	58,28

(*) Demande nette d'eau = 45,655 Hm³

Perte en pourcentage, tarif 11 : Demande d'eau = 44,83 % ; Revenu = 52,43 %

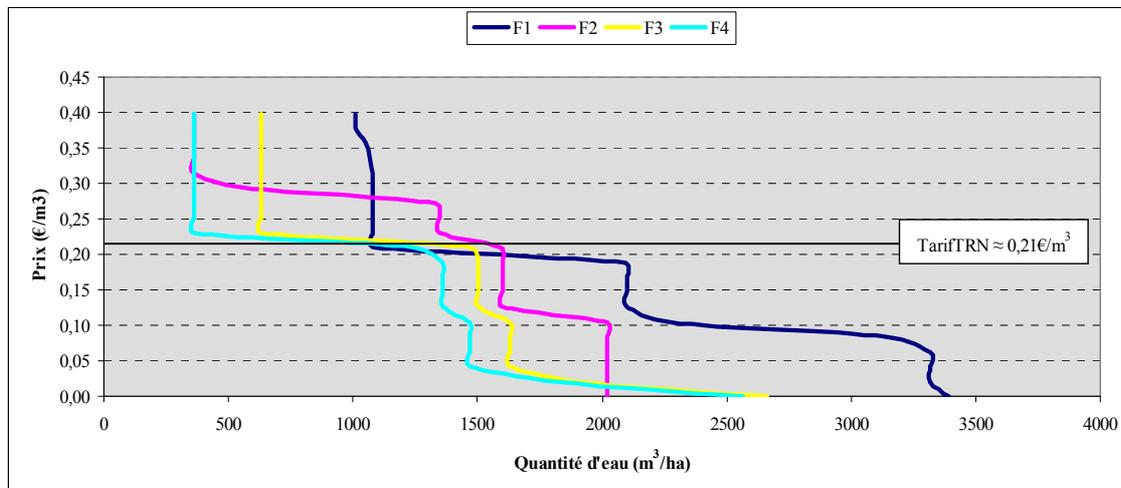
Tarif	Prix (€/m ³)	Exploitation F4				
		Demande nette d'eau (m ³ /ha)	Revenu (€/ha)	Recettes du gestionnaire (€/ha)	Dépenses publics (€/ha)	Balance public (€/ha)
1	0,00	2.566,81	391,34	2,24	185,15	-182,91
2	0,02	1.831,41	366,25	21,47	182,02	-160,55
3	0,04	1.466,52	350,05	33,04	177,64	-144,61
4	0,06	1.466,49	334,64	48,43	177,64	-129,21
5	0,08	1.466,46	319,24	63,83	177,64	-113,81
6	0,11	1.466,43	303,83	79,23	177,64	-98,42
7	0,13	1.360,70	288,83	87,96	177,64	-89,68
8	0,15	1.360,67	274,53	102,25	177,64	-75,39
9	0,17	1.360,63	260,23	116,53	177,64	-61,11
10	0,19	1.360,60	245,94	130,82	177,64	-46,83
11	0,21	1.242,15	231,89	132,66	178,05	-45,38
12	0,23	363,00	226,87	44,17	181,07	-136,90
13	0,25	361,59	223,03	47,80	181,07	-133,27
14	0,27	360,29	219,23	51,42	181,07	-129,66
15	0,29	360,00	215,44	55,16	181,07	-125,92
16	0,32	360,00	211,66	58,94	181,07	-122,14
17	0,34	360,00	207,88	62,72	181,07	-118,36
18	0,36	360,00	204,10	66,50	181,07	-114,58
19	0,38	360,00	200,32	70,28	181,07	-110,80
20	0,40	360,00	196,54	74,06	181,07	-107,02

(*) Demande nette d'eau = 47,662 Hm³

Perte en pourcentage, tarif 11 : Demande d'eau = 51,61 % ; Revenu = 40,75 %

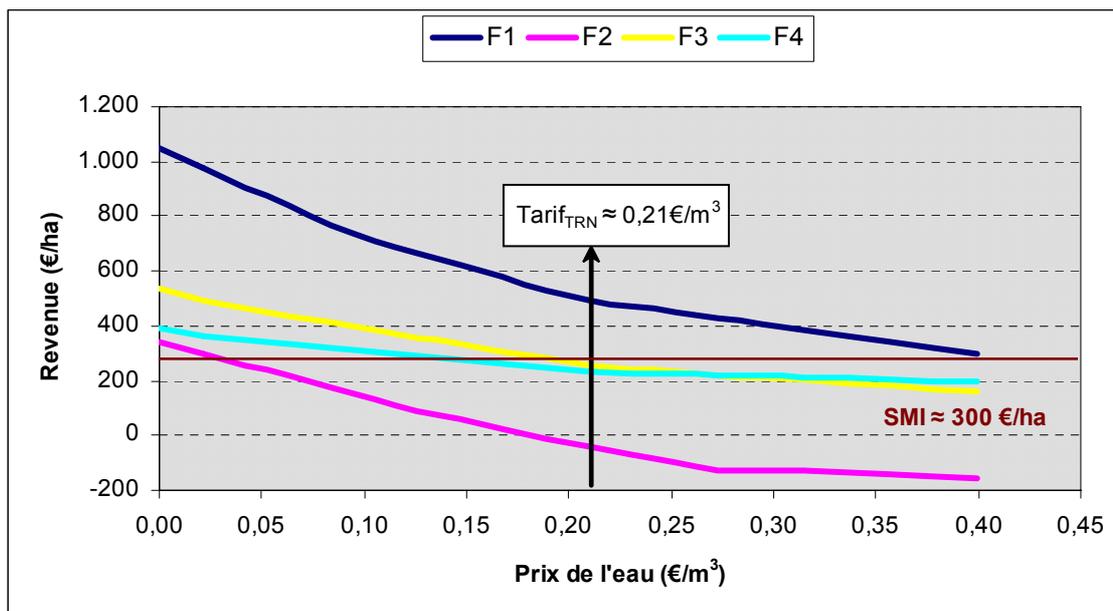
La tarification volumétrique uniforme (III)

- Effets sur la demande d'eau



Tarif_{TRN} : Tarif volumétrique uniforme que permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR.

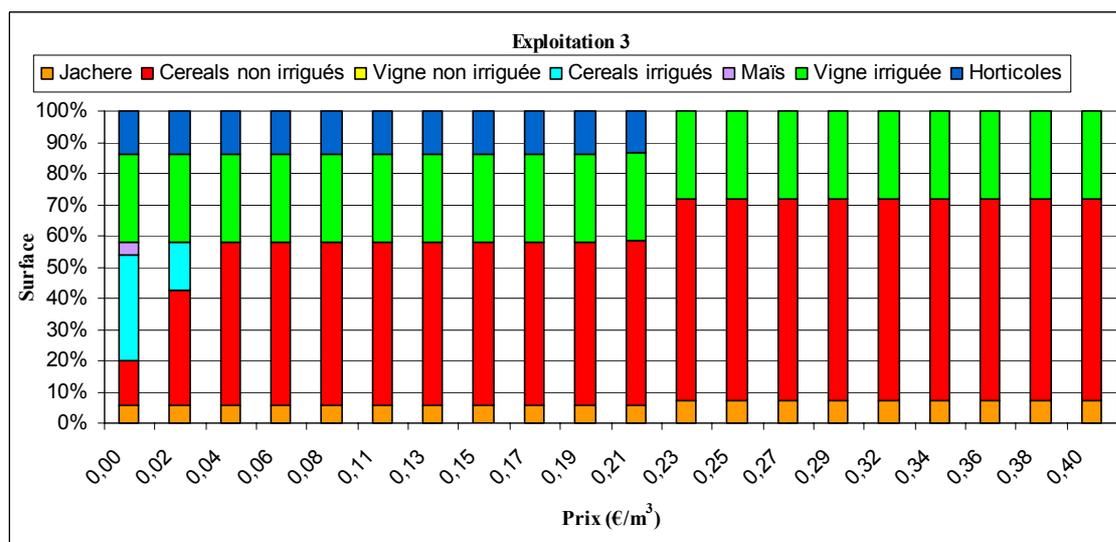
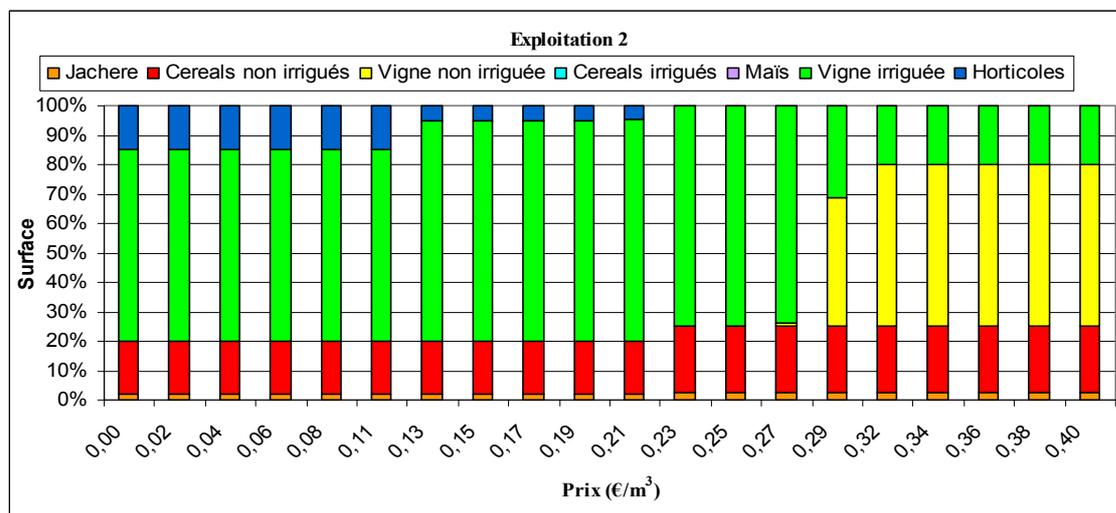
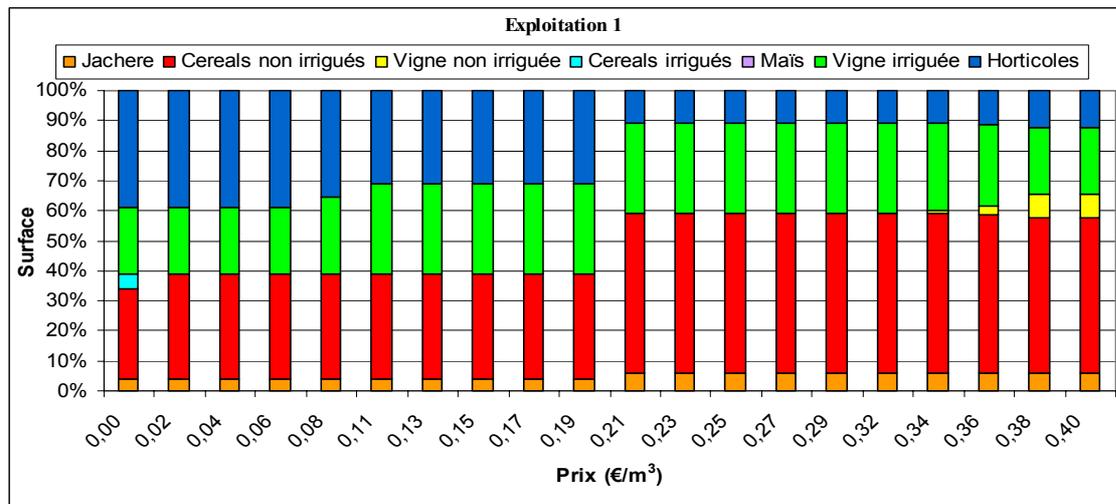
- Effets sur les revenus des agriculteurs



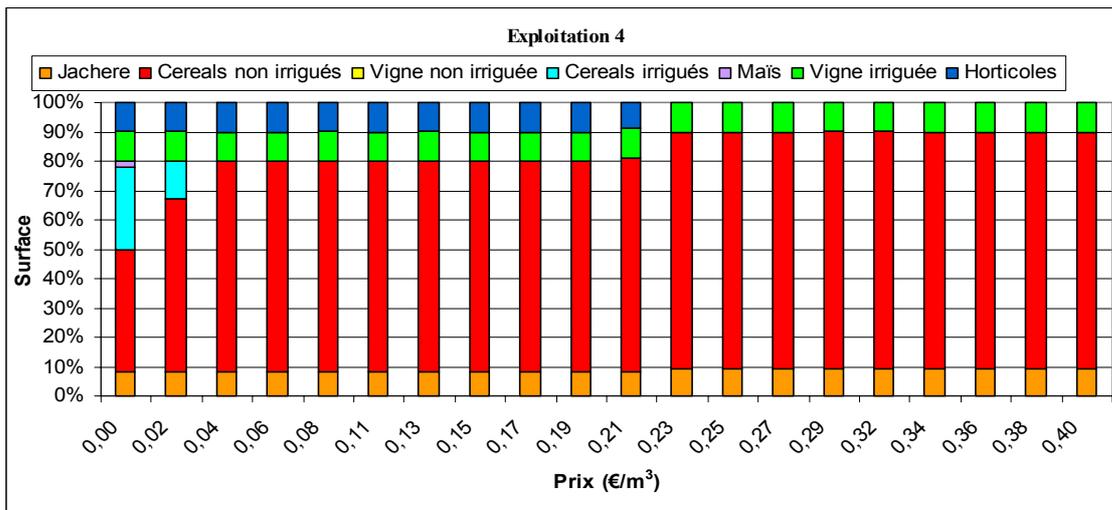
Tarif_{TRN} : Tarif volumétrique uniforme que permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR. **SMI** : Salaire minimum interprofessionnel.

La tarification volumétrique uniforme (IV)

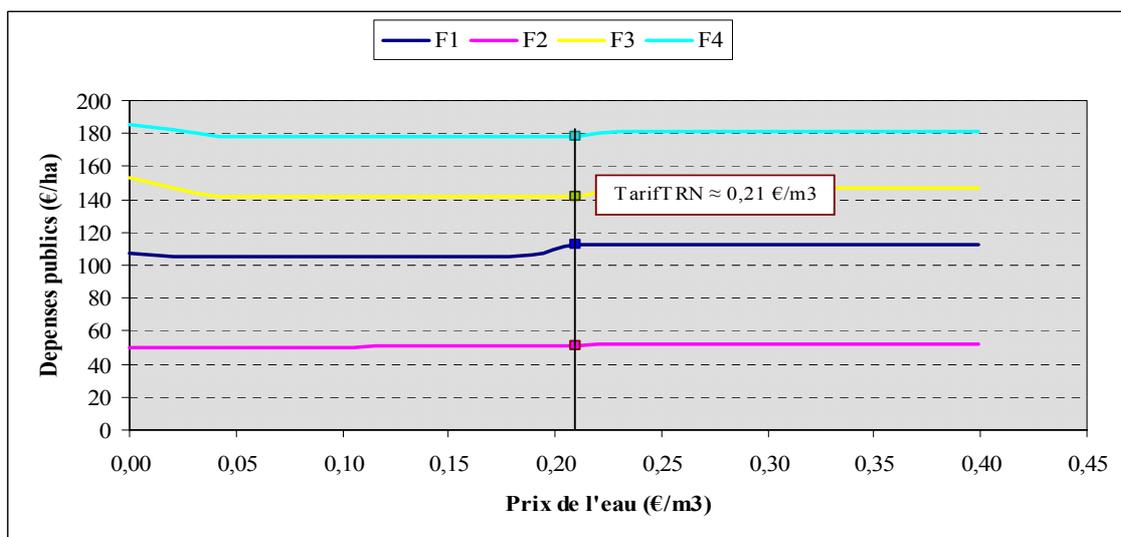
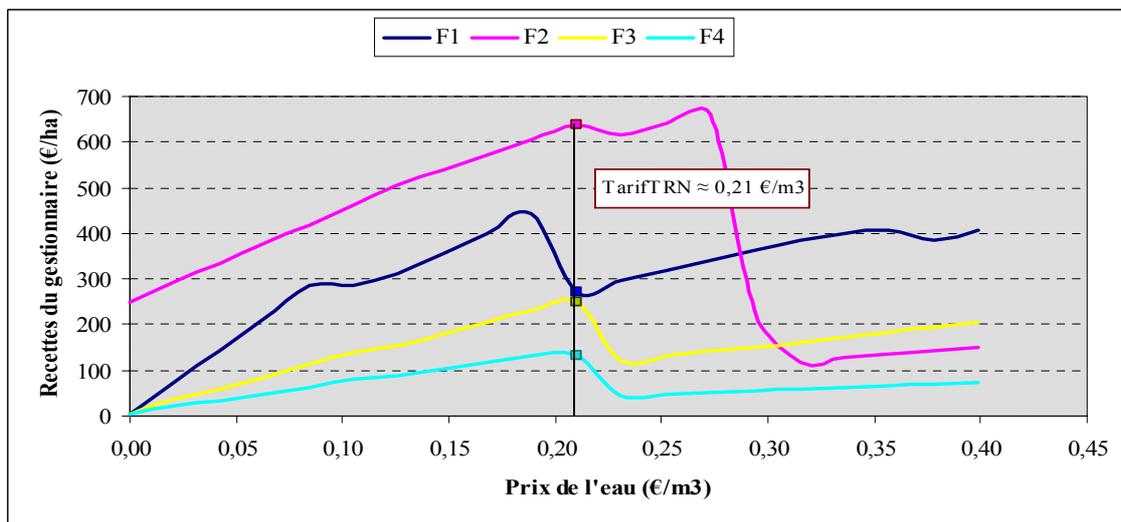
- Effets sur les stratégies des agriculteurs



La tarification volumétrique uniforme (V)



- Effets sur le budget de l'Etat



Tarif_{TRN} : Tarif volumétrique uniforme que permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR

La tarification volumétrique par paliers (I)

Tarif	Prix (€/m ³)	Exploitation F1				
		Demande nette d'eau (m ³ /ha)	Revenu (€/ha)	Recettes du gestionnaire (€/ha)	Dépenses publiques (€/ha)	Balance public (€/ha)
1	0,000	3.389,63	1.045,70	4,73	107,43	-102,70
2	0,018	3.314,33	986,21	63,89	105,71	-41,82
3	0,036	3.314,31	927,07	123,04	105,71	17,33
4	0,054	3.314,29	867,92	182,19	105,71	76,48
5	0,071	3.132,10	809,11	243,40	105,71	137,69
6	0,082	2.279,90	760,48	233,46	105,71	127,75
7	0,093	2.098,97	732,67	242,08	105,71	136,37
8	0,109	2.098,96	700,04	274,71	105,71	169,00
9	0,124	2.098,95	667,41	307,33	105,71	201,62
10	0,140	2.093,03	634,75	338,84	105,75	233,09
11^(*)	0,102	1.079,12	612,62	155,87	112,71	43,16
12	0,112	1.079,07	601,65	166,83	112,71	54,12
13	0,122	1.079,07	590,69	177,78	112,71	65,07
14	0,132	1.079,07	579,73	188,74	112,71	76,03
15	0,142	1.079,07	568,77	199,70	112,71	86,99
16	0,152	1.079,07	557,81	210,66	112,71	97,95
17	0,162	1.078,77	546,80	221,58	112,71	108,87
18	0,173	1.078,44	535,79	232,50	112,71	119,78
19	0,183	1.078,16	524,78	243,42	112,71	130,70
20	0,193	1.078,16	513,83	254,37	112,71	141,65

(*) Demande nette d'eau = 61,151 Hm³

Perte en pourcentage, tarif 11 : Demande d'eau = 68,16 % ; Revenu = 41,42 %

Tarif	Prix (€/m ³)	Exploitation F2				
		Demande nette d'eau (m ³ /ha)	Revenu (€/ha)	Recettes du gestionnaire (€/ha)	Dépenses publiques (€/ha)	Balance public (€/ha)
1	0,000	2.021,91	342,92	249,33	49,78	199,55
2	0,016	2.021,91	311,16	281,09	49,78	231,31
3	0,030	2.021,91	281,37	310,88	49,78	261,10
4	0,046	2.021,90	250,59	341,65	49,78	291,87
5	0,061	2.021,90	219,82	372,42	49,78	322,64
6	0,076	2.021,89	189,05	403,19	49,78	353,41
7	0,080	1.599,78	163,99	431,67	50,60	381,07
8	0,094	1.599,77	142,56	453,10	50,60	402,50
9	0,107	1.599,77	121,13	474,52	50,60	423,92
10	0,121	1.599,76	99,70	495,95	50,60	445,35
11^(*)	0,128	1.592,02	87,06	506,97	50,65	456,32
12	0,119	1.590,25	101,23	492,43	50,67	441,77
13	0,130	1.590,25	84,02	509,65	50,67	458,98
14	0,141	1.590,25	66,81	526,86	50,67	476,19
15	0,152	1.590,25	49,60	544,07	50,67	493,40
16	0,162	1.590,25	32,39	561,28	50,67	510,61
17	0,141	1.350,42	49,54	492,93	52,31	440,62
18	0,149	1.350,26	37,74	504,68	52,31	452,37
19	0,158	1.349,55	25,95	516,12	52,31	463,81
20	0,166	1.338,84	14,30	521,88	52,31	469,57

(*) Demande nette d'eau = 87,966 Hm³

Perte en pourcentage, tarif 11 : Demande d'eau = 21,26 % ; Revenu = 74,61 %

La tarification volumétrique par paliers (II)

Tarif	Prix (€/m ³)	Exploitation F3				
		Demande nette d'eau (m ³ /ha)	Revenu (€/ha)	Recettes du gestionnaire (€/ha)	Dépenses publics (€/ha)	Balance public (€/ha)
1	0,000	2.663,57	536,31	3,58	153,22	-149,64
2	0,011	1.903,99	508,86	20,34	146,91	-126,57
3	0,021	1.627,68	492,59	30,60	141,59	-110,99
4	0,031	1.627,66	479,08	44,11	141,59	-97,48
5	0,042	1.627,65	465,56	57,62	141,59	-83,97
6	0,052	1.627,64	452,05	71,13	141,59	-70,46
7	0,060	1.505,32	435,05	76,42	141,59	-65,17
8	0,071	1.505,30	422,91	88,56	141,59	-53,04
9	0,081	1.505,29	410,76	100,69	141,59	-40,90
10	0,091	1.505,27	398,62	112,83	141,59	-28,76
11^(*)	0,099	1.469,43	385,69	119,86	141,79	-21,93
12	0,096	1.234,36	367,37	98,62	143,08	-44,47
13	0,105	1.234,36	358,73	107,25	143,08	-35,83
14	0,114	1.234,36	350,09	115,89	143,08	-27,19
15	0,122	1.234,36	341,45	124,53	143,08	-18,55
16	0,131	1.234,36	332,81	133,17	143,08	-9,91
17	0,112	631,51	303,09	60,16	146,39	-86,23
18	0,119	630,96	299,47	63,65	146,39	-82,74
19	0,126	630,43	295,87	67,13	146,40	-79,27
20	0,133	630,00	292,28	70,61	146,40	-75,78

(*) Demande nette d'eau = 45,655 Hm³

Perte en pourcentage, tarif 11 : Demande d'eau = 44,83 % ; Revenu = 28,08 %

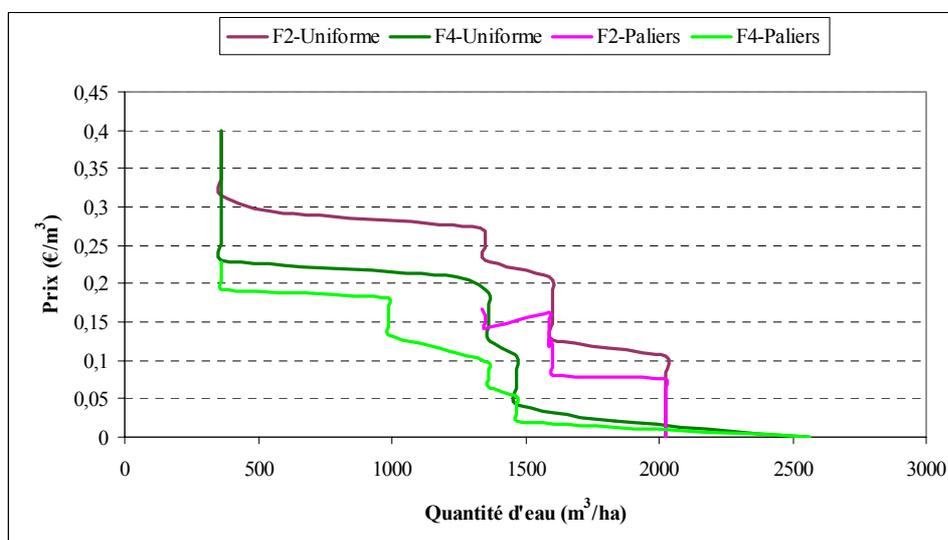
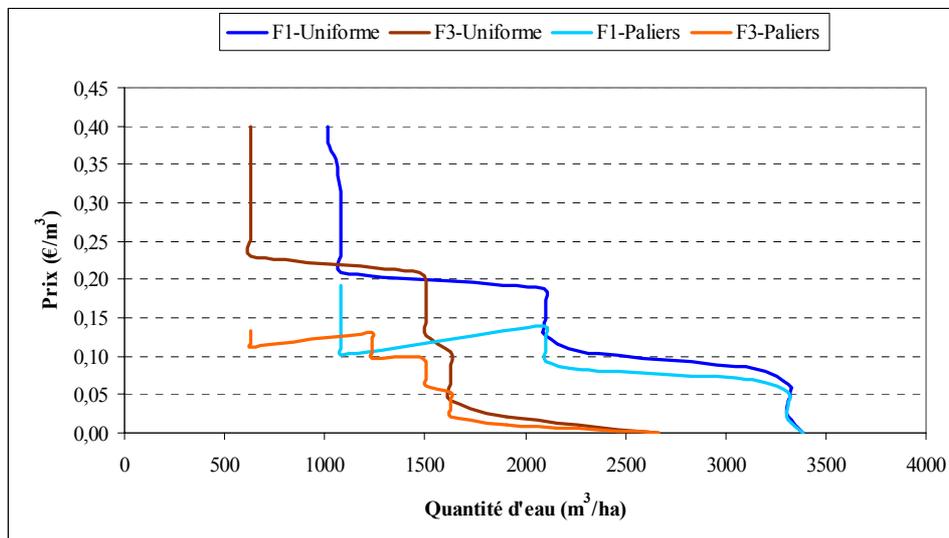
Tarif	Prix (€/m ³)	Exploitation F4				
		Demande nette d'eau (m ³ /ha)	Revenu (€/ha)	Recettes du gestionnaire (€/ha)	Dépenses publics (€/ha)	Balance public (€/ha)
1	0,000	2.566,81	391,34	2,24	185,15	-182,91
2	0,013	1.831,41	373,95	13,76	182,02	-168,26
3	0,021	1.466,52	365,45	17,64	177,64	-160,01
4	0,032	1.466,49	357,74	25,34	177,64	-152,31
5	0,042	1.466,46	350,03	33,03	177,64	-144,61
6	0,053	1.466,43	342,32	40,73	177,64	-136,91
7	0,065	1.360,70	330,58	46,21	177,64	-131,43
8	0,075	1.360,67	323,24	53,54	177,64	-124,10
9	0,086	1.360,63	315,90	60,87	177,64	-116,77
10	0,097	1.360,60	308,56	68,19	177,64	-109,45
11^(*)	0,110	1.242,15	293,73	70,82	178,05	-107,22
12	0,133	988,89	269,99	67,93	178,92	-110,99
13	0,145	988,89	264,02	73,91	178,92	-105,01
14	0,157	988,89	258,05	79,88	178,92	-99,04
15	0,169	988,89	252,08	85,85	178,92	-93,07
16	0,181	988,89	246,10	91,82	178,92	-87,10
17	0,193	363,49	233,82	37,29	181,06	-143,77
18	0,205	362,52	231,60	39,37	181,07	-141,70
19	0,217	361,59	229,39	41,44	181,07	-139,63
20	0,229	360,72	227,21	43,50	181,07	-137,57

(*) Demande nette d'eau = 47,662 Hm³

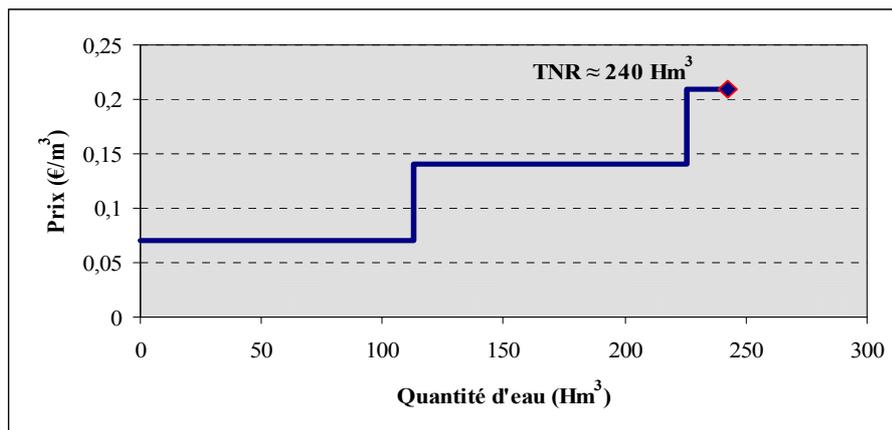
Perte en pourcentage, tarif 11 : Demande d'eau = 51,61 % ; Revenu = 24,94 %

La tarification volumétrique par paliers (III)

- Effets comparés sur la demande d'eau



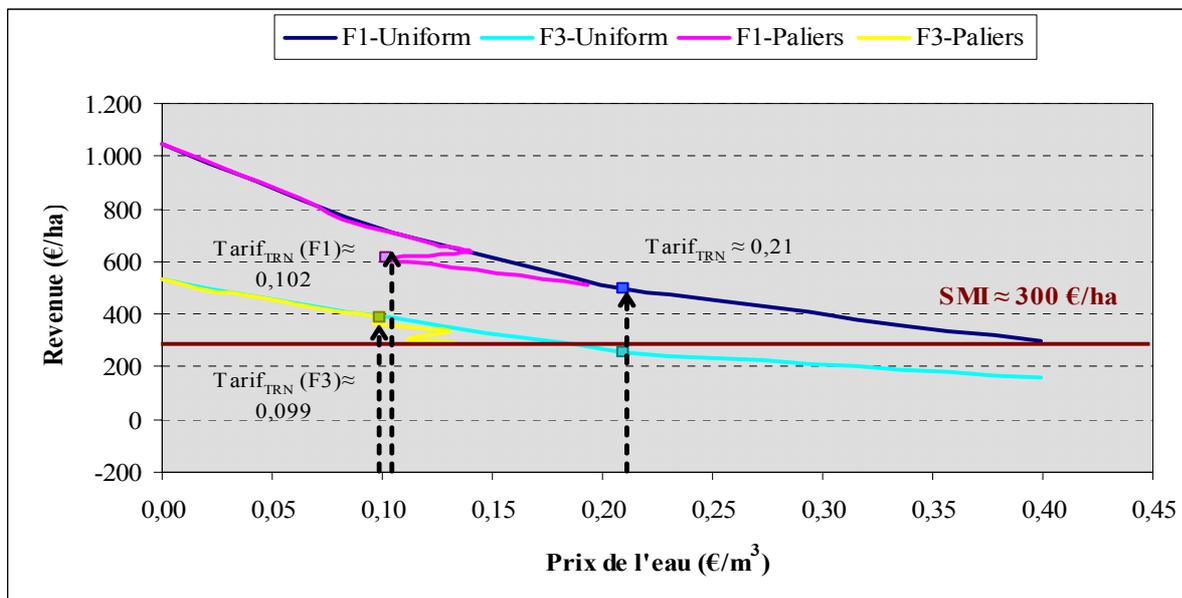
- Structure tarifaire par paliers lorsque l'objectif est atteint



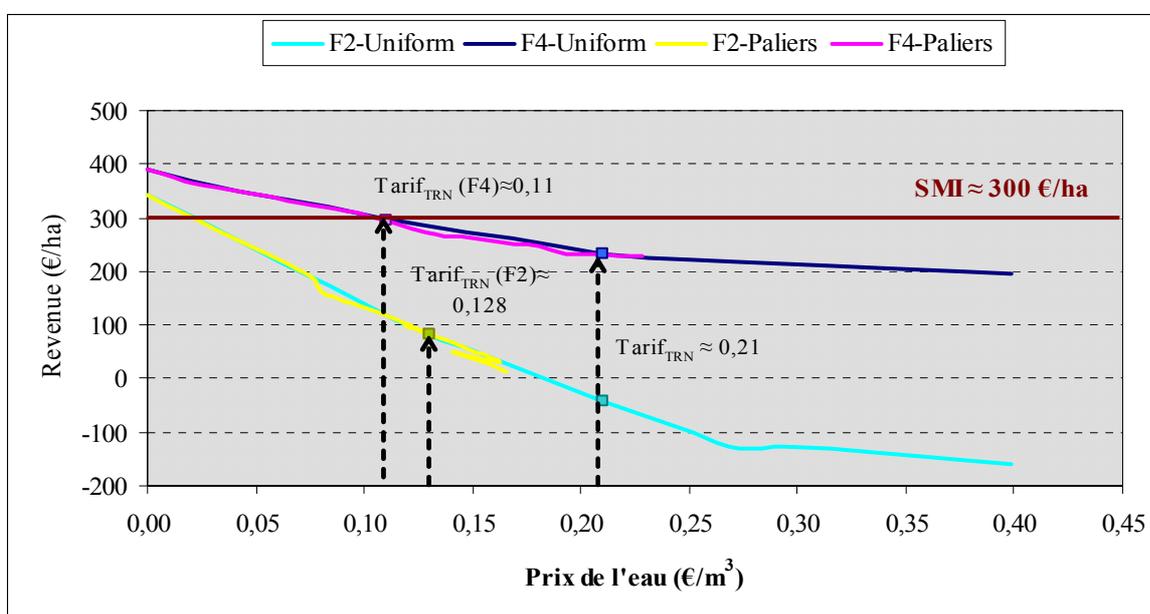
TNR : Taux naturel de recharge

La tarification volumétrique par paliers (IV)

- Effets comparés sur les revenus



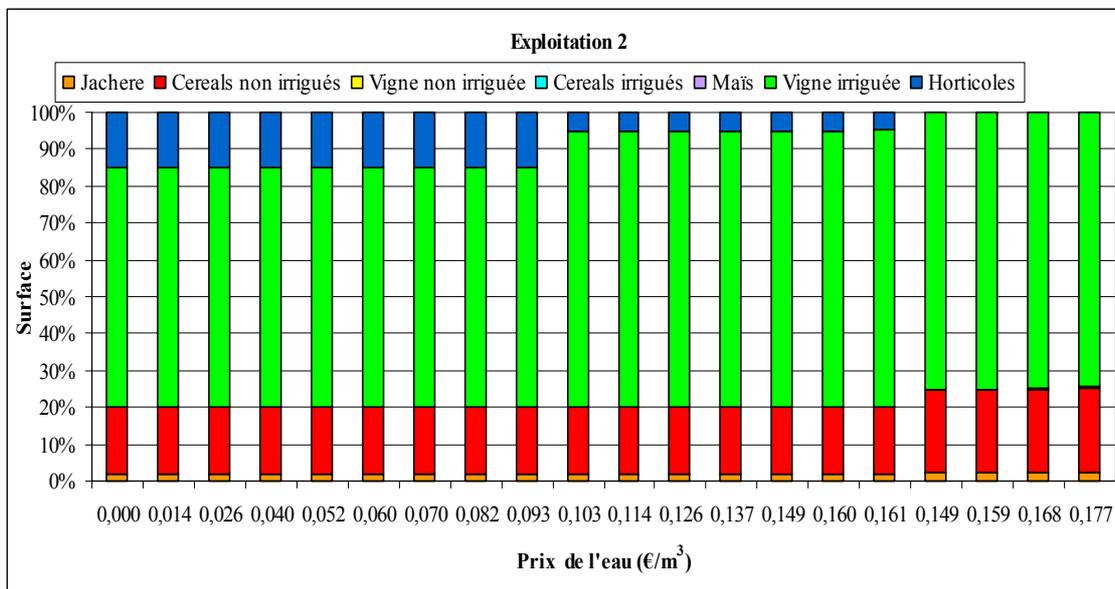
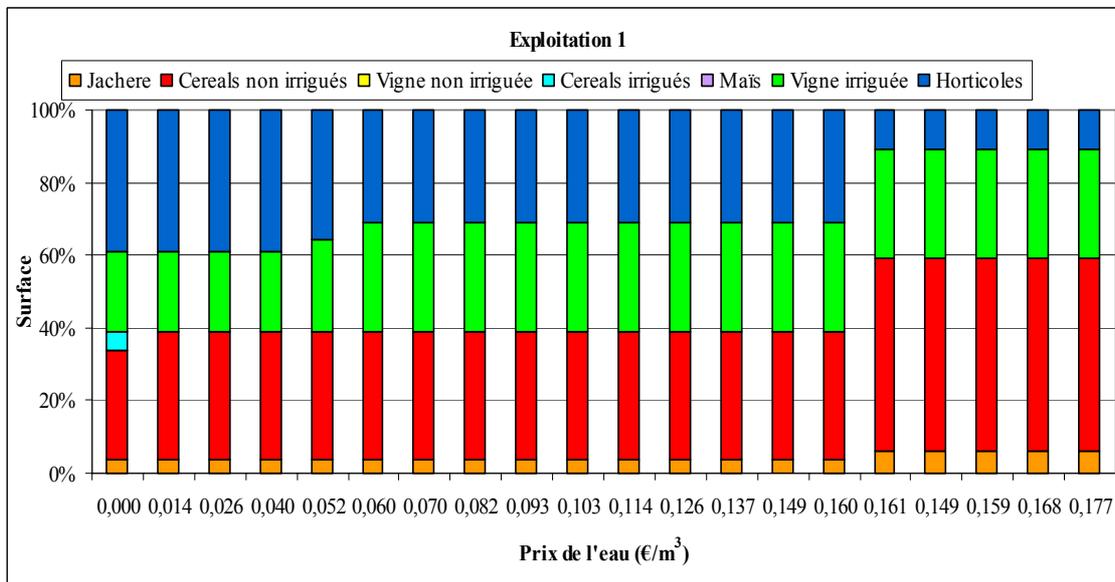
Tarif_{TRN} : Tarif volumétrique uniforme que permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR. **Tarif_{TRN}(F1)& Tarif_{TRN}(F3)** : Tarif volumétrique équivalent par paliers que permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR, dans les exploitations F1 et F3. **SMI** : Salaire minimum interprofessionnel.



Tarif_{TRN} : Tarif volumétrique uniforme que permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR. **Tarif_{TRN}(F2)& Tarif_{TRN}(F4)** : Tarif volumétrique équivalent par paliers que permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR, dans les exploitations F2 et F4. **SMI** : Salaire minimum interprofessionnel.

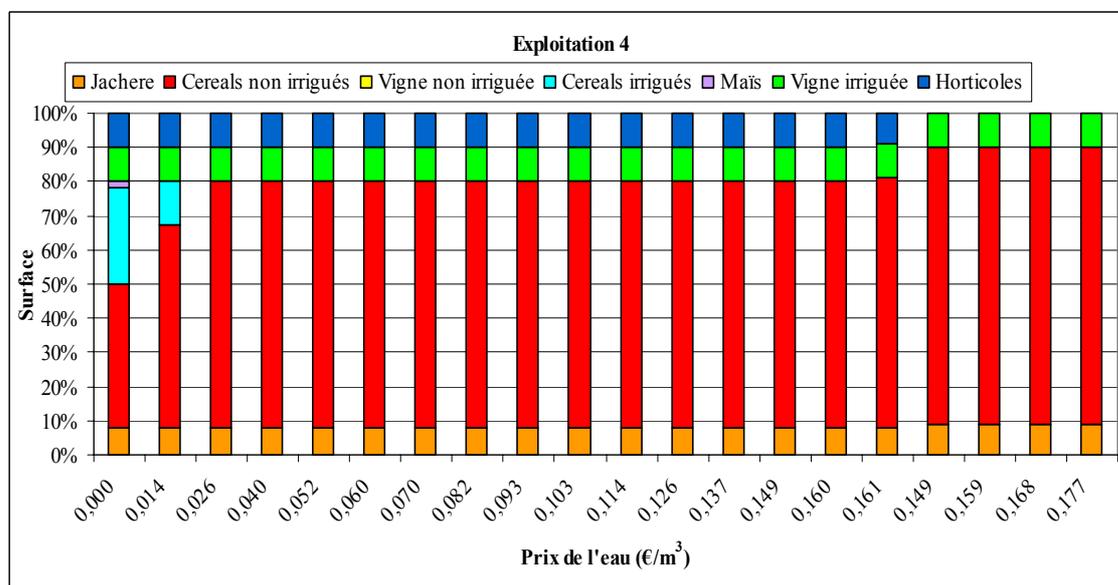
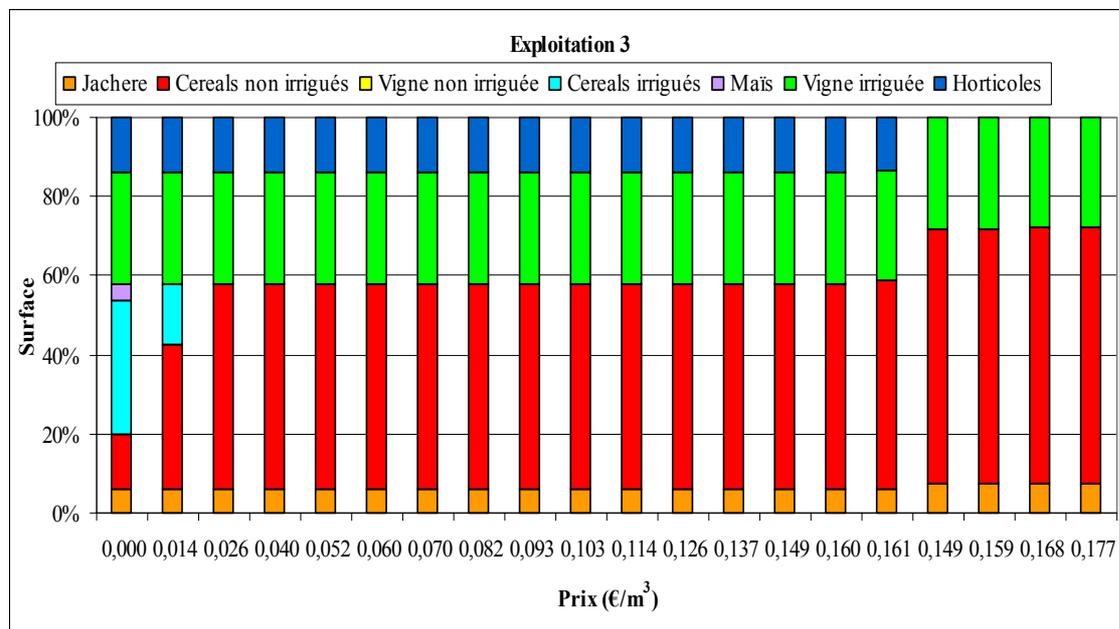
La tarification volumétrique par paliers (V)

- Effets sur les stratégies des agriculteurs



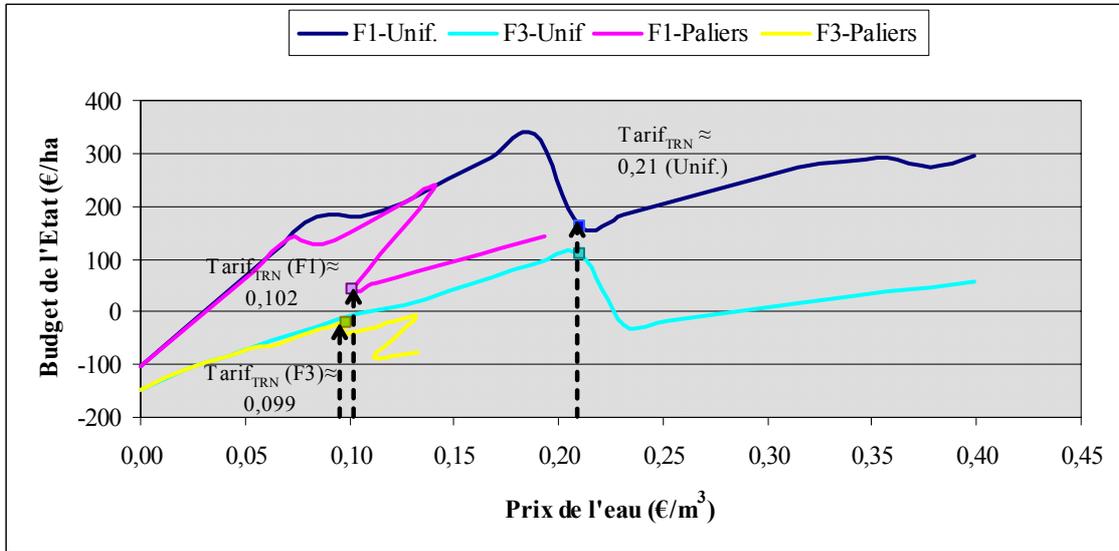
La tarification volumétrique par paliers (VI)

- Effets sur les stratégies des agriculteurs

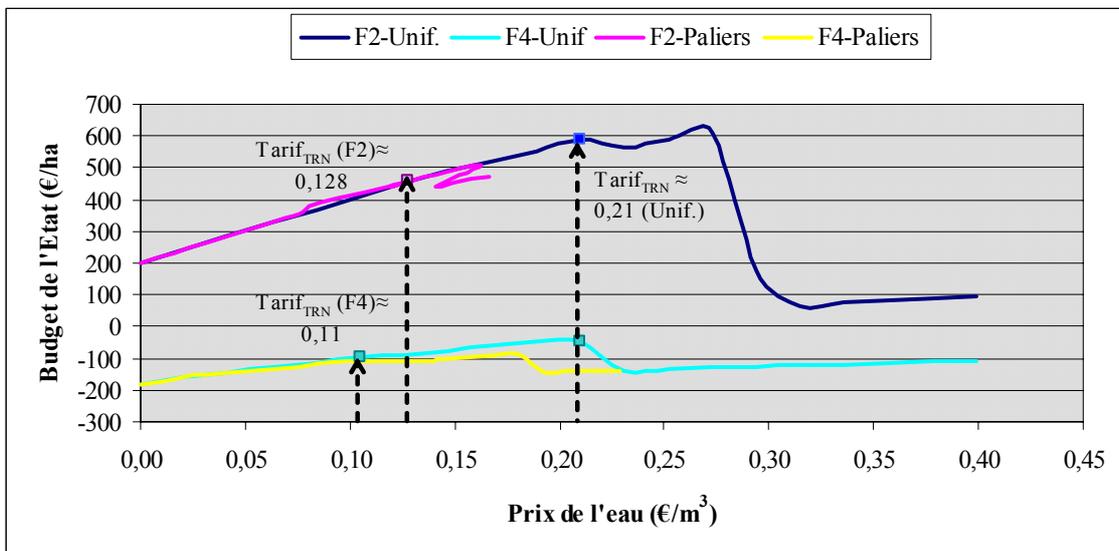


La tarification volumétrique par paliers (VII)

- Effets comparés sur le budget de l'Etat



T.unif. : Tarif volumétrique uniforme que permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR **Tarif_{TRN}(F1)** & **Tarif_{TRN}(F3)**: Tarif volumétrique équivalent par paliers que permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR, dans les exploitations F1 et F3.



T.unif. : Tarif volumétrique uniforme que permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR.
Tarif_{TRN}(F2) & **Tarif_{TRN}(F4)**: Tarif volumétrique équivalent par paliers que permet de réduire la consommation d'eau jusqu'au niveau du TNR, dans les exploitations F2 et F4.

Impacts comparés des différents scénarios simulés pour atteindre l'objectif de réduction de la consommation d'eau: Exploitation 1

Indicateur	Scénario de référence	Tarification Vol. Uniforme (P=0,21€/m ³)	Tarification Volumétrique Par Paliers (P=0,102€/m ³)	Quota	Marché d'eau (P=0,238 €/m ³)
Revenu de l'exploitation (milliers d'€)	60.232,71	28.083,18	34.715,23	43.941,10	43.941,10
Revenu de l'exploitation (€/ha)	1.062,92	495,58	612,62	775,42	775,42
Recettes du gestionnaire (milliers d'€)	177,59	15.464,87	8.832,82	2.623,19	2.623,19
Recettes du gestionnaire (€/ha)	3,13	272,91	155,87	46,29	46,29
Dépenses publics (milliers d'€)	6.654,76	6.386,93	6.386,93	6.286,72	6.286,72
Dépenses publics (€/ha)	117,44	112,71	112,71	110,94	110,94
Consommation d'eau (milliers m ³)	192.112,60	61.150,85	61.150,85	75.749,39	75.749,39
Consommation d'eau (milliers m ³ /ha)	3.390,19	1.079,12	1.079,12	1.336,74	1.336,74

Assolement (%)			Scénario de référence	Tarification Vol. Uniforme (P=0,21€/m ³)	Tarification Volumétrique Par Paliers (P=0,102€/m ³)	Quota	Marché d'eau (P=0,238 €/m ³)
Culture	Sol	Technique					
Orge	Mauvais	En sec	0,00	32,64	32,64	33,22	33,22
Orge	Bon	En sec	0,00	19,73	19,73	14,66	14,66
Blé	Mauvais	En sec	1,22	0,26	0,26	0,19	0,19
Blé	Bon	En sec	0,00	0,67	0,67	0,59	0,59
Vigne	Bon	En sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Orge	Mauvais	Aspersion extensive	30,60	0,00	0,00	0,00	0,00
Blé	Mauvais	Aspersion extensive	3,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Tournesol	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maïs	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pomme de terre	Bon	Aspersion intensive	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Melon	Bon	Goutte-à-g. extensive	0,00	10,76	10,76	15,91	15,91
Poivron	Bon	Goutte-à-g. extensive	31,17	0,00	0,00	0,00	0,00
Vigne	Bon	Goutte-à-g. intensive	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Jachère	Mauvais	En sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jachère	Mauvais	Aspersion extensive	3,88	5,92	5,92	5,41	5,41
Surface en sec			1,22	53,30	1,22	53,30	53,30
Surface irriguée			94,90	40,78	94,90	40,78	40,78
Jachère			3,88	5,92	3,88	5,92	5,92
Total			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Impacts comparés des différents scénarios simulés pour atteindre l'objectif de réduction de la consommation d'eau: Exploitation 2

Indicateur	Scénario de référence	Tarification Vol. Uniforme (P=0,21€/m ³)	Tarification Volumétrique Par Paliers (P=0,112€/m ³)	Quota	Marché d'eau (P=0,238 €/m ³)
Revenu de l'exploitation (milliers d'€)	33.369,47	-2.398,09	4.810,51	13.034,87	13.044,46
Revenu de l'exploitation (€/ha)	603,93	-43,40	87,06	235,91	236,08
Recettes du gestionnaire (milliers d'€)	86,58	35.221,01	28.012,41	16.527,17	16.748,21
Recettes du gestionnaire (€/ha)	1,57	637,44	506,97	299,11	303,11
Dépenses publics (milliers d'€)	3.121,17	2.798,78	2.798,78	2.890,55	2.890,03
Dépenses publics (€/ha)	56,49	50,65	50,65	52,31	52,30
Consommation d'eau (milliers m ³)	105.297,30	87.965,71	87.965,71	73.860,39	74.672,85
Consommation d'eau (milliers m ³ /ha)	1.905,69	1.592,02	1.592,02	1.336,74	1.351,44

Assolement (%)			Scénario de référence	Tarification Vol. Uniforme (P=0,21€/m ³)	Tarification Volumétrique Par Paliers (P=0,112€/m ³)	Quota	Marché d'eau (P=0,238 €/m ³)
Culture	Sol	Technique					
Orge	Mauvais	En sec	0,00	17,92	17,92	17,51	17,45
Orge	Bon	En sec	0,00	0,00	0,00	4,62	4,71
Blé	Mauvais	En sec	1,31	0,07	0,07	0,00	0,06
Blé	Bon	En sec	0,00	0,15	0,15	0,38	0,26
Vigne	Bon	En sec	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00
Orge	Mauvais	Aspersion extensive	14,51	0,00	0,00	0,00	0,00
Blé	Mauvais	Aspersion extensive	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00
Tournesol	Mauvais	Aspersion extensive	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00
Maïs	Mauvais	Aspersion extensive	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00
Pomme de terre	Bon	Aspersion intensive	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01
Melon	Bon	Goutte-à-g. extensive	4,10	4,83	4,83	0,00	0,02
Poivron	Bon	Goutte-à-g. extensive	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00
Vigne	Bon	Goutte-à-g. intensive	75,00	75,00	75,00	74,26	75,00
Jachère	Mauvais	En sec	0,00	2,02	0,00	0,00	0,00
Jachère	Mauvais	Aspersion extensive	2,00	0,00	2,02	2,50	2,50
Surface en sec			1,31	18,15	1,31	18,15	18,15
Surface irriguée			96,69	79,84	96,69	79,84	79,84
Jachère			2,00	2,02	2,00	2,02	2,02
Total			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Impacts comparés des différents scénarios simulés pour atteindre l'objectif de réduction de la consommation d'eau: Exploitation 3

Indicateur	Scénario de référence	Tarification Vol. Uniforme (P=0,21€/m ³)	Tarification Volumétrique Par Paliers (P=0,099€/m ³)	Quota	Marché d'eau (P=0,238 €/m ³)
Revenu de l'exploitation (milliers d'€)	20.751,38	9.907,70	14.979,15	18.629,28	18.629,28
Revenu de l'exploitation (€/ha)	534,31	255,11	385,69	479,67	479,67
Recettes du gestionnaire (milliers d'€)	139,10	9.726,67	4.655,21	139,10	139,10
Recettes du gestionnaire (€/ha)	3,58	250,44	119,86	3,58	4,48
Dépenses publics (milliers d'€)	5.926,03	5.506,77	5.506,77	5.535,07	5.535,07
Dépenses publics (€/ha)	152,59	141,79	141,79	142,52	142,52
Consommation d'eau (milliers m ³)	73.666,67	45.655,10	45.655,10	41.532,55	41.532,55
Consommation d'eau (milliers m ³ /ha)	2.370,99	1.469,43	1.469,43	1.336,74	1.336,74

Asselement (%)			Scénario de référence	Tarification Vol. Uniforme (P=0,21€/m ³)	Tarification Volumétrique Par Paliers (P=0,099€/m ³)	Quota	Marché d'eau (P=0,238 €/m ³)
Culture	Sol	Technique					
Orge	Mauvais	En sec	10,14	52,03	52,03	51,83	51,83
Orge	Bon	En sec	0,00	0,00	0,00	2,08	2,08
Blé	Mauvais	En sec	4,06	0,11	0,11	0,10	0,10
Blé	Bon	En sec	0,00	0,57	0,57	0,61	0,61
Vigne	Bon	En sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Orge	Mauvais	Aspersion extensive	34,36	0,00	0,00	0,00	0,00
Blé	Mauvais	Aspersion extensive	2,84	0,00	0,00	0,00	0,00
Tournesol	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maïs	Mauvais	Aspersion extensive	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00
Pomme de terre	Bon	Aspersion intensive	0,07	0,03	0,03	0,02	0,02
Melon	Bon	Goutte-à-g. extensive	11,03	13,40	13,40	11,28	11,28
Poivron	Bon	Goutte-à-g. extensive	2,89	0,00	0,00	0,00	0,00
Vigne	Bon	Goutte-à-g. intensive	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
Jachère	Mauvais	En sec	5,80	0,00	0,00	0,00	0,00
Jachère	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	5,86	5,86	6,07	6,07
Surface en sec			14,20	52,72	14,20	52,72	52,72
Surface irriguée			80,00	41,43	80,00	41,43	41,43
Jachère			5,80	5,86	5,80	5,86	5,86
Total			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Impacts comparés des différents scénarios simulés pour atteindre l'objectif de réduction de la consommation d'eau: Exploitation 4

Indicateur	Scénario de référence	Tarification Vol. Uniforme (P=0,21€/m ³)	Tarification Volumétrique Par Paliers (P=0,110€/m ³)	Quota	Marché d'eau (P=0,238 €/m ³)
Revenu de l'exploitation (milliers d'€)	29.992,09	17.795,30	22.540,93	28.553,06	28.570,71
Revenu de l'exploitation (€/ha)	390,82	231,89	293,73	372,07	372,30
Recettes du gestionnaire (milliers d'€)	171,78	10.180,81	5.435,18	171,78	171,78
Recettes du gestionnaire (€/ha)	2,24	132,66	70,82	2,24	4,48
Dépenses publics (milliers d'€)	14.186,95	13.663,64	13.663,64	13.638,70	13.644,29
Dépenses publics (€/ha)	184,87	178,05	178,05	177,72	177,80
Consommation d'eau (milliers m ³)	91.000,00	47.662,04	47.662,04	51.291,38	50.478,92
Consommation d'eau (milliers m ³ /ha)	2.371,61	1.242,15	1.242,15	1.336,74	1.315,57

Asselement (%)			Scénario de référence	Tarification Vol. Uniforme (P=0,21€/m ³)	Tarification Volumétrique Par Paliers (P=0,110€/m ³)	Quota	Marché d'eau (P=0,238 €/m ³)
Culture	Sol	Technique					
Orge	Mauvais	En sec	38,97	71,75	71,75	71,41	71,57
Orge	Bon	En sec	0,00	0,36	0,36	0,00	0,00
Blé	Mauvais	En sec	3,03	0,13	0,13	0,56	0,39
Blé	Bon	En sec	0,00	0,82	0,82	0,24	0,45
Vigne	Bon	En sec	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Orge	Mauvais	Aspersion extensive	27,46	0,00	0,00	0,00	0,00
Blé	Mauvais	Aspersion extensive	2,21	0,00	0,00	0,00	0,00
Tournesol	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maïs	Mauvais	Aspersion extensive	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
Pomme de terre	Bon	Aspersion intensive	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
Melon	Bon	Goutte-à-g. extensive	8,63	8,78	8,78	9,73	9,52
Poivron	Bon	Goutte-à-g. extensive	1,32	0,00	0,00	0,00	0,00
Vigne	Bon	Goutte-à-g. intensive	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Jachère	Mauvais	En sec	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jachère	Mauvais	Aspersion extensive	0,00	8,12	8,12	8,02	8,05
Surface en sec			42,00	73,07	42,00	73,07	73,07
Surface irriguée			50,00	18,81	50,00	18,81	18,81
Jachère			8,00	8,12	8,00	8,12	8,12
Total			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Analyse coute-efficacité des différentes instruments de gestion de l'eau : Exploitation 1

Indicateur	Situation Initiale	Tarification Volumétrique Uniforme (P=0,210 €/m ³)	Tarification Par Paliers (P=0,102 €/m ³)	Quota	Marché (P=0,238 €/m ³)
Revenu (milliers d'€)	60.232,71	28.083,18	34.715,23	43.941,10	43.941,10
Perte de revenu (milliers d'€)	-	-32.149,53	-25.517,47	-16.291,61	-16.291,61
Perte de revenu (%)	-	53,38	42,36	27,05	27,05
Budget public (milliers d'€)	-6.477,17	9.077,94	2.445,88	-3.663,53	-3.663,53
Augmentation du budget public (milliers d'€)	-	15.555,11	8.923,06	2.813,65	2.813,65
Augmentation du budget public (%)	-	240,15	137,76	43,44	43,44
Coût social (milliers d'€)	-	-16.594,42	-16.594,42	-13.477,96	-13.477,96
Coût social (€/ha)	-	-292,84	-292,84	-237,84	-237,84
Coût social (€/m ³)	-	-0,0864	-0,0864	-0,0702	-0,0702
RANG (*)		2		1	

(*) 1 est assigné au instrument avec le plus petit coût social. 2 est assigné au instrument avec le plus grand coût social.

Analyse coute-efficacité des différentes instruments de gestion de l'eau : Exploitation 2

Indicateur	Situation Initiale	Tarification Volumétrique Uniforme (P=0,210 €/m ³)	Tarification Par Paliers (P=0,128 €/m ³)	Quota	Marché (P=0,238 €/m ³)
Revenu (milliers d'€)	33.369,47	-2.398,09	4.810,51	13.034,87	13.044,46
Perte de revenu (milliers d'€)	-	-35.767,56	-28.558,96	-20.334,60	-20.325,01
Perte de revenu (%)	-	107,19	85,58	60,94	60,91
Budget public (milliers d'€)	-3.034,59	32.422,22	25.213,63	13.636,63	13.858,17
Augmentation du budget public (milliers d'€)	-	35.456,81	28.248,22	16.671,22	16.892,76
Augmentation du budget public (%)	-	1168,42	930,87	549,37	556,67
Coût social (milliers d'€)	-	-310,74	-310,74	-3.663,38	-3.432,24
Coût social (€/ha)	-	-5,62	-5,62	-66,30	-62,12
Coût social (€/m ³)	-	-0,0030	-0,0030	-0,0348	-0,0326
RANG (*)		1		3	2

(*) 1 est assigné au instrument avec le plus petit coût social. 3 est assigné au instrument avec le plus grand coût social. 2, représente une situation intermédiaire.

Analyse coute-efficacité des différentes instruments de gestion de l'eau : Exploitation 3

Indicateur	Situation Initiale	Tarification Volumétrique Uniforme (P=0,210 €/m ³)	Tarification Par Paliers (P=0,099€/m ³)	Quota	Marché (P=0,238 €/m ³)
Revenu (milliers d'€)	20.751,38	9.907,70	14.979,15	18.629,28	18.629,28
Perte de revenu (milliers d'€)	-	-10.843,68	-5.772,23	-2.122,10	-2.122,10
Perte de revenu (%)	-	52,26	27,82	10,23	10,23
Budget public (milliers d'€)	-5.786,93	4.219,90	-851,56	-5.395,97	-5.395,97
Augmentation du budget public (milliers d'€)	-	10.006,83	4.935,37	390,96	390,96
Augmentation du budget public (%)	-	172,92	85,28	6,76	6,76
Coût social (milliers d'€)	-	-836,85	-836,85	-1.731,14	-1.731,14
Coût social (€/ha)	-	-21,55	-21,55	-44,57	-44,57
Coût social (€/m ³)	-	-0,0114	-0,0114	-0,0235	-0,0235
RANG (*)		1		2	

(*) 1 est assigné au instrument avec le plus petit coût social. 2 est assigné au instrument avec le plus grand coût social.

Analyse coute-efficacité des différentes instruments de gestion de l'eau : Exploitation 4

Indicateur	Situation Initiale	Tarification Volumétrique Uniforme (P=0,210 €/m ³)	Tarification Par Paliers (P=0,110 €/m ³)	Quota	Marché (P=0,238 €/m ³)
Revenu (milliers d'€)	29.992,09	17.795,30	22.540,93	28.553,06	28.570,71
Perte de revenu (milliers d'€)	-	-12.196,79	-7.451,16	-1.439,03	-1.421,38
Perte de revenu (%)	-	40,67	24,84	4,80	4,74
Budget public (milliers d'€)	-14.015,17	-3.482,83	-8.228,47	-13.466,92	-13.472,51
Augmentation du budget public (milliers d'€)	-	10.532,33	5.786,70	548,24	542,66
Augmentation du budget public (%)	-	75,15	41,29	3,91	3,87
Coût social (milliers d'€)	-	-1.664,46	-1.664,46	-890,79	-878,72
Coût social (€/ha)	-	-21,69	-21,69	-11,61	-11,45
Coût social (€/m ³)	-	-0,0183	-0,0183	-0,0098	-0,0097
RANG (*)		3		2	1

(*) 1 est assigné au instrument avec le plus petit coût social. 3 est assigné au instrument avec le plus grand coût social. 2, représente une situation intermédiaire.

