

Essais de réglementation des prélèvements agricoles en eau souterraine dans un contexte d'asymétrie d'information: cas des périmètres publics irrigués, Sud-Est Tunisien

NACEUR MAHDHI*, SGHAIER MONGI**

Jel code: Q25, Q28

1. Introduction

Dans un contexte de raréfaction et de risques liés au changement climatique, la gestion de la ressource en eau est devenue une préoccupation majeure du monde entier. Particulièrement concernée, la Tunisie se place dans la catégorie des pays les moins dotés en ressources en eau dans le bassin méditerranéen. Ces ressources sont relativement faibles et leur mobilisation est assez avancée (90% en 2013) devant un potentiel de superficie irrigable qui dépasse les 469 000 ha (MARH, 2013). Aujourd'hui, gérer la demande en eau agricole est un enjeu majeur pour assurer une sécurité alimentaire, promouvoir le secteur irrigué, favoriser le développement rural en zone aride et éviter le gaspillage et la surexploitation des ressources en eau souterraine. Face à cette menace, des réformes profondes (institutionnelles et réglementaires) ont été réalisées dans le secteur de l'irrigation en vue de maîtriser la demande en eau, accroître l'efficacité de l'eau d'irrigation, améliorer l'efficacité de l'eau à la parcelle et atteindre une meilleure valorisation économique de l'eau d'irrigation. Dans ce cadre, l'association et la responsabilisation des usagers dans la gestion de l'eau d'irrigation a été

Résumé

L'objectif de cet article est d'étudier la régulation incitative des services publics de l'eau d'irrigation délégués aux GDA d'irrigation. Du point de vue méthodologique, on essaiera d'étudier les relations entre les opérateurs de la gouvernance de la gestion de l'eau d'irrigation (administration, GDA et irrigants) moyennant le contrat conclu entre parties, en prenant en compte l'existence d'une information privée détenue par l'opérateur. Un seul contrat de régulation incitative est modélisé. Il a pour principal, le CRDA, et pour agents, les GDA. En termes d'asymétrie d'information, l'efficacité technique, moyennant une frontière de coût stochastique, est retenue pour caractériser le type d'agent (GDA) et par la suite, la source d'asymétrie entre le principal et l'agent.

Sur le plan des résultats, la simulation du contrat de régulation optimal montre que les volumes d'eau facturés et le rendement du réseau baissent avec le niveau d'efficacité du GDA et que les volumes extraits et perdus sont croissants avec le type de GDA. L'arbitrage entre extraction de rente et efficacité, caractéristique de la théorie des incitations, a été mis en évidence par cette étude. Il se manifeste par l'autorisation donnée aux GDA d'irrigation de produire un volume d'eau perdu au-delà du volume optimal autorisé et par la réduction des volumes d'échange par rapport à l'optimum de premier rang (information complète).

Mots-clés: ressource en eau souterraine, régulation incitative, périmètre public irrigué, asymétrie d'information, Sud-Est Tunisien.

Abstract

The aim of this paper is to investigate the incentive regulation for public irrigation water services managed by GDAs (irrigation agencies). From a methodological point of view, this study is focused on the relationship between all operators involved in the governance of irrigation water (authorities, GDAs and irrigators) through an agreement between the stakeholders, taking into account private information held by the operator.

The model developed is an incentive regulation contract where CRDA (the Regional Authority for Agricultural Development) is the principal and GDAs are the agents. Concerning information asymmetry, technical efficiency, with a stochastic cost frontier, is used to characterize the agent type (GDA) and consequently, the source of asymmetry between the principal and the agents. Simulation of optimal regulation contract demonstrates that the billed water volume and the network performance decrease according to the GDA efficiency level and that the volumes of water extracted and lost increase following the GDA type. Results highlight the trade-off between rent extraction and efficiency, that characterizes the theory of incentives: the authorization given to GDAs to produce a volume of water lost beyond the optimum volume allowed and the reduced trade volumes compared to the first rank optimum (complete information).

Keywords: Groundwater resources, incentive regulation, public irrigation schemes, information asymmetry, Southeast Tunisia.

jugée nécessaire depuis 1992 à travers l'élaboration d'une stratégie nationale pour promouvoir la gestion communautaire de l'eau d'irrigation et la mise en place des associations d'usagers d'eau à usage agricole (AUEA), appelées associations d'intérêt collectif, qui ont connu une évolution rapide, d'associations d'intérêt collectif à groupements d'intérêt collectif (GIC) en 1999 (loi n° 99-43), puis à groupements de développement agricole (GDA) en 2004 (loi n° 2004-24) (Bachta et Zaïbet, 2007).

Fin 2013, le Sud-Est tunisien (gouvernorats de Médenine et Tataouine) compte 36 groupements fonctionnels intervenant dans le domaine de la gestion locale de l'eau d'irrigation. Leur faiblesse numérique tient directement au développement limité de l'agriculture irriguée dans cette région, qui s'explique principalement par les conditions naturelles, les contraintes

d'accès à l'eau et la prédominance de systèmes de production agro-pastoraux basés sur l'association d'une agriculture en sec et des pratiques d'élevage extensives. La constitution de périmètres publics irrigués dans la plaine de la Jeffara répond à plusieurs objectifs à la fois socio-économiques et politiques. Il s'agit, d'une part, d'intensifier la production agricole et de satisfaire l'approvisionnement des marchés locaux dans un contexte de consolidation ou d'émergence de pôles urbains dans la plaine (Tataouine, Bir Lahmar, Medenine). D'autre part, ces aménagements hydro-agricoles ont pour vo-

* Institut des Régions Arides de Médenine (IRA), Rue de Jorf km 22.5, Tunisie.

** Institut des Régions Arides de Médenine et (IRA), Tunisie.
Corresponding author: naceur.mahdhi@ira.rnrt.tn

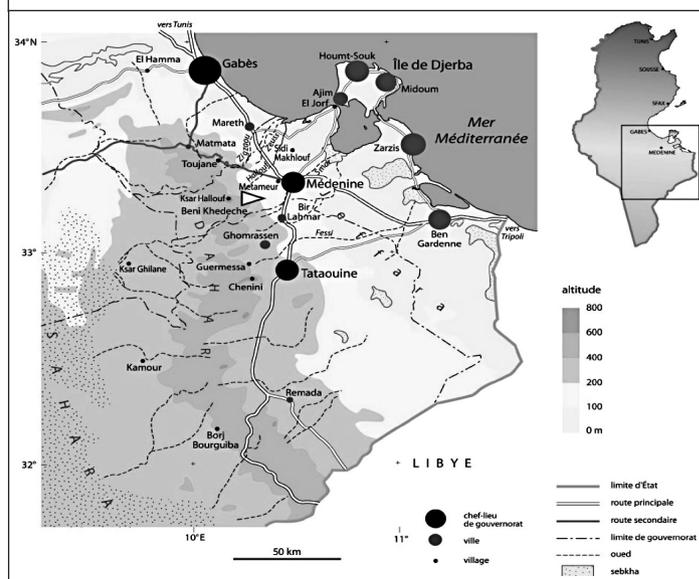
cation de créer des emplois nouveaux, de soutenir des activités agro-pastorales fragiles et de permettre le maintien sur place des populations, dans une région fortement touchée par le phénomène d'émigration (Palluault *et al.*, 2009).

De constitution récente, ces structures regroupent des irrigants qui possèdent peu d'expérience en irrigation et doivent adapter leurs pratiques agricoles à des modes de culture plus intensifs. En outre, les groupements associent un nombre limité de producteurs au sein des périmètres irrigués de taille modeste, 107 hectares en moyenne. Dans l'ensemble, les équipements hydrauliques et les systèmes d'irrigation sont récents. La longueur des réseaux n'excède généralement pas une dizaine de kilomètres.

Dotés d'une personnalité juridique, d'un budget autonome, et dirigés par un conseil d'administration élu parmi leurs membres, le fonctionnement de ce mode de gouvernance (gestion déléguée de l'eau) laisse trop souvent à désirer (performance économique), mais ne va pas sans poser des difficultés d'incitation au meilleur service et de son contrôle (Romagy et Riaux, 2007; Al Atiri, 2007; Makkaoui et Dubois, 2010), notamment dans le bassin versant de Zeuss-Koutine dans le Sud-Est Tunisien, pris comme zone d'étude (Figure 1). Le GDA est rarement un lieu de dialogue et de négociation. La relation de délégation entre le CRDA et le GDA ou entre le GDA et les irrigants est bien une relation d'agence avec asymétrie d'information en défaveur de la partie délégante (Ben Salem *et al.*, 2005). En règle générale, il est difficile de concilier des objectifs et des intérêts divergents et il est difficile d'obtenir toute l'information pertinente, celle-ci étant dispersée et utilisée de façon stratégique par les acteurs qui la détiennent (GDA/ou irrigants). Même si certains éléments sont publics et connus des régulateurs, il est difficile d'adhérer totalement à cette hypothèse. La partie délégatrice (Commissariat Régional de Développement Agricole (CRDA)) se trouve, donc, en difficulté lorsqu'elle vise à obtenir de l'exploitant (GDA) la meilleure qualité de service (moins de pertes d'eau au niveau de réseau) au moindre prix, d'une part. Et d'autre part, le GDA, qui cherche à couvrir ses coûts d'exploitation et de maintenance par l'élévation du prix par mètre cube d'eau, fait face à des inefficacités liées à la mise en œuvre d'une tarification optimale devant des capacités des paiements des irrigants qui restent inobservées. Les problèmes d'asymétrie d'information, connus sous les appellations génériques de sélection adverse et d'aléa moral, sont souvent cités pour expliquer l'inefficacité de l'action collective portant sur la gestion des ressources communes (Ostrom *et al.*, 1990; North, 1991) et par la suite, sur la gouvernance des services publics de l'eau d'irrigation pour notre cas d'étude. On touche là une limite essentielle de ces structures créées, avant tout, pour concrétiser le désengagement de l'État, faciliter la transition vers l'application d'une «vérité des prix», la durabilité technique des équipements (réseau d'irrigation) et la durabilité financière des gestionnaires. Ceci étant, la recherche d'une autonomie financière est particulièrement difficile dans un contexte d'asymétrie d'information. La question porte alors sur les incitations à donner

pour faire révéler ces informations cachées et garantir que les bons niveaux d'effort seront choisis. Ces conditions ne peuvent donc être mises en place que par l'intermédiaire d'un contrat qui va poser les règles que l'opérateur doit respecter de façon à l'inciter à exploiter au mieux le service.

Figure 1 - Présentation de la zone d'étude : le bassin versant de Zeuss-Koutine.



Tenant compte de la particularité des services communautaires de l'eau d'irrigation dans la région de Zeuss-Koutine, quels contrats de régulation à entreprendre pour l'allocation des ressources en eau souterraine déléguée aux GDA d'irrigation dans un scénario d'asymétrie d'information entre les différents acteurs de la gestion communautaire de l'eau d'irrigation (CRDA, GDA, irrigant)?

En particulier, nous allons nous concentrer sur la modélisation des relations bilatérales entre les différents acteurs de la gestion de l'eau d'irrigation, en empruntant le langage de la théorie des incitations et la simulation des contrats optimaux pour la gestion de l'eau d'irrigation au sein des périmètres publics irrigués. A cet effet, le reste de ce travail est structuré de la manière suivante: la section 2 introduit la théorie des incitations et la modélisation de l'allocation des ressources en eau souterraine dans un contexte d'asymétrie d'information. La section 3 présente la zone d'étude et la méthode de collecte des données. La section 4 présente les résultats de la simulation des contrats. Les quatre sections ainsi présentées sont assorties d'une conclusion.

2. Théorie des incitations et modélisation de l'allocation des ressources en eau souterraine dans un contexte d'asymétrie d'information

Le rôle croissant de l'information dans les systèmes économiques a conduit à de profondes modifications des résultats de la théorie économique et à développer la théorie des incitations et des contrats. Cette théorie constitue un pas décisif dans l'étude des contrats qui régissent les relations économiques

entre l'Etat, les consommateurs et les producteurs. Elle cherche à résoudre le problème auquel fait face un agent central (planificateur, décideur, principal) lorsque son objectif est différent de ceux des agents périphériques. Dans ce cas, le problème du principal est comment extraire des informations véridiques, étant donné que les agents n'ont pas intérêt à révéler leurs vraies caractéristiques (Salanié, 1994; Laffont et Tirole, 1993).

Depuis le début des années 1980, la recherche économique sur la théorie des incitations et des contrats a traité les problèmes d'asymétrie d'information en modélisant les relations entre un régulateur public (le principal) et un monopole privé (l'agent). Dans ces modèles, il est montré que l'information privée détenue par l'entreprise régulée sur sa technologie est un avantage stratégique dans sa relation avec le régulateur. Deux principaux courants de recherche analysent les processus de régulation mis en œuvre selon que les coûts sont non observés (Baron and Myerson, 1982) ou qu'un audit de la comptabilité des entreprises permet d'utiliser l'information sur les coûts de l'entreprise (Laffont and Tirole, 1986). Les articles pionniers de Loeb et Magat (1979) in Laffont et Tirole (1993) et Baron et Myerson (1982) abordent les premiers la régulation en présence d'information asymétrique en termes d'agence. Depuis lors, même si les contributions de l'analyse économique sont nombreuses (Laffont et Tirole, 1993 ; Salanié, 1994 ; Laffont et Martimort, 2002), les applications empiriques de ces modèles sont encore peu nombreuses (Galioto, 2013; El Chami *et al.*, 2011). Dans la plupart des travaux économétriques sur le secteur de l'eau (Koundouri, 2004), les implications de la détention d'une information privée par l'exploitant du service d'eau sont ignorées.

Le tableau 1 décrit deux types de contrats potentiels qui peuvent être avancés pour la gestion de l'eau d'irrigation dans un contexte d'asymétrie d'information. Dans cet article, un seul contrat de régulation sera retenu. Il a pour principal le CRDA et pour agents les GDA. Ces derniers reçoivent la délégation de la gestion collective des ressources en eau souterraine au niveau des PPI. Dans cette relation contractuelle, la régulation des GDA est basée sur un contrat spécifiant les volumes d'eau à fournir et le prix facturé. Les variables de contrôle dans le contrat sont le volume d'eau effectivement consommé et le vo-

lume d'eau perdu le long du réseau. Le problème d'asymétrie d'information, approché en tant qu'efficacité technique, est modélisé via la qualité d'entretien du réseau fourni.

Dans la relation contractuelle retenue, nous avons accordé une attention particulière à la question des pertes d'eau au niveau du réseau et comme sources d'asymétrie d'information entre régulateur et régulé et nous avons retenu la qualité du réseau. Pour la modélisation de cette asymétrie d'information, le concept de l'efficacité productive, moyennant une frontière de coût stochastique, a été mobilisé pour résoudre les problèmes informationnels entre les deux parties prenantes (principal-agent).

2.1. Réglementation de la qualité du réseau: contrat Administration-GDA

La modélisation que nous présentons ici suit le modèle principal-agent dans lequel un seul principal (Administration locale) fait face à une multiplicité d'agents qui exploitent et gèrent une ressource de façon collective (GDA) et la distribue aux irrigants. Le principal, assimilé au CRDA, cherche à proposer un menu de contrats qui a pour finalité le contrôle de la qualité du réseau et l'application d'une tarification non linéaire qui concilie entre les exigences de l'équilibre financier du GDA et les capacités de paiement des irrigants au niveau des PPI. Dans cette relation contractuelle, le principal ne peut ni observer le type (θ) ou la performance de l'agent, donnée par son efficacité à réduire la perte en eau (problème de sélection adverse), ni son effort investi pour améliorer son efficacité (problème d'aléa moral).

Tenant compte uniquement du problème de sélection adverse (θ), la régulation du GDA est basée sur un contrat spécifiant les volumes d'eau à fournir et le prix facturé $P(V_f)$. Les variables de contrôle dans le contrat sont les deux biens produits suivants: l'eau effectivement consommée (V_f) et l'eau perdue (V_p).

2.1.1. Les modèles économiques de régulation et les solutions optimales des contrats

A partir des modèles de régulation de type Laffont-Tirole (1986), le régulateur est supposé maximiser une fonction de bien-être social espéré (la maximisation du surplus total), composée d'une somme pondérée¹ du surplus des irrigants adhérents ($S(v_f)$) et des profits de l'acteur privé GDA)² sous la contrainte de décentralisation de l'information. Formellement, le critère à maximiser est:

$$Z = \pi W + (1 - \pi)U = S(V_f) - C(V_f, V_p; \theta) - \mu U \quad (2.1)$$

avec $\mu = \frac{2\pi - 1}{\pi} \in]0, 1]$

où $W = S(v_f) - P(v_f)v_f - Tr$; $U = Tr + P(V_f)V_f(\theta) - C(V_f(\theta), V_p(\theta), \theta)$.

¹ Les pondérations du surplus et du profit dépendent des objectifs redistributifs du régulateur et son représentées par un coefficient π où $\pi \in]0, 5; 1]$. Ce coefficient de pondération représente le coût fictif des fonds publics chez Laffont et Tirole (1993).

² W est le surplus net des usagers et U est le profit du GDA.

Figure 1 - Présentation de la zone d'étude : le bassin versant de Zeuss-Koutine.

| Principal | Agent | Contrats |
|-------------------------|--------------------|--|
| Décideur central (CRDA) | Gestionnaire (GDA) | Nature : de gestion (délégation) Incitant : volume à produire, le volume de perte autorisé et le prix à facturer Objectif : réduire la perte au niveau du réseau |
| GDA | Irrigant | Nature : d'abonnement Incitant : tarification /quota Objectif : équilibre financier du GDA et prise en compte des capacités de paiement des irrigants |

Ce critère, caractérisant le bien-être social *ex post*, est ainsi la différence entre le surplus des consommateurs $S(V_f)$ et la somme du coût du GDA et du produit de la rente³ du GDA (au-delà de son utilité de réservation) et du coefficient de pondération. L'aspect crucial de cette fonction de bien-être social est que l'autorité de réglementation n'aime pas laisser de rente à l'entreprise.

Dans cette relation fonctionnelle (équation 2.1), nous supposons que le coût final de production du GDA est observable par le régulateur (est public), mais celui-ci est influencé par un paramètre intrinsèque de coût non observable (l'efficacité du GDA). C'est l'approche suivie par Laffont et Tirole (1986) dans leurs différentes études sur la régulation des monopoles en information incomplète. Ensuite, nous supposons que C est croissant par rapport à θ de telle façon que les valeurs les plus élevées de θ correspondent aux opérateurs les moins efficaces. De même, nous supposons que $C_{\theta V_f} > 0$. Cela veut dire qu'il est plus coûteux pour les opérateurs inefficaces d'augmenter la quantité d'eau effectivement consommée. Enfin, nous avançons l'hypothèse qu'il est plus coûteux pour les opérateurs inefficaces de faire décroître le volume d'eau perdu, ce qui conduit à supposer $C_{\theta V_p} < 0$.

Selon le type d'information possédée par le gestionnaire sur le paramètre de la sélection adverse (θ), les situations sont différentes. A partir d'un modèle de régulation de type Laffont-Tirole (1986), nous décrivons en premier lieu les solutions optimales dans le cas d'une information complète. Enfin, nous étudions le cas où l'agent a une information privée (θ) sur la technologie et son efficacité.

2.2.2. Caractérisation des mécanismes optimaux de régulation

Une série d'hypothèses sont avancées pour caractériser le contrat optimal établi par le principal. Nous supposons, en premier lieu, que le type (θ) est distribué selon la fonction de répartition $F(\theta)$ et la fonction de densité $f(\theta)$ est positive et définie dans l'intervalle dont les bornes sont des réels positifs. Pendant que les GDA cachent leurs types, le régulateur n'observe que la fonction de répartition $F(\theta)$. En deuxième lieu, on suppose que le GDA doit recevoir un niveau minimal de profit u , autrement, il n'accepterait pas la gestion du service communautaire de l'eau d'irrigation. Nous supposons que ce niveau de réserve u est indépendant de θ . Enfin, toute relation d'échange implique une certaine forme de révélation de l'information privée qui nécessite de verser des rentes incitatives afin d'éviter l'exploitation stratégique de l'information.

2.2.2.1. Le cas de l'information complète

Considérons la situation de référence dans laquelle l'autorité de réglementation connaît toutes les composantes de la

fonction de coût. Nous supposons ici que l'autorité de réglementation représentée par le CRDA connaisse le paramètre θ caractérisant le type d'acteur privé (GDA) lorsqu'il propose un contrat. Le contrat optimal doit maximiser le critère (2.1) sous la contrainte que les GDA seront disposés à participer (contrainte de participation), soit:

$$\begin{aligned} \max_{V_f(\cdot), V_p(\cdot)} Z(\theta) &= S(V_f) - C(V_f, V_p, \theta) - \mu U \\ \text{SC.} & \\ U(\theta) &\geq u \end{aligned} \quad (2.2)$$

Puisque $u \geq 0$, laisser des rentes aux GDA est coûteux. En régime d'information complète, l'autorité de réglementation capturerait la rente de l'entreprise ($U=0$), et choisirait les volumes de production de sorte que

$$\begin{cases} P(V_f) = C_{V_f}(V_f, V_p, \theta) \\ C_{V_p}(V_f, V_p, \theta) = 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

$$(2.4)$$

L'équation (2.3) est simplement l'égalité du prix et du coût marginal. L'équation (2.4) indique que le volume d'eau V_p perdu est choisi de façon à minimiser C , étant donné V_f . Elle caractérise donc le niveau de perte optimal autorisé (V_p^*).

Notons également que la solution optimale (V_f, V_p) donnée par le système ci-dessus ne dépend pas de π . Ce résultat est essentiellement dû au fait que le planificateur local préfère favoriser les usagers ($\pi > 1/2$) et qu'en information complète, les rentes peuvent être fixées à zéro.

2.2.2.2. Le cas de l'information incomplète

Supposons que le principal ne puisse pas observer les différents types θ_i mais qu'il ait, *ex ante*, des croyances sur la distribution des θ_i . Ces croyances sont représentées par la fonction de répartition $F(\theta)$, avec la fonction de densité $f(\theta)$ associée définie sur l'intervalle $[\underline{\theta}, \bar{\theta}]$.

Le principal ne peut directement demander aux agents de révéler leur information, car ceux-ci peuvent mentir si leur intérêt en dépend. Il doit alors élaborer un mécanisme qui incite les agents à révéler leurs caractéristiques authentiques au moyen de transferts monétaires ou d'autres instruments.

D'après le principe de révélation, nous savons que tout mécanisme de réglementation est équivalent à un mécanisme direct de révélation induisant un aveu fiable de l'agent de son vrai type et le choix du contrat qu'il préfère (Baron et Myerson, 1982; Guesnerie et Laffont, 1984). Soit $\{V_f(\theta'), V_p(\theta'), tr(\theta')\}$ un tel mécanisme de révélation, θ' dénotant l'annonce. Nous étudions ici la structure d'un contrat optimal sous forme d'une combinaison transfert monétaire-volume facturé-volume perdu autorisé (V_f, V_p, tr). Tous les deux quotas et transfert monétaire, dépendent du type annoncé par chaque agent.

Preons comme fonction objectif une moyenne pondérée du surplus du consommateur et du profit du GDA, le problème du principal est de choisir le menu du contrat qui maximise l'espérance de l'utilité sociale compte tenu des contraintes de participation (CP) et d'incitation (CI) du GDA. Les contraintes de participation et d'incitation expriment respectivement que le profit du GDA (U) doit être su-

³ $U(\theta)$ représente la *rente informationnelle* de l'agent. Cette rente est le prix que le principal doit payer pour obtenir que les types efficaces révèlent leur information. Pour que le mécanisme incite les agents à révéler leur vrai type, le principal doit abandonner les rentes les plus élevées aux GDA les plus efficaces et donc les rentes les plus faibles aux GDA les moins efficaces.

périeur à son niveau de réservation, normalisé à 0, pour qu'il accepte le contrat et que l'agent obtienne un profit plus élevé en annonçant sa vraie caractéristique θ .

La première étape dans la caractérisation du contrat d'équilibre est de déterminer la classe des mécanismes implémentables, c'est-à-dire obéissant aux contraintes CP et CI, en suivant Guesnerie et Laffont (1984) et Salanié (1994).

Si un GDA de type θ reporte θ' , ses profits s'écrivent:

$$V(\theta, \theta') = Tr(\theta') + P(V_f(\theta'), V_p(\theta')) - C(V_f(\theta'), V_p(\theta'), \theta)$$

Le contrat $(V_f(\theta), V_p(\theta), Tr(\theta))$ doit donc vérifier les contraintes d'incitation (CI) suivantes:

$$V(\theta, \theta) \geq V(\theta, \theta'), \forall \theta, \theta' \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}] \quad (CI)$$

Pour que (V_f, V_p, Tr) soit compatible avec la contrainte d'incitation, les conditions nécessaires du premier et du second ordre doivent être les suivantes (Guesnerie et Laffont (1984); Salanié (1994)).

| | | |
|--|-------------------|--|
| $\forall \theta \in \Theta, \begin{cases} \frac{\partial V}{\partial \theta'}(\theta, \theta) _{\theta=\theta} = 0 & (CI1) \\ \frac{\partial^2 V}{\partial \theta'^2}(\theta, \theta) _{\theta=\theta} \leq 0 & (CI2) \end{cases}$ | \Leftrightarrow | $\begin{cases} CI1: U'(\theta) = -C_{\theta}(V_f(\theta), V_p(\theta), \theta) < 0 \\ CI2: C_{\theta f}(V_f(\theta), V_p(\theta), \theta) \frac{dV_f}{d\theta} + C_{\theta p}(V_f(\theta), V_p(\theta), \theta) \frac{dV_p}{d\theta} \leq 0 \end{cases}$ |
|--|-------------------|--|

Les contraintes (CI1) et (CI2) constituent respectivement les conditions d'incitation du premier et second ordre que le principal doit respecter pour rendre le contrat attractif en même temps que révélateur.

La contrainte (CI1) est une condition locale qui signifie que pour tout mécanisme compatible en termes d'incitation, l'utilité du GDA pour tous les types possibles est une fonction décroissante de θ puisque C_{θ} est positif.

En termes de rente $(U(\theta))$ et de contrainte de participation, on déduit de (IC1) que la rente informationnelle de l'Agent, est une fonction décroissante de son type, d'une part, et d'autre part, comme U est décroissant en θ et les rentes sont socialement coûteuses, la contrainte de participation $(U(\theta) \geq u)$ se limite à (CP): $U(\bar{\theta}) = 0$.

La combinaison des deux contraintes (CI1) et (CP) donne une expression de la rente d'information que reçoit l'opérateur, soit:

$$U(\theta) - U(\bar{\theta}) = U(\theta) = \int_{\bar{\theta}}^{\theta} C_{\theta}(V_f(\tau), V_p(\tau), \tau) d\tau \quad (2.5)$$

de telle sorte que la valeur espérée de $U(\theta)$ est aussi la valeur espérée $c_{\theta} \frac{F(\theta)}{f(\theta)}$ de puisque $U(\bar{\theta})$ est fixé à zéro par le régulateur.

Nous ignorons en premier lieu la contrainte d'incitation de second ordre et en introduisant l'expression de la rente d'information $U(\cdot)$ dans le critère à maximiser, le problème du principal revient à résoudre le programme suivant:

$$\max_{V_f(\cdot), V_p(\cdot)} EZ = \max \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \left[S(V_f(\theta)) - C(V_f(\theta), V_p(\theta), \theta) - \mu \frac{F(\theta)}{f(\theta)} C_{\theta}(V_f(\theta), V_p(\theta), \theta) \right] f(\theta) d\theta \quad (2.6)$$

Pour la résolution de ce type de problème d'optimisation, nous avons suivi la technique adoptée par Laffont et Tirole (1993, p 105, 106). Le contrat optimal est donc donné par le système S2:

$$S2 \begin{cases} P(V_f) = C_{V_f}(V_f(\theta), V_p(\theta), \theta) + \mu \frac{F(\theta)}{f(\theta)} C_{\theta f}(V_f(\theta), V_p(\theta), \theta) & (2.7) \\ C_{V_p}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) = \mu \frac{F(\theta)}{f(\theta)} C_{\theta V_p}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta) & (2.8) \end{cases}$$

Où $C_{\theta V_f} = C_{V_f} * V_f / V_p + C / V_p$ et $C_{\theta V_p} = C_{V_p} * V_f / V_p - C * V_f / V_p^2$

Si l'on compare le système d'équations (2.7; 2.8) aux systèmes (2.3; 2.4) du cas de l'information complète, on remarque qu'il y a deux termes supplémentaires.

$$\begin{cases} \bullet \frac{F(\theta)}{f(\theta)} C_{\theta f}(V_f(\theta), V_p(\theta), \theta) \\ \bullet \mu \frac{F(\theta)}{f(\theta)} C_{\theta V_p}(V_f(\theta), V_p(\theta), \theta) \end{cases}$$

Ces termes représentent la distorsion induite par l'information incomplète. Ils correspondent à la perte sociale unitaire engendrée par la rente qu'il est nécessaire d'accorder au gestionnaire (GDA) pour qu'il révèle son vrai type θ . Ces termes disparaissent lorsque, ou de manière équivalente. Dans ce cas, les rentes ne sont plus coûteuses, et il n'y a plus d'arbitrage entre efficacité et extraction de rentes.

Les signes des dérivées croisées $C_{\theta V_f}$ et $C_{\theta V_p}$ sont donc les deux éléments qui régissent les distorsions par rapport au cas de l'information complète. Puisque par hypothèse $\pi > 0.5$ et faisant l'hypothèse que $C_{\theta V_f} > 0$ (qu'il est plus coûteux pour les opérateurs inefficaces d'augmenter la quantité d'eau effectivement facturée), le terme de distorsion $(\mu \frac{F(\theta)}{f(\theta)} C_{\theta f}(V_f(\theta), V_p(\theta), \theta))$ est croissant en V_f .

Réduire cette rente vient à réduire le volume facturé. Par conséquent, lorsqu'on s'éloigne de la situation optimale, $S'(V_f) = C'(V_f)$, la quantité d'équilibre V_f obtenue dans le cadre de la régulation, pour un paramètre θ donné, décroît. D'après l'égalité donnée par l'équation (2.7), on voit que le régulateur accorde au gestionnaire une rente unitaire, au-delà du coût marginal qui augmente avec V_f .

D'autre part, faisons l'hypothèse que $C_{\theta V_p} < 0$ (il est plus coûteux pour les exploitants les plus inefficaces de réduire les pertes), le terme de distorsion $\mu \frac{F(\theta)}{f(\theta)} C_{\theta V_p}(V_c(\theta), V_p(\theta), \theta)$ est décroissant en V_p .

Alors, un accroissement des pertes V_p réduit les rentes. En d'autres termes, il pourrait être dans l'intérêt du décideur public de permettre au GDA d'accroître ses pertes au-delà du niveau optimal, pour que les GDA les plus efficaces n'aient pas de gain à se faire passer pour inefficaces. Aussi, étant donné la valeur espérée des rentes qui est égale à la valeur espérée de $C_{\theta} F(\theta) / f(\theta)$, réduire les rentes revient alors à diminuer C_{θ} ou bien autrement, réduire le volume facturé pour les GDA inefficaces et leur autoriser une perte d'eau (V_p) supérieure au niveau de perte optimal V_p^* autorisé.

Un résultat aussi important concernant les solutions du modèle est le suivant: le responsable du service d'eau peut trouver avantageux de ne pas réparer toutes les fuites sur les conduites, et préférer un volume d'eau plus important pour satisfaire la demande de ses abonnés. Il s'ensuit donc qu'il est très coûteux de réparer ces fuites et que la substitution

entre les facteurs de production autorise le responsable du service à pallier la diminution du volume destiné aux usagers en augmentant la production d'eau. Ceci montre que l'information incomplète offre une raison supplémentaire à la présence de pertes d'eau importantes dans les réseaux d'eau d'irrigation.

L'hypothèse nécessaire à la vérification de la condition de second ordre décrite par l'équation $C_{\theta\theta}(V_f(\theta), V_p(\theta), \theta) \frac{dV_f}{d\theta} + C_{\theta V_p}(V_f(\theta), V_p(\theta), \theta) \frac{dV_p}{d\theta} \leq 0$

est vérifiée pour l'alternative suivante: Soit $\frac{dV_f}{d\theta} < 0$ et $\frac{dV_p}{d\theta} > 0$, et c'est-à-dire que le volume d'eau facturé et perdu diminue et augmente, respectivement, avec un agent (GDA) moins efficace.

2.5. Spécification de la fonction de coût et validation empirique des modèles théoriques de régulation

Adaptée aux travaux de Garcia et Thomas (2003) et Bouscasse *et al.* (2008), une fonction de coût variable d'exploitation de type trans-log des GDA a été estimée sur des données individuelles, soit:

$$C(V_f, V_p, \theta) = H(V_f(\theta_i), V_p(\theta_i), w_i, z_i, \varepsilon_i) \quad (2.9)$$

où $H(V_f, V_p) = \exp(TL(V_f, V_p))$, avec TL la forme translog de la fonction de coût, V_f et V_p sont respectivement le volume d'eau facturé et le volume de perte au niveau du réseau par GDA, w_j le vecteur de prix des inputs et Z_i le vecteur des caractéristiques techniques du GDA. Toutes ces variables sont parfaitement observables par le régulateur. θ_j représente l'efficacité productive du GDA et ε_j une erreur traduisant l'existence d'aléas non observés sur les coûts.

Nous supposons que la fonction de coût satisfasse les contraintes de symétrie des inputs et respecte la propriété d'homogénéité des prix des inputs. Cette propriété⁴ est imposée avant l'estimation de la fonction de coût, en divisant la variable dépendante (le coût d'exploitation) et les prix des inputs par le prix de l'un des inputs.

En utilisant un double indexage, service (i) et période (t), la frontière de coût stochastique pour estimer la performance du GDA peut être exprimée de la façon suivante:

$$C(V_{f, it}, V_{p, it}, w_{it}, \theta_i) = H(V_{f, it}, V_{p, it}, w_{it}, \varepsilon_{it}) \exp(\theta_{it} V_{p, it} / V_{f, it}) \quad (2.10)$$

Pour l'estimation des paramètres de la fonction de coût et de l'efficacité productive du GDA, le coût variable (CV) est la somme des dépenses de travail, d'électricité et des autres inputs variables. Le prix du travail unitaire w_L est obtenu en divisant les dépenses totales de travail par le nombre d'employés à plein temps. Le prix de l'énergie w_E est calculé à partir des dépenses en électricité et la consommation annuelle d'énergie (DT/kwh). Les autres dépenses (A) sont composées de plusieurs catégories de coûts assez hétéro-

gènes regroupant les frais d'entretien et de maintenance, de gestion et dépenses diverses. A cause de l'absence d'informations sur les prix et du problème d'hétérogénéité de ce facteur, nous avons choisi de construire un indice de prix noté WA pour ce facteur A comme un coût unitaire par m³ d'eau d'irrigation produit. La validation empirique de différents modèles théoriques de régulation a été basée sur le jeu de données à notre disposition dans la région de Zeuss-Koutine. A partir de la définition des différents facteurs de production variables x (travail L, énergie E, autres dépenses A), utilisés dans la production et la distribution de l'eau d'irrigation, nous avons considéré deux outputs physiques donnés par le volume d'eau facturé aux irrigants (V_f) et par le volume d'eau perdu (V_p) (volume d'eau produit-volume d'eau facturé), exprimés en m³. Les autres variables capturant l'hétérogénéité qui peut exister entre les GDA et expliquer directement l'inefficacité de coût des GDA sont données par le taux de rendement (Rdmt), par le taux d'équipement (Eq) et par l'âge du réseau (Ag). Les statistiques descriptives de ces variables sont présentées dans le tableau qui suit:

| Variables | Description | Unité | Moyenne | Ecart-type |
|-----------|-----------------------------------|--------------------|----------|------------|
| CV | Coût variable | DT | 3614,17 | 2240,48 |
| V_f | Volume facturé par irrigant | m ³ /Ab | 2012,6 | 1931,722 |
| VP | Volume perdu par kilomètre | m ³ /km | 2490,385 | 3912,98 |
| w_E | Prix d'électricité | DT/kwh | 0,05 | 0,04 |
| w_L | Prix de travail | DT/an | 1116,77 | 882,19 |
| w_A | Prix d'autres charges | DT/m ³ | 0,035 | 0,038 |
| S | Superficie irrigable | Ha | 29,9 | 18,91 |
| Ab | Nombre d'abonnés | - | 19 | 11,05 |
| Long | Longueur du réseau | Km | 7,88 | 4,80 |
| Stoc | Capacité de stockage du réservoir | m ³ | 69,375 | 77,98 |
| Rdmt | Taux de rendement | % | 71,87 | 11 |
| Eq | Taux d'équipement | % | 59 | 23 |
| Ag | Age du réseau d'irrigation | Année | 17 | 3,95 |

Source: Calculs effectués à partir de rapports financiers et budgets prévisionnels du GDA.

4. Résultats et discussions

L'exercice de simulation que nous proposons consiste à regarder la trajectoire des principales variables d'intérêt (volume facturé, volume perdu, prix, rendement du réseau, transfert, rente, bien-être des consommateurs, bien-être social) en fonction de l'efficacité du GDA et à étudier la sensibilité des solutions en fonction des paramètres π (poids arbitraire qui représente les préférences du régulateur) sur un service moyen de l'échantillon retenu. La simulation des solutions optimales pour différentes valeurs de θ nous permet de mesurer l'amplitude des variations des termes du contrat en fonction de l'efficacité du GDA et de concrétiser le rôle primordial de la rente informationnelle dans le processus de décision concernant l'arbitrage entre efficacité et extraction de la rente.

La simulation des contrats optimum a nécessité une spécification de la fonction de coût variable de production du GDA et de la fonction de demande inverse $P(q)$ à partir de laquelle le surplus des irrigants a été calculé. Dans ce cadre,

⁴ Il est équivalent d'imposer un ensemble de contraintes sur les paramètres de la fonction de coût:

$$\sum_i \beta_i = 1; \sum_i \beta_{it} = \sum_i \beta_{it} = 0; \sum_i \beta_{iy} = 0$$

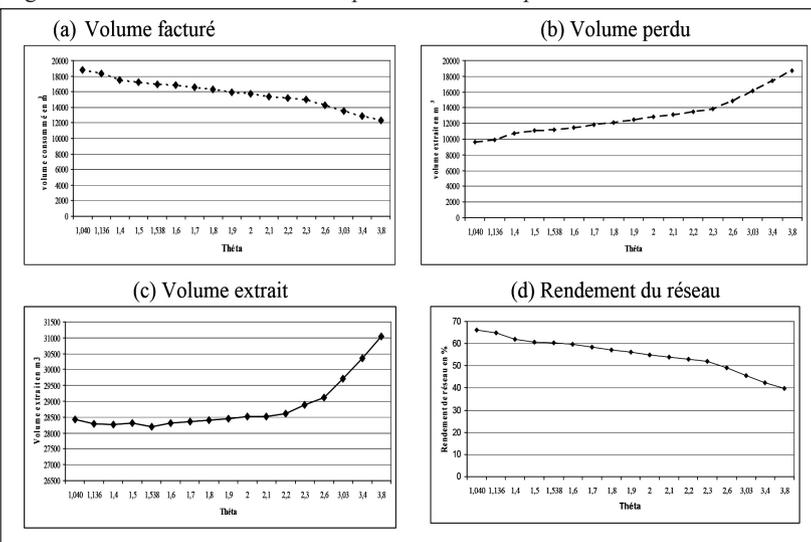
une fonction de coût variable de production du GDA de type translog et un modèle économétrique simple (Rubio et Casino, 2003; Schaible et al., 2010) pour évaluer la fonction de demande en eau d'irrigation et par la suite, le surplus des irrigants $S(V_f)$, ont été retenus et estimés sur le jeu de données à notre disposition, collecté sur la base du dépouillement de différents rapports financiers et budgets prévisionnels relatifs aux 7 GDA d'irrigation, observés sur la période 2000-2009 dans le bassin versant de Zeuss-Koutine, Sud-Est Tunisien. Ensuite, moyennant une frontière de coût stochastique, la performance du GDA a été estimée et la distribution du paramètre relatif à l'information privée du GDA (θ) a été trouvée. Enfin, un travail de simulation moyennant une méthode numérique de résolution (méthode de *Newton-Raphson*) du système de conditions de premier ordre présenté ci-dessus (S2), nous a permis de trouver les solutions optimales données par les volumes facturés (V_f) et les volumes de pertes autorisés (V_p).

4.1. Résultats de simulation: Contrat CRDA-GDA

Etant donné le résultat d'estimation de la performance du GDA (son type θ) comprise entre $[1,04; 3,8]$ et moyennant la fonction de répartition de type *Gen-Pareto*, retenue pour le paramètre θ , une procédure de simulation a été lancée en s'appuyant sur une méthode numérique de résolution (méthode de *Newton-Raphson*) du système de conditions de premier ordre (S2) ci-dessus, à partir de 8 valeurs équidistantes d'un pas de 0,4, tirées sur l'intervalle $[1,04; 3,8]$ et des valeurs initiales de V_f et V_p choisies comme étant les moyennes géométriques de ces variables.

Le tableau 3 fournit les caractéristiques des contrats d'un service d'eau d'irrigation moyen pour des GDA de types (θ) différents et $\pi = 0,60$. Des valeurs plus élevées de θ (les GDA

Figure 1 - Volumes d'eau consommés, perdus et extraits optimaux et rendement du réseau.



moins efficaces) conduisent à une diminution des volumes d'eau facturés, à un accroissement des volumes d'eau perdus et à une baisse du rendement du réseau.

La figure 1 présente les niveaux des volumes d'eau extrait, facturé, perdu et le rendement du réseau d'eau par rapport à θ . Les volumes d'eau facturés et le rendement du réseau baissent avec le niveau d'efficacité du GDA. Ce résultat indique qu'il est plus coûteux pour les GDA inefficaces d'augmenter le volume d'eau effectivement facturé et de faire décroître le volume d'eau perdu.

L'accès inégal à l'information oblige, en contrepartie, le régulateur à abandonner à l'opérateur efficace des rentes importantes et coûteuses. On sait que, « traditionnellement », dans la théorie des contrats, le principal opère un arbitrage rente-efficacité consistant à diminuer le niveau de production en information incomplète afin de réduire la rente informationnelle coûteuse en terme de bien-être social qu'il doit abandonner à l'agent afin de l'inciter à révéler son type. Les résultats de simulation confirment les résultats du modèle théorique concernant l'arbitrage entre efficacité et extraction de la rente et confirment systématiquement cette politique (Tableau 3). Le surcoût informationnel contraint ici la tutelle (principal) d'accepter plus de perte au niveau du réseau.

La figure 2 regroupe les graphiques montrant l'évolution du niveau des volumes d'eau facturés et perdus en fonction de l'efficacité du GDA pour des π différents. En particulier, plus la distorsion due à l'information privée sur les pertes en eau croît, plus la rente laissée à l'opérateur présente une distorsion vers la baisse. La tendance à l'accroissement des volumes perdus et à la diminution des volumes facturés est confirmée par rapport à la situation d'information complète ($\pi=0,5$). Ces distorsions résultent de la volonté qu'a l'autorité de réduire au minimum la rente abandonnée aux GDA efficaces.

Comme cette rente est coûteuse et décroissante avec le volume perdu et avec le paramètre de préférence du régulateur, ce dernier se trouve contraint d'accepter certaines productions inefficaces et plus de perte au niveau du réseau des GDA peu efficaces pour la réduire. La figure 3 illustre parfaitement l'arbitrage

Tableau 3 - Résultats de simulation du contrat optimal ($\pi = 0,60$).

| Type (θ) | V_f (m ³) | V_p (m ³) | V_E (m ³) | r (%) | Tr | P | U^5 |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------|------|-------|-------|
| 1,040 | 18774 | 9644 | 28418 | 66 | 84 | 0,122 | 3936 |
| 1,4 | 17498 | 10777 | 28275 | 62 | 94 | 0,123 | 3675 |
| 1,8 | 16265 | 12132 | 28397 | 57 | 104 | 0,125 | 3307 |
| 2,2 | 15141 | 13477 | 28618 | 53 | 116 | 0,126 | 2845 |
| 2,6 | 14270 | 14852 | 29122 | 49 | 129 | 0,128 | 2289 |
| 3 | 13519 | 16183 | 29702 | 46 | 145 | 0,129 | 1617 |
| 3,4 | 12884 | 17468 | 30351 | 42 | 160 | 0,129 | 869 |
| 3,8 | 12343 | 18706 | 31048 | 40 | 176 | 0,130 | 0 |

Les volumes facturés V_f et perdus V_p sont exprimés en m³. Le taux de rendement r est défini comme $100 * V_f / (V_f + V_p)$ (unité %). Le transfert monétaire Tr est exprimé en DT et le prix unitaire en DT/m³. La rente informationnelle U est exprimée en DT.

⁵ L'utilité $U(\cdot)$ représente la *rente informationnelle* de l'agent. Cette rente est le prix que le principal doit payer pour que les types efficaces révèlent leur information. Afin que le mécanisme incite les agents à révéler leur vrai type, le principal doit abandonner les rentes les plus élevées aux GDA les plus efficaces et donc, les rentes les plus faibles aux GDA les moins efficaces.

Figure 2 - Volumes d'eau facturés et perdus optimaux.

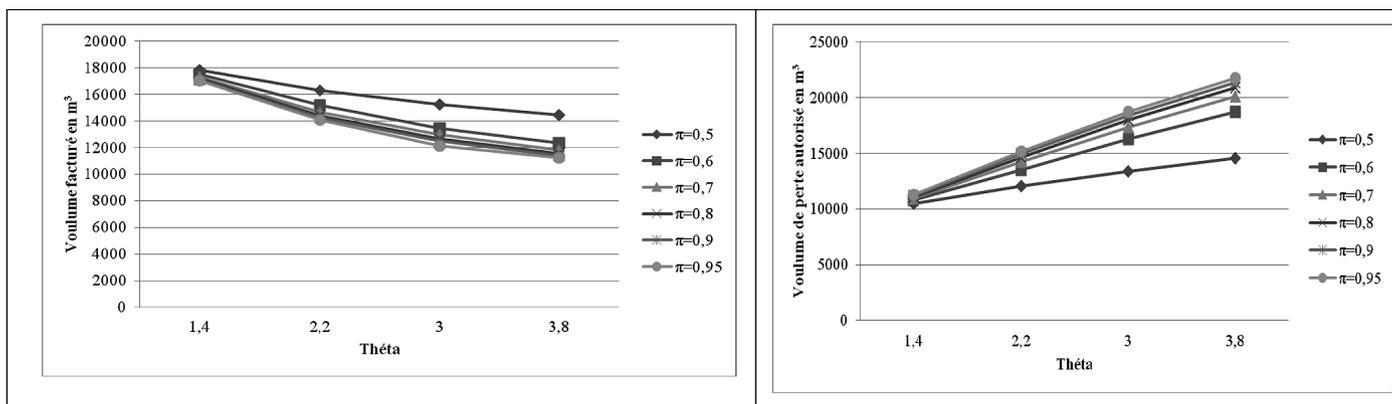


Figure 3 - Rente optimale.

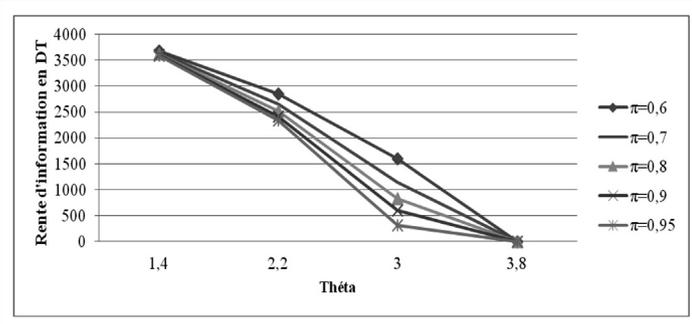


Figure 4 - Bien-être des irrigants optimaux.

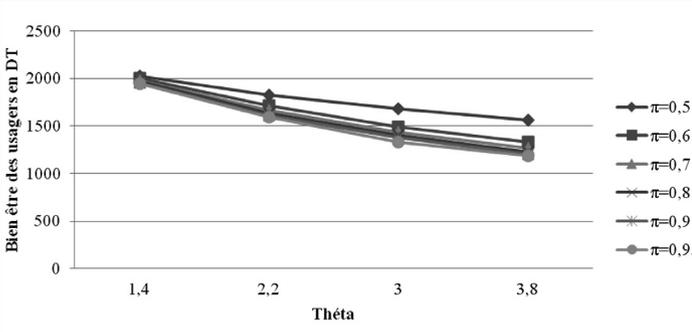


Tableau 4 - Arbitrage extraction de rente/efficacité.

| π | U | Cvp |
|-------|------|-------|
| 0,6 | 3675 | 0,264 |
| 0,7 | 3645 | 0,271 |
| 0,8 | 3623 | 0,276 |
| 0,9 | 3607 | 0,279 |
| 0,95 | 3593 | 0,282 |

$\theta = 1,4$ La rente U et les coûts marginaux sont exprimés en DT.

entre l'extraction de rente et l'efficacité. En termes d'impacts, les résultats de simulation indiquent que des valeurs croissantes de π engendrent une diminution des rentes mais aussi des inefficacités pour les mauvaises firmes, en restreignant le nombre d'échanges réalisés comme elles entraînent une perte d'efficacité de la politique de contrôle des pertes d'eau au niveau du réseau par rapport à l'optimum de 1^{er} rang, car le coût

marginal des pertes d'eau C_{vp} augmente (Tableau 4). Elles engendrent aussi une diminution du surplus des irrigants à cause de la baisse des volumes facturés enregistrés. La figure 4 montre les tendances concernant le bien-être des irrigants.

Sur le plan pratique, si la conception et l'identification d'un menu de contrats discriminant les GDA a permis de motiver et de renforcer l'efficacité du GDA à améliorer le transport et la distribution de l'eau d'irrigation avec moins de volumes d'eaux perdus le long du réseau d'irrigation dans le bassin versant de Zeus-koutine, sa mise en œuvre peut s'avérer, en pratique, délicate dans notre cas d'étude en raison de la nouveauté de cette approche. L'intérêt pratique pour l'adoption de tels instruments nécessiterait l'acceptation de nouveaux concepts pour la régulation de l'eau d'irrigation, une révision du rôle des différentes institutions impliquées dans la gestion de l'eau, notamment en reconnaissant une incitation du système de tarification (Galioto, 2013). Mais, même si nous sommes conscients des difficultés inhérentes à cette méthodologie en termes d'application et de mise en œuvre, notre intention était de fournir une méthode utile pour la création de la conception du mécanisme par la théorie des contrats. De plus, la théorie du menu des contrats pourrait encourager les décideurs à considérer cette nouvelle stratégie de prix comme une option et à utiliser les idées dérivées de cette approche pour améliorer la gestion de l'eau d'irrigation.

5. Conclusion et recommandations

La construction d'un mécanisme non linéaire peut s'avérer, en pratique, délicate à mettre en place, autant il est inexistant pour la gestion et la gouvernance de l'eau d'irrigation en Tunisie. Le présent travail examine la possibilité d'identification et de mise en œuvre des outils économiques de régulation pour le prélèvement des ressources en eau souterraine dans un contexte d'asymétrie d'information entre les différents acteurs de la gestion communautaire de l'eau d'irrigation (CRDA, GDA, irrigant).

Le cadre théorique du présent travail met à profit les développements récents de la théorie des incitations et des contrats. Du point de vue méthodologique, l'ambition est d'étudier les relations entre les opérateurs de la gouvernance de l'eau d'irrigation (administration, GDA et irrigants) moyennant le contrat conclu entre parties, en prenant en compte l'existence d'une

information privée détenue par l'opérateur. La régulation que nous définissons ici se réduit à caractériser l'ensemble des mécanismes de régulation incitatifs et à simuler les contrats de régulation optimaux pour la gestion des ressources en eau souterraine dans les périmètres publics irrigués de la région de Zeuss-Koutine, Sud-Est tunisien, retenue comme zone d'étude.

En termes de résultats, l'exercice de simulation mis en œuvre et l'étude des trajectoires des volumes d'eau produits et des variables économiques du modèle confirment qu'il est plus coûteux pour les GDA inefficaces d'augmenter la quantité d'eau effectivement consommée et de faire décroître le volume d'eau perdu. Par ailleurs, on observe les mêmes tendances lorsque le poids relatif au surplus des usagers (et donc la distorsion liée à l'information asymétrique) augmente. Ceci a une conséquence à première vue étonnante: les GDA inefficaces proposent des prix au m³ inférieurs à ceux des entreprises efficaces. Néanmoins, elles fixent un abonnement plus élevé. Une analyse du bien-être des usagers nous permet de vérifier que l'accroissement de la distorsion économique a un effet négatif. De plus, l'évolution du coût marginal du volume d'eau perdu indique bien un éloignement de l'optimum de premier rang.

En termes d'arbitrage extraction de rente-efficacité, le contrat de régulation simulé vérifie les propriétés usuelles des contrats optimaux issus de la théorie de la régulation sur l'évolution des rentes et du bien-être des consommateurs avec l'efficacité de l'opérateur privé (GDA) et valident l'arbitrage entre extraction de rente et efficacité. Cet arbitrage est déterminé par l'autorisation donnée aux GDA d'irrigation de produire un volume d'eau perdu au-delà du volume optimal pour réduire la rente laissée. Ces résultats sont en cohérence avec ceux obtenus par d'autres études de Wolak (1994) et Gasmi *et al.* (1994).

Toutefois, bien que les démarches proposées tout au long de ce travail méritent d'être mises en place, il est à rappeler qu'il n'existe pas de règles permettant d'allouer l'eau au mieux dans l'absolu. L'efficacité relative de la théorie des contrats dans l'élaboration des politiques de réglementation dépend de la qualité et de la fiabilité des informations utilisées. D'autre part, l'intérêt pratique pour l'adoption de tels instruments de régulation (menus de contrats) nécessiterait, cependant, l'acceptation de cette approche discriminatoire pour la régulation de l'eau et une révision du rôle des différentes institutions impliquées dans la gestion de l'eau d'irrigation. Enfin, ce travail peut être approfondi par l'analyse de la sensibilité des résultats aux scénarios concernant les prix et d'autres paramètres et par l'introduction d'autres contraintes informationnelles, telles que la contrainte d'aléa moral.

Bibliographie

- Bachta M.S., Zaïbet L., 2007. Les innovations institutionnelles comme adaptations à l'évolution du contexte des périmètres irrigués : cas de la Tunisie. In: Bouarfa S., Kuper M., Debbah A. (eds.). *L'avenir de l'agriculture irriguée en Méditerranée. Nouveaux arrangements institutionnels pour une gestion de la demande en eau*. Actes du séminaire Wademed, Cahors, France, 6-7 novembre 2006. Cirad, Montpellier, France.
- Baron D.P., Myerson R.B., 1982. Regulating a monopolist with unknown costs. *Econometrica*, 50: 911-930.
- Ben Salem H., Lokman Z., Bachta M.S., 2005. *Performance de la gou-*

vernance de l'eau d'irrigation par les groupements d'intérêt collectif, en périmètre public irrigué. In M.S. Bachta.

Bouscasse H., Destandau F., Garcia S., 2008. *Analyse économétrique des coûts des services d'eau potable et qualité des prestations offertes aux usagers*. Document de travail n° 2008-02, LEF-ENGREF/INRA, France.

El Chami D., Scardigno A., Zagnoli G., Malorgio G., 2011. Integrated irrigation water policies: economic and environmental impact in the "Renana" Reclamation and Irrigation Board, Italy. *New Medit*, 10(2): 25-32.

Galioto F., Raggi, M., Viaggi D., 2013. Policies in managing water resources in agriculture: An application of contract theory to unmetered water. *Water*, 5: 1502-1516.

Garcia S., Thomas A., 2003. Regulation of public utilities under asymmetric information. *Environmental and Resource Economics*, 26: 145-162.

Gasmi F., Ivaldi M., Laffont J.J., 1994. Rent extraction and incentives for efficiency in recent regulatory proposals. *Journal of Regulatory Economics*, 6: 151-176.

Gasmi F., Laffont J.J., Sharkey W.W., 1997. Incentive regulation and the cost structure of the local telephone exchange network. *Journal of Regulatory Analysis*, 12: 5-25.

Guesnerie R., Laffont J.J., 1984. A complete solution to a class of principal-agent problems with an application to the control of a self-managed firm. *Journal of Public Economics*, 25: 329-369.

Les instruments économiques et la modernisation des périmètres irrigués. Actes du séminaire Euro-Méditerranéen, Sousse, Tunisie, 21-22 novembre 2005.

Koundouri P., 2004. Current issues in the economics of groundwater resource management. *Journal of Economic Surveys*, 18(5): 703-740.

Laffont J.J., Tirole J., 1986. Using cost observation to regulate firms. *Journal of Political Economy*, 94(3): 614-641.

Laffont J.J., Tirole J., 1993. *A theory of incentives in procurement and regulation*. Paris: Economica.

Laffont J.J., Martimort D., 2002. *The theory of incentives: the principal-agent model*. Princeton University Press.

Loubier S., 2003. *Gestion durable des aménagements d'hydraulique agricole : Conséquence sur la tarification et les politiques en hydraulique agricole*. Thèse de doctorat, Université Montpellier I (France).

Mahdhi N., 2014. *Asymétrie d'information et gestion des ressources en eau souterraine dans les périmètres publics irrigués de la région de Zeuss-Koutine, Sud-est Tunisien*. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique de Tunisie (INAT).

Makkaoui R., Dubois J.L., 2010. Nouvelles formes de gouvernance dans le domaine de l'eau. Apports et limites de la coopération décentralisée dans les pays en développement. *Développement durable et territoires*, 1(1): 1-19.

Marseille, 2009, pp. 163-182.

Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques, 2013. *Budget économique pour l'année 2013*. Rapport en arabe, Décembre 2013.

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 en Economie Rural, Université Montpellier I (France).

North D., 1991. Towards a theory of institutional change. *Quarterly Review of Economics and Business*, 31(4): 3-11.

Ostrom E., 1990. *Governing the commons. The evolution of institutions for collective action*. Cambridge (UK): Cambridge University Press.

Palluault S., Elloumi M., Romagny B., Sghaier M., 2009 : Gestion de la rareté de l'eau et inégalités face à la ressource dans le Sud-Est tunisien. In : Ayebe H., Ruf T. (dir.). *Eaux, pauvreté et crises sociales*, Marseille, IRD éditions. Collection Colloques et séminaires.

Romagny B., Riaux J., 2007. La gestion communautaire de l'eau agricole à l'épreuve des politiques participatives: regards croisés Tunisie/Maroc. *Journal des Sciences Hydrologiques* 52(6): 1179-1196.

Rubio, S., Casino, B., 2003. Strategic behaviour and efficiency in the common property extraction of groundwater. *Environmental and Resource Economics*, 26(1): 73-87.

Schaible G.D., Kim C.S., Aillery M.P., 2010. Dynamic adjustment of irrigation technology/water management in Western U.S. Agriculture: Toward a Sustainable Future. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 58(4): 433-461.

Wolak F., 1994. An econometric analysis of the asymmetric information regulator-utility interaction. *Annales d'Economie et de Statistiques*, 34: 13-69.