



**HAL**  
open science

## Préservation des étiages par des méthodes originales de tarification de l'eau d'irrigation

Jean-Philippe Terreaux, Y. Sidibé, M. Tidball

► **To cite this version:**

Jean-Philippe Terreaux, Y. Sidibé, M. Tidball. Préservation des étiages par des méthodes originales de tarification de l'eau d'irrigation. *La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau*, 2012, 6 (2012/6), p. 41 - p. 46. 10.1051/lhb/2012038 . hal-00813391

**HAL Id: hal-00813391**

**<https://hal.science/hal-00813391>**

Submitted on 15 Apr 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Préservation des étiages par des méthodes originales de tarification de l'eau d'irrigation

Jean-Philippe TERREAUX<sup>1</sup>, Yoro SIDIBE<sup>2</sup>, Mabel TIDBALL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> IRSTEA –UR ADBX, 50 Avenue de Verdun, F-33612 Gazinet Cestas, France - e-mail: jean-philippe.terreaux@irstea.fr

<sup>2</sup> Université de Montpellier 1, France - e-mail: pysidibe@yahoo.fr

<sup>3</sup> Inra, UMR Lameta, 2 Place P. Viala, F-34060 Montpellier Cedex 2, France - e-mail: tidball@supagro.inra.fr

**RÉSUMÉ.** – L'eau d'irrigation est, au niveau international, au cœur de trois défis concernant la maîtrise des risques : risques environnementaux, par exemple ceux liés à une baisse excessive du débit de cours d'eau, risques économiques, pour n'en citer qu'un, la possibilité de baisse importante du revenu agricole en cas de sécheresse, risques alimentaires lorsque c'est le volume de la production agricole qui est en danger. Différentes méthodes de répartition de l'eau d'irrigation, fondées sur des méthodes de tarification adaptées, permettent d'améliorer la situation pour ces trois dimensions, notamment en cas de sécheresse. Nous les présentons et les comparons entre elles.

Mots-clefs : Tarification, irrigation, non-linéaire, DCE, environnement

## Low-water protection by original irrigation pricing methods

**ABSTRACT.** – The irrigation water is, at the international level, in the heart of three challenges concerning risk control: environmental risks, for example those bound to an excessive flow reduction of the water courses, harmful for the environment, the economic risks, for example of important reduction in the agricultural income in case of drought, food risks when it is the volume of the agricultural production which is in danger. Various methods of irrigation water allocation, based on adapted non linear pricing methods, allow improving the situation of these three variables, in particular in case of drought. We present them and compare their effects.

Key words: Pricing, irrigation, nonlinear, WFD, environment

## I. INTRODUCTION

L'irrigation, en France et dans de nombreux autres pays, est l'activité qui consomme le plus d'eau, alors que son impact en termes de produit intérieur brut semble modeste. Ce fait est à l'origine de conflits avec une population urbanisée, qui comprend moins qu'auparavant l'intérêt de cette consommation visible [Rogers et al., 2002], alors que l'état des restrictions d'usage peuvent être rendues obligatoires dans d'autres secteurs [Tardieu, 2008]. Mais c'est oublier le rôle stratégique de la production alimentaire, et l'impact régulateur de l'irrigation à la fois sur cette production, et sur le revenu agricole [Tsur, 2005], une pratique parfois nécessaire à la simple survie des exploitations [Fraiture, Wichelns, 2010].

Cela étant, limiter adroitement l'usage de l'eau pour l'irrigation, de manière à mieux garantir les débits d'étiage dans les rivières sans qu'il soit nécessaire de recourir à des contraintes fortes (e.g. restrictions préfectorales de l'irrigation par arrêtés), ou à des mesures coûteuses (e.g. mesures agroenvironnementales de limitation de l'irrigation), de manière aussi à inciter à l'usage de l'eau uniquement là où elle est la plus nécessaire, sans mettre en péril la sécurité alimentaire, est un objectif devenu prioritaire, au fur et à mesure de l'exacerbation des tensions sur l'usage de la ressource en eau. C'est aussi une demande adressée à la recherche par les décideurs politiques et les « parties prenantes » concernées par l'eau ou l'environnement, ainsi que l'a montré le contrat européen Noviwam [Terreaux et al., 2011].

Les problèmes liés à l'eau sont complexes et étroitement intriqués, qu'il s'agisse des problèmes d'eau de surface ou d'eau souterraine, des problèmes qualitatifs ou quantitatifs. Par exemple vouloir travailler uniquement sur les aspects qualitatifs sans aborder les questions quantitatives peut être tentant mais reste illusoire quant aux effets obtenus, si la pérennité des flux n'est pas garantie. La complexité de ces problèmes est parfaitement décrite dans de nombreux ouvrages, et des outils réglementaires se mettent en place, principalement au niveau européen dans le cadre de la DCE (Directive Cadre sur l'Eau), pour les résoudre non pas par une solution unique et universelle, mais, comme pour tout ensemble de problèmes importants et enchevêtrés, par l'orchestration de solutions multiples [Molle, Berkoff, 2007]. Parmi elles, la tarification non linéaire peut contribuer efficacement à l'atteinte des objectifs [Wilson, 1999 ; Ward Pulido-Velazquez, 2009 ; Monteiro, 2005]. La mise en place d'un organisme unique de gestion de l'eau d'irrigation pour chaque périmètre irrigué facilite la mise en œuvre de ce mode de gestion collective.

Dans notre approche, le principal aléa pris en compte est le climat et sa double répercussion sur l'offre et la demande en eau : sous nos latitudes, on constate en effet un double effet d'étés potentiellement chauds et secs, qui se traduisent simultanément par une augmentation de la demande en eau d'irrigation et par une baisse de la disponibilité de la ressource dans les rivières ou les retenues. Une tarification simple de l'eau, linéaire (un prix fixe au m<sup>3</sup> consommé),

sans conditionnalité vis à vis du climat ou d'autres variables, est assez inopérante dans ce type de situation : elle fixerait le prix à un niveau trop élevé pour être efficace en année pluvieuse, et à un niveau trop bas (d'où une surexploitation des rivières ou des nappes) en année sèche.

Différents pays (Australie, Etats-Unis) ont mis en place des marchés de quotas d'eau, de manière à inciter à une utilisation plus efficace de cette ressource. Ces systèmes posent toutefois un problème car les quotas alloués initialement sont fixes et indépendants du climat constaté. En outre, ils ne pourraient être généralisés à de nombreux pays, notamment européens, car l'eau y est bien commun, *res communis*, et il est impossible de vendre un bien pour lequel on n'a pas de droit de propriété.

Notre objectif général est de contribuer à la pérennité des écosystèmes liés à l'eau et aussi des systèmes de production agricole qui reposent sur ces derniers. A cet effet, nous décrivons comment des méthodes de tarification non linéaires peuvent permettre d'anticiper les conflits liés à l'eau, de favoriser l'utilisation de l'eau chez les agriculteurs pour lesquelles elle est la plus utile, d'inciter globalement à un usage plus raisonné de la ressource. Deux modes de tarification sont ainsi étudiés, inspirés de tarifications réellement utilisées, et nous présentons et comparons leurs propriétés sur le plan de l'environnement, de la production agricole ainsi que du revenu agricole. Nous introduisons aussi un autre mode de tarification possible prenant en compte explicitement l'incertitude sur la disponibilité en eau. Enfin, nous indiquons quelques pistes de recherche complémentaires.

## II. LES TARIFICATIONS NON LINÉAIRES

De manière générale, l'utilisation d'une tarification non linéaire permet d'offrir à l'acheteur un menu de services ou de biens, assortis de prix spécifiques, sans autre discrimination ou différenciation entre les acheteurs que ce qui les conduira à choisir tel ou tel menu. Dans le langage des économistes, l'évaluation de ces services ou biens n'étant pas la même pour les acheteurs, ils seront enclins à choisir celui qui maximise leur utilité, tout en se limitant à des menus pour lesquels les prix restent inférieurs à l'utilité marginale qu'eux-mêmes vont retirer du bien ou service.

Autrement dit, la mise en place d'une tarification non linéaire peut ainsi permettre (procédure dite de *mechanism design*) d'atteindre certains objectifs en profitant de l'inhomogénéité des clients. Ainsi un transporteur (aérien ou par chemin de fer) peut augmenter le nombre de personnes transportées, en profitant de l'inégalité de la valeur du transport, en captant la « rente » ou le surplus induit par ce service, de manière à faire payer un prix moindre que le prix moyen aux passagers pour lesquels cette utilité est la plus faible. Les exemples d'application sont nombreux, allant des services du téléphone, à ceux de l'électricité, ou du courrier.

La mise en place de telles tarifications précises et efficaces peut être gênée par des difficultés de compréhension par les usagers des choix qui leurs sont offerts, ce qui peut nécessiter des adaptations en fonction de la nature des biens. Ainsi, dans le transport, l'annonce d'un prix conduit le client à simplement accepter ou refuser l'offre (décision binaire), à charge pour le transporteur de faire des études correctes de marché. Mais pour certains biens et certains modes de tarification, cette dernière ne conduit pas à une décision binaire, mais au contraire au choix d'une quantité (réservation d'un volume d'eau). Il est alors nécessaire de bien expliciter les conséquences du choix réalisé.

L'acceptabilité de cette tarification est ainsi essentielle, ainsi qu'une bonne réactivité des consommateurs à l'évolution de leur environnement et des paramètres de la tarification. Ainsi, pour la tarification CAEDS (Compagnie d'Aménagement des Eaux des Deux Sèvres ; voir ci-après), qui est pourtant la moins simple présentée ici, nous avons montré que les agriculteurs réagissent de manière tout à fait conforme à l'attente, indiquant qu'ils ont très rapidement saisis les tenants et aboutissants du mode de facturation proposé.

Grâce aux différents paramètres à sa disposition, les objectifs que le gestionnaire de l'eau peut poursuivre sont multiples :

- Assurer le débit d'étiage dans la rivière ;
- Ajuster le prix de manière à ce que la demande puisse rester inférieure à l'offre sans besoin de rationnement ;
- Assurer l'équilibre budgétaire de l'entité gestionnaire (la compagnie ou l'association d'irrigation par exemple), incluant les différents coûts d'infrastructure si nécessaire ;
- Faire en sorte que l'eau soit utilisée par les agriculteurs qui en ont le plus besoin, mais sans leur faire révéler des informations qui peuvent rester du domaine privé (niveau d'endettement etc.) ;
- Améliorer la production agricole issue de chaque volume d'eau utilisé.

Bien entendu, un seul objectif peut être optimisé, les autres devenant des contraintes, qui doivent être respectées et dont on peut déterminer le coût marginal correspondant.

Une telle tarification non linéaire repose sur différentes conditions [Wilson, 1993], parmi lesquelles :

- Le gestionnaire doit être en position de monopole, ce qui est effectivement le plus souvent le cas en matière de périmètres irrigués. La limitation pourra notamment venir du fait que certains agriculteurs peuvent créer des ressources privées alternatives (puits privés par exemple, ou pompage direct en cours d'eau) ;
- Impossibilité d'un marché de revente ; dans le cas où un tel marché est possible, la mise en place d'une tarification est nettement plus complexe, mais pas irréalisable ;
- Mesure des volumes consommés, ce qui est effectivement le cas depuis l'installation de compteurs pour l'eau agricole ;
- Hétérogénéité des agriculteurs irrigants (soit par les cultures pratiquées, par leur niveau d'endettement, leur aversion au risque etc.), de manière à ce que tous n'aient pas exactement le même comportement, ce qui annulerait en grande partie l'intérêt de cette tarification.

Les risques qui peuvent être pris en compte lors de l'établissement de ce type de tarification sont de différentes natures : Soit des incertitudes externes, par exemple les conditions climatiques de l'année en cours, pour l'été à venir, pour lesquelles l'information est commune à tous les agents (agriculteurs et gestionnaires) ; on notera que cette information évolue au fil du temps. Soit des incertitudes propres à certains agents, dues à une information non partagée ; par exemple le gestionnaire ne connaît pas l'importance des contraintes budgétaires d'un agriculteur donné, ni l'évolution incertaine de celles-ci.

## III. DEUX EXEMPLES EN FRANCE

Ces deux exemples de tarifications sont directement inspirés de celles pratiquées à la CACG (Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne) et de la CAEDS (Compagnie d'Aménagement des Eaux des Deux Sèvres) ; il ne s'agit pas des tarifications réellement pratiquées, ces

dernières, légèrement plus complexes, nécessiteraient d'autres outils pour les analyser avec notre niveau de détail. Cela étant, l'esprit de ces deux tarifications est conservé, et c'est pour cette raison que nous leur conservons une appellation qui rappelle leur origine (CACG' et CAEDS').

### III.1. Tarification CACG'

L'originalité consiste à asseoir la facturation sur deux variables, la quantité d'eau  $S$  réservée ou souscrite avant la période d'irrigation par l'agriculteur considéré, la quantité d'eau  $C$  réellement consommée par le même agriculteur. Les prix payés par quantité d'eau réservée et consommée ne sont pas les mêmes. En outre, il ne s'agit pas d'une simple addition de deux factures de réservation et de consommation : En effet, la formule de tarification s'écrit ici :

$$F(S, C) = pS + \max(0, p'(C - S)) \quad (1)$$

Avec  $F(S, C)$ , la facture d'eau,

$S$ , la quantité réservée par l'agriculteur,

$C$ , la quantité consommée par l'agriculteur,

$p$ , le prix payé par unité réservée,

$p'$ , le prix payé par unité consommée, uniquement pour la partie excédent la quantité souscrite.

### III.2. Tarification CAEDS'

L'idée de départ repose aussi sur une réservation  $S$  d'eau avant la période d'irrigation par chaque agriculteur, et un volume d'eau consommé  $C$  possiblement différent. En revanche la formule de tarification est structurée différemment :

$$F(S, C) = \lambda \left( aS + (1-a) \frac{\max(C, bS) \cdot C}{S} \right) \quad (2)$$

Avec  $F(S, C)$ , la facture d'eau,

$S$ , la quantité réservée par l'agriculteur,

$C$ , la quantité consommée par l'agriculteur,

$a$ ,  $b$  et  $\lambda$  trois paramètres.

### III.3. Comparaisons

#### III.3.1. Comparaison qualitative

Une première comparaison peut être faite sur le plan qualitatif, en examinant la forme des courbes représentant la facture d'eau en fonction du volume d'eau consommé, pour un volume souscrit identique, et inversement la facture en fonction de la réservation, pour une consommation donnée.

Les propriétés de ces modes de tarification montrent que (Fig.1), pour une consommation anticipée, la facture d'eau, exprimée en fonction du volume souscrit, passe par un minimum. Ce minimum est plus ou moins accentué en fonction d'une part du type de formule (CAEDS' ou CACG') et en fonction des paramètres retenus ( $p$ ,  $p'$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\lambda$ ). Une fois la souscription effectuée, alors (Fig. 2) la facture d'eau soit augmente systématiquement en fonction du volume consommé, soit reste stationnaire puis augmente en fonction de ce volume. Ici aussi les choix du mode de tarification et de la valeur des paramètres influencent quantitativement les résultats.

Un des principaux intérêts de ces deux tarifications est d'inciter l'agriculteur à souscrire un volume  $S$  en relation

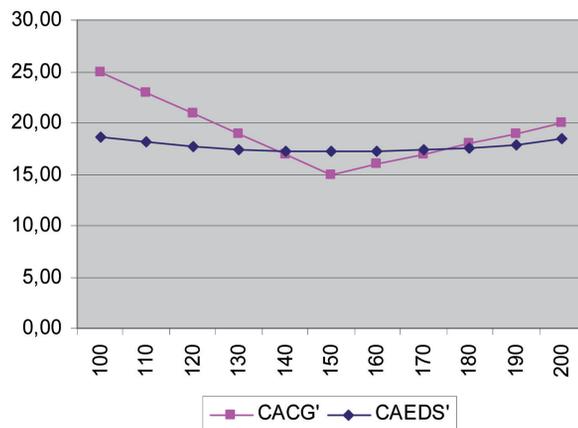


Fig. 1 : Avec losanges : CAEDS' ; Avec carrés : CACG'. Facture d'eau pour une consommation de 150 unités en fonction du volume souscrit (en abscisse)

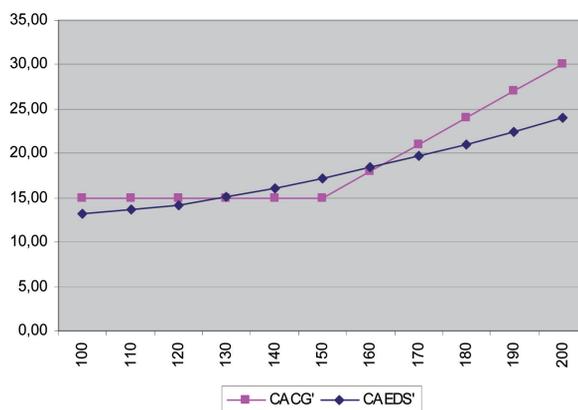


Fig. 2 : Avec losanges : CAEDS' ; Avec carrés : CACG'. Facture d'eau pour une souscription de 150 unités en fonction du volume consommé (en abscisse)

directe, bijective, avec le volume d'eau qu'il escompte consommer. Cela permet au gestionnaire d'anticiper d'éventuelles tensions à venir entre l'offre et la demande, et lui permet de signaler ces éventuels problèmes aux agriculteurs, au moment de la réservation, lorsqu'il est encore temps de modifier les spéculations (la nature des cultures), ou les itinéraires techniques futurs.

En outre, les différents paramètres ont des influences différentes sur les objectifs poursuivis par le gestionnaire du périmètre et les agriculteurs :

$p$  et  $p'$  : Une augmentation de  $p$  et  $p'$  simultanément permet d'augmenter le budget disponible (somme des factures) du gestionnaire du périmètre.

$p$  : Une augmentation de  $p$  seul conduit à augmenter la part de la facture issue de la souscription, et finalement dissuade moins les dépassements de cette souscription.

$p'$  : Effet inverse : une augmentation de ce seul paramètre conduit à augmenter la 'pénalité' en cas de dépassement de la souscription.

$a$  : Une augmentation de  $a$  conduit à augmenter la part de la souscription dans la formule de tarification. Une diminution de  $a$  augmente la pente du prix exprimé en fonction du volume consommé, dès que ce dernier dépasse  $bS$ .

$b$  : Paramètre influençant le seuil au-delà duquel le prix prend une allure convexe.

$\lambda$  : Une augmentation de ce paramètre permet d'augmenter le budget du gestionnaire.

Cela étant, afin d'étudier l'impact quantitatif de ce type de tarification agricole sur la production de biens alimentaires, et notamment pour pouvoir comparer les factures d'eau avec la valeur de cette production, il nous faut mettre en place un modèle agronomique et un modèle de représentation de l'aversion au risque des agriculteurs.

### III.3.2. Comparaison quantitative

#### a/ Modèle agronomique

Afin d'estimer l'impact sur la production de l'utilisation de l'eau d'irrigation, nous utilisons le modèle STICS [Brisson, 2002], paramétré de la même façon pour les simulations concernant les deux types de tarification. Son intérêt est que pour une culture donnée, un sol donné, des conditions climatiques et des volumes d'eau pour l'irrigation donnés, ce modèle calcule le volume de production qui en est issu, en fonction du « vecteur irrigation » choisi, ce vecteur correspondant aux quantités d'eau apportées par période décadaire. Il est alors possible d'estimer une fonction quadratique de la production agricole en fonction des volumes d'eau apportés à chacune de ces périodes, et ensuite de déterminer quelle récolte maximale il est possible d'obtenir pour un volume d'eau d'irrigation fixé pour toute la période. Finalement, on représente directement la fonction de production agricole avec une seule variable : la quantité d'eau apportée par l'irrigation. Pour ce faire, on estime économétriquement les paramètres d'une fonction simplifiée de la production que l'on peut obtenir en fonction du volume d'eau d'irrigation, dont la forme fonctionnelle est :

$$F(C) = \alpha_2(C + \alpha_3)^{\alpha_1} \quad (3)$$

$\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  et  $\alpha_3$  étant les trois paramètres estimés, sachant que ce jeu de paramètre reste dépendant d'une part de la nature du sol (trois types de sols sont pris en compte), d'autre part du climat pour chaque année considérée (de 1998 à 2007 ; nous avons ainsi 30 jeux de coefficients). Les détails techniques de cette estimation sont donnés dans [Sidibé et al., 2010b et 2011].

#### b/ Résultats

Ainsi il est possible d'analyser les conséquences du choix d'une tarification et d'un paramétrage sur différents objectifs qui peuvent être poursuivis : le niveau de consommation d'eau les étés secs d'une part, les étés pluvieux d'autre part, la valeur totale de la production en euros, le profit net du gestionnaire, le budget du gestionnaire issu de la tarification de l'eau.

Il ressort de quelques analyses qu'une tarification du type CACG' permet une amélioration du profit des agriculteurs et une meilleure anticipation de la demande d'eau de la part du gestionnaire ; une tarification type CAEDS' permet d'obtenir plus facilement un budget équilibré et une consommation plus stable entre été secs et pluvieux. Ces résultats dépendent bien entendu des jeux de paramètres retenus pour chaque système de tarification.

Nous donnons ici le résultat d'un jeu de simulations concernant la culture de maïs. D'autres résultats se trouvent dans [Sidibé et al., 2010b]. Les paramètres ont les valeurs suivantes :  $\alpha_1 = 0.5$ ;  $\alpha_2 = 435.56$ ;  $\alpha_3 = 23.89$ ; la probabilité que la pluie soit de niveau  $\pi_1 = 73.9$  mm (année sèche) est de  $\varphi = 0.5$ , que la pluie soit de niveau  $\pi_2 = 151.9$  mm (année pluvieuse) est de 0.5 (voir [Sidibé et al., 2010b] pour les modalités d'estimation de ces paramètres à partir de données pluviométriques entre 1998 et 2007). Paramètres de la tarification :  $\alpha = 0.5$ ;  $\beta = 0.7$ ;  $\lambda = 2$  ; pour p et p' : voir ci-après.

Sol considéré et paramètres du modèle de croissance (STICS): Proportion d'argile dans le sol : 30 % ; proportion d'azote organique dans le sol (horizon humide) : 0.12 % ; proportion de calcaire dans la couche de surface : 8 % ; albedo quand sec : 0.20 ; pH : 7.80 ; date de plantation : 15 avril ; fertilisation (en kg d'azote par ha) : 191.

Le tableau 1a a été construit ainsi : la ligne correspondant à la CAEDS' a été calculée en optimisant le comportement de l'agriculteur considéré pour ce qui concerne le volume souscrit et le volume d'eau consommé. Les lignes correspondant à la CACG' ont été calculées de manière à conserver constant un des « objectifs », par exemple l'espérance de profit de l'agriculteur : les paramètres p et p' ont été ajustés à cet effet. Ainsi si le gestionnaire du périmètre souhaite passer d'un système de tarification type CAEDS' à un système type CACG', tout en faisant en sorte que les

Tableau 1a : Comparaison des tarifications CACG' et CAEDS'

/\* sol de type 1 ;  $\varphi = 0.5$  \*/

	Souscription S en mm	Consommation été sec C en mm	Consommation été humide C en mm	Production agricole €	Espérance de profit agricole €	Budget du gestionnaire €
<b>CAEDS</b>	197,48	206,18	<b>188,38</b>	<b>1113,58</b>	<b>782,81</b>	<b>330,77</b>
<b>CACG avec conservation</b>						
de la consommation d'eau en été sec (mm)	128,10	206,10	128,10	1063,20	866,89	196,31
de la consommation d'eau en été humide (mm)	188,75	266,75	<b>188,75</b>	1164,42	913,40	251,03
de la production agricole (€)	157,55	235,55	157,55	<b>1113,51</b>	890,83	222,68
du profit agricole (€)	46,22	124,22	46,22	908,81	<b>782,79</b>	126,02
du budget du gestionnaire (€)	274,49	352,49	274,49	1294,11	963,58	<b>330,53</b>

Tableau 1b : Comparaison des tarifications CACG' et CAEDS'

/\* sol de type 1 ;  $\varphi = 0.5$  \*/

	CAEDS	CACG
Profit été sec (€)	717,66	703,00
Profit été humide (€)	847,95	862,59

agriculteurs conservent le même profit, le tableau montre l'effet du nouveau paramétrage sur le volume souscrit, sur la consommation d'eau en année sèche et en année pluvieuse, sur la production agricole et le profit agricole et enfin sur le budget du gestionnaire.

Le tableau 1b a été construit pour des profits agricoles moyens identiques pour la CAEDS' et la CACG'. Il montre les écarts de profits auxquels peuvent conduire le choix d'une tarification CACG' ou CAEDS' selon que les étés sont secs ou humides. La tarification CAEDS permet de réduire l'écart type de cette variable.

#### IV. AUTRES INCERTITUDES, AUTRES MÉTHODES DE TARIFICATION

Il est des situations où, lors de la souscription, le gestionnaire du périmètre n'a guère d'anticipation sur le volume d'eau qui sera réellement disponible au moment de l'irrigation. Il est alors possible de mettre en place un autre mode de tarification, lui aussi non linéaire, mais fondé sur d'autres variables. Deux quantités sont réservées ici, l'une soumise à peu de risques de non disponibilité, l'autre à des risques relativement importants. De manière formelle, on le traduit par le fait que deux quantités d'eau  $Q_1$  et  $Q_1+Q_2$  seront disponibles avec des probabilités respectives de  $\varphi_1$  et  $\varphi_2 = 1 - \varphi_1$ .

Deux prix sont annoncés par le gestionnaire suffisamment tôt avant la saison d'irrigation, pour que les agriculteurs aient le temps de s'adapter :  $p_1$  et  $p_2$ , les prix unitaires de l'eau dans chacune des quantités probables et moins probables. Le prix  $p_1$  est supérieur au prix  $p_2$ , et la facture d'eau totale est :

$$F(S_1, S_2) = p_1 S_1 + p_2 S_2 \quad (4)$$

avec  $S_1$  et  $S_2$  les volumes d'eau réservés par l'agriculteur considéré parmi les volumes  $Q_1$  et  $Q_2$ . Si l'année est sèche, l'agriculteur n'aura par exemple à sa disposition que la quantité  $S_1$ , mais il devra payer la facture totale  $F(S_1, S_2)$ , incluant une partie réservée mais non livrée.

On suppose que l'agriculteur cherche à maximiser son bénéfice espéré, au sens de la valeur de la production agricole moins les coûts de l'eau d'irrigation, alors que le gestionnaire du périmètre va chercher à équilibrer son budget et sur un autre plan à équilibrer offre et demande en eau, que l'année soit sèche ou pluvieuse, sachant que les agriculteurs auront le comportement énoncé précédemment.

Par une analyse théorique (voir [Sidibé et al., 2010a]), nous montrons que ce type de tarification est plus efficace qu'une tarification uniforme (à savoir un prix au m<sup>3</sup> quelle que soit la situation du volume disponible) au niveau de la production agricole, tout en apportant au moins le même niveau de ressources budgétaires au gestionnaire.

Un des avantages d'un tel système est que le paramétrage de la tarification (valeur de  $p_1$  et de  $p_2$ ) peut se faire soit

par tâtonnement pour ajustement année après année, soit en faisant une première approximation par une approche analytique, qui permet en passant de déduire certaines propriétés qualitatives de ce type de tarification (par exemple le fait que le prix  $p_2$  doit être d'autant plus élevé vis-à-vis de  $p_1$  que l'élasticité de la demande est faible).

Ce qui est intéressant aussi, dans notre contexte de climat changeant est l'effet de la mise en place d'un tel système de tarification sur le prix de l'eau issue d'un barrage en cas d'augmentation de la fréquence des sécheresses estivales.

Dans la situation de référence, nous supposons que les paramètres de la production agricole sont  $\alpha_1 = 0.51$  ;  $\alpha_2 = 60.98$  ;  $\alpha_3 = 23.98$ ; On suppose que  $\varphi_1 = 0,1$  et  $\varphi_2 = 0,9$ . Si le budget à recouvrer est de 1.25 millions d'euros chaque année, les prix de l'eau doivent être  $p_1 = 0.153$  €/m<sup>3</sup> et  $p_2 = 0.124$  €/m<sup>3</sup>. En revanche, si les probabilités de sécheresse évoluent de manière à ce que  $\varphi_2 = 0.5$ , alors les prix sont de  $p_1 = 0.170$  €/m<sup>3</sup> et  $p_2 = 0.073$  €/m<sup>3</sup>. Il y a d'une part une préférence accrue des agriculteurs pour l'eau obtenue de manière plus sûre, et d'autre part un besoin d'équilibre budgétaire moyen du gestionnaire qui incitent tous deux à augmenter le prix  $p_1$  et à diminuer  $p_2$ .

Supposons maintenant que dans le périmètre irrigué, les agriculteurs soient de deux types, différenciés par leur fonction de production, autrement dit leur culture : le premier type  $T_1$  étant celui présenté précédemment ( $\alpha_1 = 0.51$  ;  $\alpha_2 = 60.98$  ;  $\alpha_3 = 23.98$ ), le second,  $T_2$ , auquel correspondent les paramètres  $\alpha_1 = 0.24$  ;  $\alpha_2 = 297.5$  et  $\alpha_3 = 22.83$ . Dans ce cadre, en supposant que les agriculteurs de chaque type occupent la moitié du périmètre irrigué, et sous la même contrainte budgétaire, les prix sont de  $p_1 = 0.183$  €/m<sup>3</sup> et  $p_2 = 0.147$  €/m<sup>3</sup>. Ces prix sont plus élevés que pour le premier résultat, à cause de l'effet de compétition induit par la présence de deux types d'agriculteurs : il y a ainsi une augmentation de la demande à la fois pour l'eau obtenue de manière sûre et pour celle plus aléatoire. En outre les réservations dans les deux quantités sont pour l'agriculteur de type  $T_1$  respectivement 145 mm et 140 mm, et pour l'agriculteur de type  $T_2$  respectivement 78 mm et 50 mm. On notera d'une part la différence conséquente de quantité d'eau réservée entre les deux types  $T_1$  et  $T_2$ , et d'autre part la différence plus forte entre les deux réservations pour le type  $T_2$  (+ 56 %) que pour le type  $T_1$  (+ 4%). Ainsi une telle tarification permet aux agriculteurs de s'auto-sélectionner, selon les types de culture pratiquée, et aussi selon leur aversion au risque, conduisant à une plus grande production agricole, à contrainte budgétaire égale.

## V. CONCLUSION

### V.1. Sur l'acceptabilité

Une telle tarification est-elle acceptable par les différentes parties prenantes ? Deux types de réponses peuvent être apportés : La première l'a été dans le cadre du projet européen Noviwam (voir [www.noviwam.eu](http://www.noviwam.eu)). Ce projet associe les décideurs, les parties prenantes et les chercheurs : son objectif est que d'une part ces derniers mènent des recherches permettant de répondre aux questions des deux premiers et d'autre part que ces deux premiers posent des questions qui puissent être intégrées dans les programmes ou projets des chercheurs ou de leurs établissements. Un de ses résultats est que cette approche de la gestion de l'eau agricole par des tarifications non linéaires a été particulièrement enthousiasmante. En effet, elle conduit à améliorer la

production agricole, et prend en compte le revenu des agriculteurs, tout en libérant les contraintes de ressource pour les autres secteurs. Elle est devenue ainsi un des piliers du futur Plan d'Action Joint qui devrait être mis en place à l'issue de ce contrat.

Un autre type d'acceptabilité doit être étudié : celle par les agriculteurs concernés, qui pourraient ressentir cette tarification comme étant trop compliquée. Les pratiques de la CACG et de la CAEDS montrent qu'il n'en est rien. Ainsi une étude économétrique indique que pour la CAEDS, dès la première année de mise en place d'une tarification non linéaire plus compliquée que celles présentées ici, les agriculteurs ont répondu au mieux de leur intérêt à cette tarification (un test économétrique, dit test de Chow, montre qu'il y a moins de 1 % de risque d'erreur dans cette interprétation des résultats ; voir [Terreaux, 2007], et [Terreaux, Tidball, 2008]). Au final, quelle que soit la formule de tarification proposée aux agriculteurs, pour en faciliter la compréhension, il est aussi possible de présenter sous la forme d'un tableau à double entrée ( $S$  et  $C$ ) la facture d'eau dont il faudra s'acquitter ( $F(S,C)$ ).

## V.2. L'économie au secours de l'environnement, et finalement de l'écologie

Ces approches montrent un potentiel intéressant pour que des outils de régulation en économie puissent venir au secours de la protection de l'environnement et finalement de l'écologie dans les rivières et retenues d'eau, notamment en facilitant le respect des débits d'étiage. En outre, elles répondent parfaitement à la demande de différentes parties prenantes et aux réglementations qui se mettent en place dans le cadre de la DCE.

Différentes pistes de recherche peuvent être entreprises, par exemple en ce qui concerne le dimensionnement optimal des périmètres d'irrigation pour une ressource fluctuante. A l'inverse, alors que l'on constate une régularité moins affirmée du climat, il est aussi possible d'améliorer la gestion des réserves d'eau lorsque leur renouvellement devient hypothétique. Enfin différentes variantes de ces modes de tarifications sont parfaitement envisageables, pour répondre au cas par cas à la demande des gestionnaires des périmètres irrigués, notamment en assouplissant les hypothèses faites pour les modélisations présentées ici.

## VI. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Jean-Marc Berland de l'Office International de l'Eau, et Silvia Alegre de l'Inra pour leur appui dans nos travaux. Travaux qui ont pu être réalisés grâce à l'aide financière du Contrat européen Noviwam (Union Européenne - 245460).

## VII. REFERENCES

- BRISSON N. (2002) — *STICS, version 5.0., Logiciel APP n° 99 17002600, Inra Avignon, avignon.inra.fr/agroclim\_stics.*
- FRAITURE C., WICHELNS D. (2010) — Satisfying future water demands for agriculture. *Agricultural Water Management*. **97** : 502-511
- MOLLE F., BERKOFF J. (2007) — Irrigation Water Pricing: The Gap Between Theory and Practice. *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, Series 4, CABI Publication, Wallingford UK and Cambridge MA USA.
- MONTEIRO H. (2005) — *Water pricing models : a survey, Dinamia, WP 2005/45, Instituto Superior de Ciencias do Trabalho e de Empresa, Lisbonne, Portugal.*
- ROGERS P., DE SILVA R., BHATIA R. (2002) — Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. *Water Policy*. **4** : 1-17
- SIDIBÉ Y., TERREAUX J.P., TIDBALL M. (2010a) — Tarification différentielle de l'eau d'irrigation en cas de ressources aléatoires. *4ièmes journées de recherches en sciences sociales, Agro-Campus Ouest, Rennes, 9-10 décembre 2010.*
- SIDIBÉ Y., TERREAUX J.P., TIDBALL M. (2010b) — *Comparaison de deux systèmes de tarification de l'eau à usage agricole avec réservation et consommation, Document de Travail Lameta, DR-2010-09.*
- SIDIBÉ Y., TERREAUX J.P., TIDBALL M. (2011) — Innovative management systems to cope with drought : The case of south-western France. *Symposium on Data Driven Approaches to Drought*, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 21-22 Juin 2011.
- TARDIEU H. (2008) — Rareté de l'eau, nouveaux défis pour la gestion opérationnelle des « aménagements hydrologiquement et politiquement durables. *La Houille Blanche*. **6** : 85-92
- TERREAUX J.P. (2007) — *Tarification de l'eau d'irrigation différenciant souscription et irrigation, Document de travail, Cemagref, Bordeaux.*
- TERREAUX J.P., TIDBALL M. (2008) — Water sharing among competing farmers in temperate climate : a study of different pricing mechanisms. *World Water Congress, Montpellier, 1st-4th September 2008.*
- TERREAUX J. P., TIDBALL M., SIDIBÉ Y. (2011) — Environment protection through new irrigation water pricing : From theory to practice. Colloque européen Noviwam "Research serving the needs of integrated resource management", Poitiers, 10 juin 2011.
- TSUR Y. (2005) — Economic Aspects of Irrigation Water Pricing. *Canadian Water Resources Journal*. **30(1)** : 31 - 46
- WARD F.A., PULIDO-VELAZQUEZ M. (2009) — Incentive pricing and cost recovery at the basin scale. *Journal of Environmental Management*. **90** : 293-313
- WILSON R.B. (1993) — *Nonlinear pricing*, Oxford University Press.
- WILSON R.B. (1999) — Nonlinear Pricing and Mechanism Design, H. Amman, D. Kendrick, J. Rusts (eds) *Handbook of computational Economics*, vol. 1., Elsevier Science Publishers.