



HAL
open science

Apports de la simulation pour l'aide au choix d'un système tarifaire sur les périmètres irrigués

Pierre-Yves Le Gal, Thierry Rieu, Roberto Garcia, Charles Fall, Erwin de Nys

► **To cite this version:**

Pierre-Yves Le Gal, Thierry Rieu, Roberto Garcia, Charles Fall, Erwin de Nys. Apports de la simulation pour l'aide au choix d'un système tarifaire sur les périmètres irrigués. Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irrigués) sur la gestion des périmètres irrigués collectifs, 2001, Montpellier, France. p. 265-280. cirad-00188321

HAL Id: cirad-00188321

<https://hal.science/cirad-00188321>

Submitted on 16 Nov 2007

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.

Apports de la simulation pour l'aide au choix d'un système tarifaire sur les périmètres irrigués

Pierre-Yves LE GAL*, Thierry RIEU**, Roberto GARCIA**, Charles FALL*, Erwin DE NYS****

*Cirad-Tera, TA 60/15 73, rue Jean-François Breton, 34 398 Montpellier cedex 5, France

**Cemagref-Irrigation, 361 rue Jean-François Breton, BP 5095 Montpellier, Cedex 1, France

****Katholieke Universiteit, Leuven, Belgique

Résumé – Le choix d'un système tarifaire représente une décision stratégique pour un gestionnaire de périmètre irrigué, dans la mesure où il conditionne la durabilité de l'outil de production collectif et la façon dont les agriculteurs vont utiliser la ressource en eau. La théorie économique souligne la complexité de ce choix, tant du fait de la diversité des principes à prendre en compte que des solutions possibles. Cet article présente une démarche d'aide au choix tarifaire expérimentée avec des gestionnaires de périmètre sur deux situations contrastées, le delta du fleuve Sénégal (Sénégal) et la région de Petrolina-Juazeiro (Brésil). Après avoir rappelé les bases théoriques fondant ce travail, nous décrivons l'outil de simulation développé. Basé sur trois modules (fonction de coût du gestionnaire, fonction de revenus des agriculteurs et système tarifaire), il permet d'évaluer les conséquences d'un scénario tarifaire donné sur l'équilibre budgétaire du gestionnaire et les revenus des agriculteurs, regroupés en types. L'utilisation de cet outil est illustré sur les deux cas d'étude, avec une analyse des réactions des acteurs aux résultats qui leur ont été soumis. Les intérêts et limites de cette démarche sont présentés en conclusion, ainsi que les perspectives offertes par ce premier travail.

Abstract – **How simulation can help in the selection of a tariff system for irrigated areas.** As far as managers of irrigated areas are concerned, the choice of a tariff system is a strategic one, insofar as it determines the durability of the tool of collective production and how farmers use the water resource. The economic theory underlines the complexity of this choice, both in terms of the diversity of the principles that need to be taken into account and the possible solutions. This article presents an approach that can help managers choose a tariff system. It has been tried and tested with the managers of two contrasting irrigation systems: the river Senegal delta (Senegal) and the Petrolina-Juazeiro region (Brazil). We present the theoretical bases for this study and then go on to describe the simulation tool that was developed. On the basis of three modules (a function of the manager's cost, farmers' incomes and the tariff system), it is possible to evaluate the consequences of a given scenario on the manager's financial balance and the farmers' incomes (which are classified into types). Two case studies are used to illustrate the application of this tool, with an analysis of how the stakeholders reacted to the results that were presented to them. The value and limitations of this approach and the potential of this preliminary research are presented in the conclusion.

Introduction

La gestion du service de l'eau sur un périmètre irrigué entraîne un ensemble de dépenses immédiates et futures, que l'organisation gestionnaire cherchera à recouvrer auprès de ses clients agriculteurs à travers la mise en place d'un système tarifaire. Les choix à opérer sont d'ordre stratégique dans la mesure où ils conditionnent, d'une part, la capacité du gestionnaire à atteindre l'équilibre budgétaire et à pérenniser les investissements hydrauliques sur le long terme, d'autre part, le type d'incitations à mettre en place vis-à-vis des producteurs, tel qu'une réduction des consommations en eau ou une évolution vers des spéculations valorisant mieux la ressource au plan économique.

Ce choix n'est pas aisé car il suppose de nombreuses connaissances préalables : (i) que soient quantifiés les postes de dépense sur un horizon pluri-annuel, notamment les charges d'entretien et de renouvellement des infrastructures ; (ii) que des hypothèses soient faites sur le comportement des agriculteurs, tant en termes de paiement de la redevance hydraulique que d'évolution de leur demande en eau et (iii) que soit évaluée la faisabilité du système proposé en termes de ressources à mobiliser en termes d'information, de main-d'œuvre et de capital. De plus, le gestionnaire dispose d'un large éventail de structures tarifaires possibles, dont les avantages et contraintes doivent être soigneusement évalués au regard des objectifs visés.

Pour aider les gestionnaires dans ce choix, une voie consiste à simuler les effets de différents systèmes tarifaires sur l'équilibre budgétaire du périmètre et les revenus des agriculteurs. L'objectif est alors de fournir aux gestionnaires, aux représentants de la collectivité et des agriculteurs impliqués dans le choix d'une tarification, des éléments plus objectifs d'information pouvant alimenter une discussion collective et un processus de négociation.

Partant d'un rappel du rôle de la tarification de l'eau sur les périmètres irrigués, de ses principes et d'expériences d'application, cet article décrit la structure d'un outil de simulation utilisé sur deux exemples, au Sénégal et au Brésil. Les intérêts et les limites de la démarche proposée sont discutés en conclusion.

La tarification du service de l'eau dans les périmètres irrigués : principes

Cadre général

Les politiques économiques appliquées à la gestion de l'eau visent en général à atteindre trois grands objectifs :

- l'efficacité, qui a trait à la fonction de production (production au moindre coût et sans gaspillage, pour une qualité donnée du service de distribution d'eau) et à l'allocation de la ressource garantissant une maximisation du bien-être général ;
- l'équité, qui est fortement liée au contexte social et culturel ; l'acceptation la plus large consiste à allouer l'eau conformément aux droits de l'ensemble des usagers ;
- la durabilité, qui, pour l'irrigation, concerne à la fois la ressource en eau et les infrastructures de mobilisation et de distribution de l'eau, ainsi que les systèmes de production agricole.

La réalisation de ces objectifs est étroitement liée aux trois types d'acteurs intervenant dans la gestion des ressources en eau et des périmètres irrigués :

- la collectivité, représentée par l'Etat et ses services publics qui se portent garants de l'intérêt collectif pour l'utilisation de la ressource (aspects environnementaux, notamment) et des fonds publics (durabilité et participation aux investissements) et pour les aspects sociaux (équité notamment) ; certains de ces objectifs relevant de la collectivité, sont parfois délégués aux gestionnaires au travers de lettres de mission de manière à ce qu'un gestionnaire soit conduit à dépasser les stricts objectifs d'un producteur d'eau ; c'est le cas des Sociétés d'aménagement régional en France ou des offices (Ormvah) au Maroc ;
- les usagers, pour qui l'eau est une consommation intermédiaire du processus de production agricole irriguée et intervient dans la formation de leur revenu ;
- le gestionnaire du périmètre irrigué, dont l'objectif est au minimum d'atteindre l'équilibre budgétaire, voire de réaliser un profit pour les entreprises de gestion privées.

Pour atteindre ces objectifs, ces acteurs ont recours aux instruments économiques, dont la tarification est le plus employé, conjointement ou non avec les quotas ou les marchés de l'eau, car il permet de recouvrer les coûts du service auprès des usagers. Mais il peut devenir un outil incitatif, qu'il s'agisse d'économiser l'eau pour atteindre une gestion équilibrée de la ressource ou d'intensifier l'agriculture irriguée pour atteindre des objectifs nationaux de sécurité alimentaire ou d'équilibre budgétaire du gestionnaire. Le prix, signal du marché, est censé fournir aux usagers une mesure de la rareté de la ressource en eau et déclencher un comportement évitant le gaspillage. L'intérêt des instruments est alors à évaluer face aux objectifs de chacun des agents.

Principes théoriques

Deux principes fondent la construction d'une tarification, tout en coexistant fréquemment en pratique. Le premier correspond à une logique d'offre : celle-ci est augmentée grâce à la création de nouveaux ouvrages de mobilisation et le coût du service est réparti entre les usagers. Le second correspond à une logique de demande : le tarif est calculé en fonction du consentement à payer de l'utilisateur, mesuré par la variation de surplus économique, procuré par l'irrigation. Définir une tarification comprend le choix de principes, d'une structure et d'un niveau de prix en fonction des objectifs que la collectivité choisit d'atteindre.

La tarification en fonction de l'offre

La mise à disposition d'eau d'irrigation auprès des usagers induit des coûts supportés par l'ensemble des acteurs, qu'ils soient directement liés à la production d'eau et à sa distribution, ou externes et non pris en compte par les acteurs économiques. On limitera l'approche au lieu de livraison de l'eau, en général la borne ou le bord de la parcelle irriguée. Par suite, les coûts privés internes aux exploitations agricoles (matériel, main-d'œuvre,...) ne sont pas pris en compte. Le fondement théorique de la tarification appliquée peut être le coût moyen ou le coût marginal.

- La tarification au coût moyen représente le système tarifaire le plus employé dans le domaine de l'eau, du fait de sa simplicité de mise en œuvre. En effet, le gestionnaire se limite à atteindre l'équilibre budgétaire en répercutant les dépenses courantes de l'année précédente. Par contre, ne tenant pas compte de la demande, (i) il ne donne pas aux usagers de signal indiquant le niveau d'utilisation des capacités de production, et (ii) il ne s'ajuste ni aux variations de demande d'une année à l'autre, ni à celles de l'offre à plus long terme. Ne permettant pas d'atteindre l'optimum, c'est-à-dire un bien-être collectif maximal, ce mode de tarification est réputé inefficace. La théorie préconise une tarification au coût marginal.
- La tarification au coût marginal se fonde sur le théorème de Pareto, selon lequel l'optimum est obtenu, du point de vue de l'intérêt général, quand le coût de production d'une unité supplémentaire d'eau (coût marginal) devient égal à la valeur du prix que l'utilisateur est disposé à payer pour obtenir cette dernière. Le prix traduit alors, pour le consommateur, la rareté relative du produit. Ce type de tarification est relativement délicat à mettre en place et ne s'observe que pour des aménagements où les ouvrages de mobilisation et de distribution de l'eau ont des durées de vie élevées et nécessitent des programmes d'entretien répartis dans le temps. Le gestionnaire se place alors dans une perspective de long terme, qui l'amène à appliquer une tarification au coût marginal de long terme. L'actualisation est introduite pour tenir compte des dépenses réparties dans le temps.

La tarification en fonction de la demande

La tarification est établie en fonction de l'accroissement de surplus apporté par l'irrigation aux agriculteurs. Le surplus est défini comme le gain psychologique (Picard, 1992) résultant de la différence entre (i) le prix maximal que l'individu est prêt à déboursier pour ne pas se passer de telle quantité d'un bien et (ii) le prix effectivement payé pour disposer de cette quantité.

La tarification peut être différenciée selon le type de cultures irriguées (cultures pérennes, maraîchage, grandes cultures) dès lors que l'élasticité de la demande par rapport au prix de l'eau d'irrigation varie selon la culture. Celles qui conduisent à une faible élasticité de la demande par rapport au prix se verront appliquer un tarif plus élevé, et inversement. L'objectif global de ce type de tarification est, pour le gestionnaire, d'accroître sa recette totale tout en tenant compte de la demande des usagers.

Les tarifications de type socio-politique se rattachent à cette catégorie. Ainsi, la dispersion du parcellaire équipé sur un territoire induit des coûts de raccordement élevés. Une application du principe de recouvrement des coûts conduirait à une augmentation du prix de l'eau et défavoriserait les usagers les plus éloignés et l'activité économique globale. En mettant en place un système de solidarité conçu sur une péréquation entre zones, l'aspect économique devient une contrainte de second rang. Il s'agit alors d'un contrat social passé entre une communauté d'agriculteurs et la collectivité.

En pratique, les tarifications utilisées réalisent en général un compromis entre une tarification calculée à partir de l'offre et de la demande des usagers. Elle sont également diversifiées allant de tarifications classiques au coût moyen à des tarifications plus élaborées, telles qu'une tarification au coût marginal de long terme ou optionnelle. Les tarifs peuvent être aussi modulés suivant la zone géographique de desserte, et être adaptés aux différentes structures.

Les structures tarifaires

La gamme de structures tarifaires est très large et s'appuie, en irrigation, sur différentes assiettes (figure 1).

- La surface équipée : la tarification est forfaitaire par hectare. Elle est souvent adoptée dans les systèmes gravitaires où l'offre est peu contrôlée ou lorsque le gestionnaire cherche à garantir son niveau de recettes.
- La surface irriguée : la tarification est également forfaitaire par hectare, mais varie en fonction des surfaces réellement mises en culture et irriguées. Un système de collecte de l'information correspondante doit être mis en place au pas de temps annuel ou à un pas de temps inférieur si plusieurs cycles culturaux ont lieu au sein d'une même année.
- La quantité d'eau consommée : la tarification peut être uniquement proportionnelle, en fonction du volume d'eau consommé, binôme simple, en prenant en compte à la fois la surface irriguée et la consommation, ou par paliers, avec des tarifs différents selon la quantité d'eau consommée. Elle est souvent utilisée pour les réseaux sous-pression.
- D'autres biens (intrants ou produits agricoles) : la tarification est alors réalisée par le biais de taxes sur la production ou sur les intrants autres que l'eau. Ce système a pour principal inconvénient d'être indirectement incitatif à l'économie d'eau, et même de présenter des effets inverses à ceux recherchés : une taxation sur la production peut inciter les agriculteurs à produire plus et donc à consommer davantage d'eau pour atteindre un revenu minimum.

Le choix d'un système tarifaire dépendra des objectifs recherchés et des variables mesurables pour le calcul de la redevance, en ayant en tête quelques éléments touchant aux avantages et inconvénients de chacun.

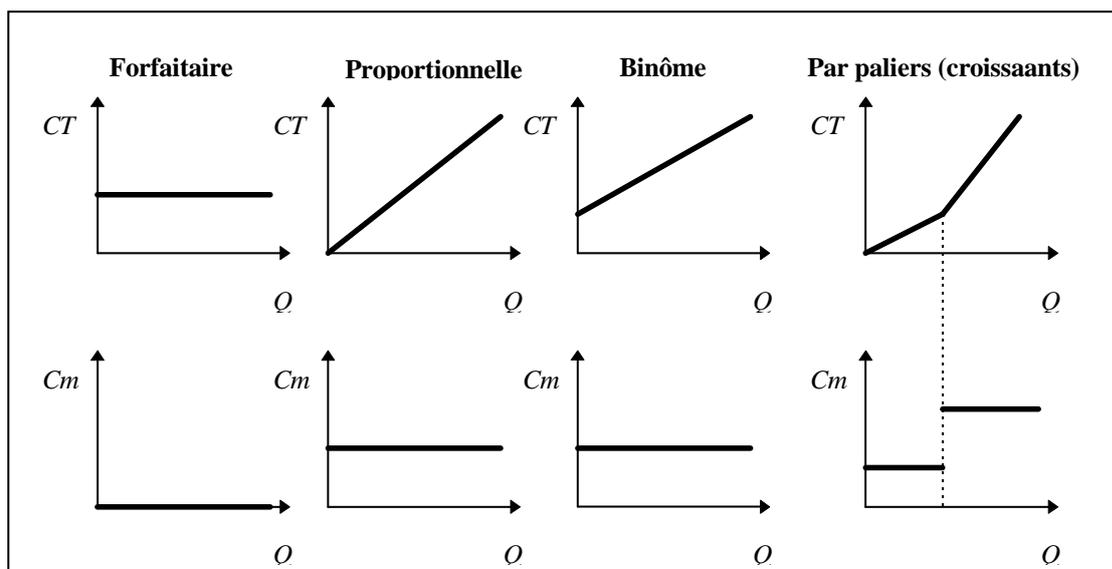


Figure 1. Exemples de structures tarifaires (source : Valiron, 1988).

- Par rapport à l'objectif d'efficience : les tarifs forfaitaires ne sont pas efficaces et ne permettent pas de lutter contre le gaspillage de l'eau, le montant de la facture étant indépendant de la quantité consommée. Une tarification par paliers répond mieux à cet objectif si le niveau des paliers a été correctement choisi. Mais elle est difficilement compréhensible et exige un suivi assez fin des consommations. La tarification proportionnelle (ou binôme) se situe à mi-chemin : plus facilement compréhensible que la tarification par paliers, elle exige néanmoins un dispositif de comptage et un relevé (ou une estimation) des consommations.
- Par rapport à l'objectif d'équité : les droits d'accès à la ressource doivent être définis et acceptés par tous. La question de la différenciation des tarifs en fonction des situations est difficile et rejoint le débat sur la péréquation : doit-on faire payer plus cher un usager éloigné de la ressource par rapport à un autre plus proche, doit-on appliquer des tarifs différents en fonction de la date d'entrée dans le périmètre irrigué, etc. ?
- Par rapport à l'objectif d'équilibre budgétaire : l'atteinte de l'équilibre budgétaire dépend beaucoup de la structure tarifaire choisie et de la variabilité de la demande. Ainsi, une tarification forfaitaire garantit les recettes du gestionnaire alors qu'une tarification proportionnelle rend les recettes dépendantes des aléas climatiques et des capacités de paiement des usagers.

Structure conceptuelle d'un outil d'aide au choix tarifaire

Cette présentation théorique souligne combien le choix d'un système tarifaire est complexe et met en jeu de multiples composantes. Dans ces conditions, la recherche d'une solution optimale unique, satisfaisant à l'ensemble des contraintes se posant aux gestionnaires et aux agriculteurs, paraît difficilement réalisable. La difficulté s'accroît dès lors que des incertitudes pèsent sur la nature des dépenses à prendre en compte, sur le rôle des pouvoirs publics à travers leurs politiques de subvention, ou sur les prix de vente des productions irrigables.

Par ailleurs, le choix d'un tarif est souvent le fruit d'une négociation entre différents acteurs, tels que l'Etat, le gestionnaire et les producteurs. Cela se vérifie particulièrement sur les périmètres gérés par des associations d'usagers. Mais, de même, un gestionnaire public ou privé pourra difficilement négliger la façon dont les agriculteurs constituent leurs revenus et sont ou non capables de payer la redevance demandée. Or, l'expérience montre que consentement et capacité à payer varient sensiblement d'un producteur à l'autre.

Pour toutes ces raisons, l'aide fournie par des intervenants extérieurs doit s'envisager comme un apport d'informations nouvelles et reconnues par tous comme objectives, et non comme la fourniture d'une solution normative. La démarche suivie doit ouvrir de nouveaux horizons aux acteurs en place, leur permettre de tester des hypothèses différentes de coûts ou de recettes, de comparer des tarifs différant par leur structure et les montants appliqués. L'information détenue par tous, et éventuellement fournie, viendra alors alimenter le processus de négociation devant déboucher sur une décision finale.

La modélisation et la simulation représentent des techniques intéressantes pour à la fois représenter les relations entre les différents éléments du problème et comparer des scénarios virtuels sur lesquels les acteurs vont pouvoir exercer leurs réflexions et leurs discussions (Quéau, 1986 ; de Geus, 1992). S'agissant d'un problème économique et financier tel que le choix d'un système tarifaire, on s'est orienté vers le développement d'un outil de simulation budgétaire mettant en relation trois composantes : la fonction de coût du gestionnaire, la fonction de revenu des agriculteurs et la définition du système tarifaire (figure 2) (Le Gal *et al.*, 2000) .

La fonction de coût du gestionnaire

La façon dont est calculée la fonction de coût du gestionnaire dépend en grande partie des règles adoptées dans un contexte donné. On retrouve en général trois grands types de charge :

- des charges variables qui évoluent avec le service fourni sur le pas de temps considéré ; il s'agit essentiellement de l'énergie en cas de pompage et, parfois, de main-d'œuvre temporaire employée (pompiste et aiguadiers par exemple) ; les coûts d'énergie seront reliés dans la mesure du possible avec la consommation en eau et les horaires de pompage, afin de lier de manière cohérente les assolements et la demande en eau ;

- des charges fixes liées au fonctionnement du périmètre mais indépendantes de son mode de mise en valeur, au moins en première approximation ; ce poste comprend les dépenses liées au personnel dirigeant et administratif, aux déplacements, aux immobilisations non hydrauliques, aux frais financiers, etc. ;
- des charges fixes liées à l'entretien, à l'amortissement et au renouvellement des infrastructures hydrauliques.

Les deux premiers postes sont en général assez facilement évaluables à partir de la comptabilité tenue par le gestionnaire, bien que dans certains cas, tels que les associations d'usagers en zone tropicale, la collecte et le traitement des données nécessitent un temps de travail non négligeable. Le troisième poste présente en plus des difficultés pour définir dans le temps les provisions nécessaires au gros entretien et au renouvellement des infrastructures sur des bases non normées. C'est d'ailleurs, dans ce cas, que les gestionnaires trouvent des marges de manœuvre pour moduler la redevance en fonction des contraintes pesant sur les producteurs, avec le risque d'opter pour une stratégie de maintenance sous-optimale (Loubier, 1997 ; Fall, 1999).

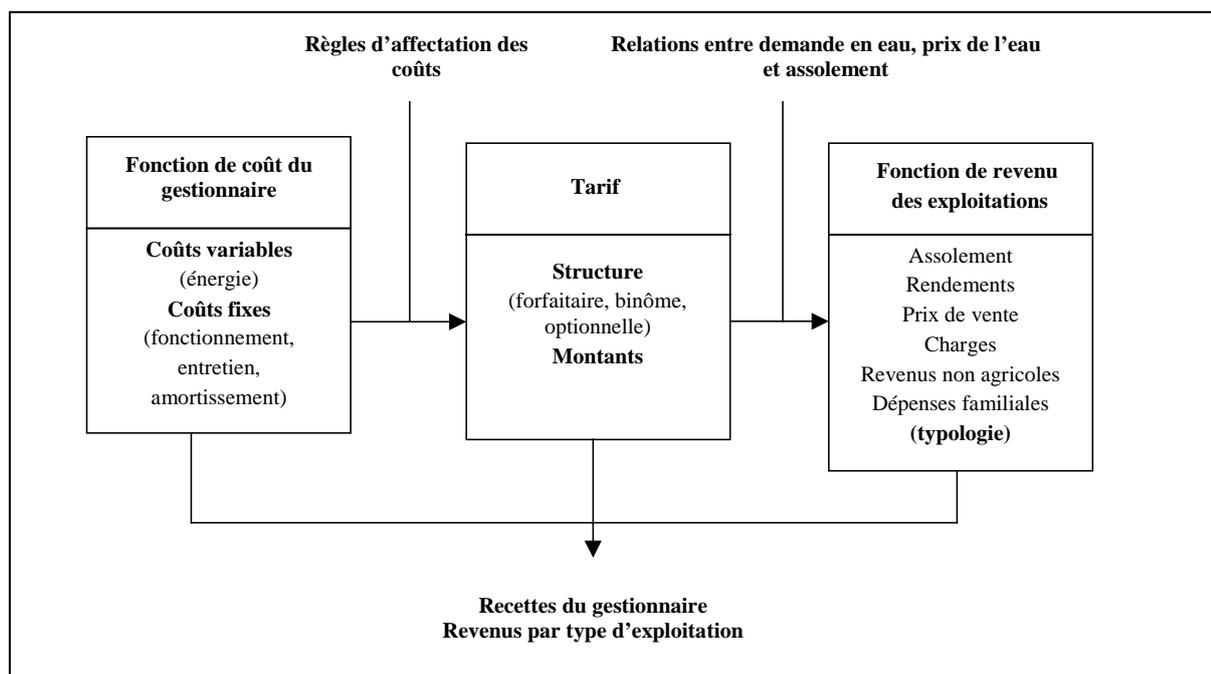


Figure 2. Représentation schématique de la modélisation adoptée.

La fonction de revenu des agriculteurs

La fonction de revenu des agriculteurs suit un calcul classique basé sur, d'une part, les charges d'exploitation, notamment les coûts d'irrigation en fonction du système tarifaire appliqué, d'autre part, les produits tirés de la vente des productions, fonction des rendements et des prix de vente obtenus. Dans les agricultures familiales du Sud, on est souvent conduit à rajouter à ces composantes les revenus tirés par les membres de la famille d'activités hors périmètre, qu'elles soient ou non agricoles, et les dépenses familiales non directement liées à la production (compléments alimentaires, dépenses de santé, d'éducation, etc.). En effet, l'utilisation possible des productions irriguées pour l'alimentation de la famille et la redistribution des sommes perçues de sources diverses entre les différents besoins rendent inopérante une vision du revenu agricole purement calée sur le périmètre irrigué et l'hectare cultivé.

Les assolements choisis par les agriculteurs tiennent une place centrale dans la modélisation d'ensemble du choix tarifaire. D'une part, ils conditionnent les demandes individuelles en eau dont dépend la consommation totale du périmètre, dès lors que la capacité des réseaux et les règles de distribution de l'eau permettent d'y répondre. D'autre part, ils influencent notablement les revenus, tant en termes de surfaces que de choix de spéculation. Ils constituent, enfin, un indicateur discriminant des stratégies adoptées par les agriculteurs sur un périmètre donné.

Les facteurs de différenciation entre exploitations sont en effet nombreux : taille des lots, assolements, main-d'œuvre, capitalisation, position dans le cycle de vie de l'exploitation, etc. Cette diversité rend plus ardue le choix d'un système tarifaire soucieux d'équité plus que d'égalité, et d'autant plus nécessaire la formulation d'hypothèses sur les comportements des agriculteurs en cas de changement de tarif. Ces hypothèses doivent être réfléchies en fonction des objectifs poursuivis, par exemple : éviter d'alourdir la charge des exploitations les moins performantes ou, au contraire, les éliminer par souci d'efficacité, inciter à l'évolution des assolements vers des spéculations plus rémunératrices ou moins consommatrices en eau.

L'expérience montre que les gestionnaires ont en France comme à l'étranger, une connaissance imparfaite ou trop empirique de cette diversité des exploitations. En dehors des surfaces aménagées et des consommations en eau, lorsque des mesures sont réalisées, on trouve difficilement dans les systèmes d'information des gestionnaires des données sur les résultats des exploitations individuelles, leurs assolements ou leurs structures. Il en résulte de grandes difficultés à estimer la valorisation de l'eau et, plus encore, l'effort de chacun pour atteindre les objectifs collectifs. La voie suivie dans la modélisation proposée et dans les deux exemples présentés, consiste à établir par enquête sur échantillon, une typologie structurelle et fonctionnelle des exploitations du périmètre étudié (Capillon, 1993). Chaque type est caractérisé par quelques variables discriminantes faciles à mesurer par enquête rapide, afin d'évaluer le poids dans l'ensemble de la population du périmètre.

A ce stade, deux voies de représentation du comportement des types face à la tarification sont possibles. La première consiste à doter l'agriculteur d'une rationalité économique et d'une information parfaite, l'amenant à choisir l'assolement qui maximisera son revenu sous la contrainte d'un système tarifaire donné. La procédure de choix, dont on tire une demande en eau et, *in fine*, la relation entre demande en eau et prix de l'eau, est modélisable sous la forme d'un programme mathématique, en général linéaire (Strosser, 1997 ; Montginoul, 1997).

La seconde, développée ici, consiste à formuler des hypothèses de comportement face à un changement tarifaire qui ne soient pas nécessairement liées à une maximisation du revenu mais plutôt aux stratégies observées concrètement sur le terrain. Cette formule paraît bien adaptée aux agricultures du Sud, où la minimisation des risques et la diversification vers des activités non agricoles rentrent pour une part significative dans les choix des agriculteurs. Elle permet d'intégrer dans un même modèle et pour un périmètre donné, un large éventail de comportements sans passer par la définition, souvent complexe, de contraintes quantifiables. Sa faiblesse réside dans la validation des hypothèses émises. Celle-ci nécessite au minimum que les acteurs concernés se retrouvent dans la représentation qui leur est proposée (Thépot, 1995).

La définition du système tarifaire

Comme il a été souligné, une gamme importante de systèmes tarifaires s'offre aux gestionnaires de périmètres irrigués, avec leurs avantages et inconvénients. Le processus de choix suppose que les objectifs visés soient clairement définis au-delà du seul équilibre budgétaire, de même que les capacités de l'organisation à gérer un système donné. Ainsi, les tarifs relatifs au volume d'eau consommé, supposent la mise en place d'un dispositif de mesure et de gestion de l'information, qui n'est pas toujours à la portée d'une association d'usagers.

Les relations avec les deux modules précédents dépendent largement du système choisi. Il est nécessaire de définir les règles d'affectation des charges aux différentes composantes du tarif. Ainsi, la partie fixe d'un tarif binôme peut ne supporter qu'une partie des charges fixes, si le gestionnaire juge leur poids trop élevé dans l'ensemble du prix de l'eau. Un tarif optionnel devra tenir compte des hypothèses de comportement des agriculteurs. Il sera établi de façon à maximiser la recette du gestionnaire, tout en amenant ceux-ci à choisir l'option qui leur est à priori la plus favorable.

Ces trois modules sont paramétrés et mis en relation à l'aide d'un tableur informatique. Au stade actuel et en l'absence d'interface générique, il est en effet nécessaire d'adapter l'outil à chaque situation spécifique. L'utilisateur peut modifier à sa guise les éléments relevant des trois modules. Une fois paramétré et simulé un scénario donné, il obtient en sortie les revenus calculés par type d'exploitation et la recette totale obtenue par le gestionnaire. Le pas de temps des simulations est adaptable en fonction du contexte, mais il est en général calé sur les modalités de calcul budgétaire du gestionnaire.

La règle actuellement appliquée pour passer des revenus par exploitation au paiement de la redevance est la suivante : *tout type d'exploitation dégageant un revenu négatif est incapable de payer la redevance hydraulique demandée*. Cette règle est restrictive dans la mesure où certaines exploitations peuvent privilégier ce paiement par rapport à d'autres dépenses. Mais elle permet d'évaluer le risque de non paiement pris avec un système tarifaire donné et d'identifier les types d'exploitation concernés.

Exemples d'utilisation

Cet outil a été utilisé avec des gestionnaires de périmètre dans deux situations contrastées : le delta du fleuve Sénégal et la région de Petrolina-Juazeiro au Brésil. Nous présentons successivement ces deux exemples avant de tirer puis de discuter les enseignements généraux de ces deux expériences.

Le delta du fleuve Sénégal

Les périmètres irrigués rencontrés dans le delta du fleuve Sénégal sont de taille variable (100 à 3 000 ha) et principalement destinés à la riziculture, avec pompage et irrigation gravitaire. Ils ont été pour la plupart transférés à des associations d'usagers depuis une dizaine d'années. Le tarif pratiqué depuis vingt-cinq ans est calé sur la surface cultivée. Son montant est choisi par les agriculteurs eux-mêmes, via le bureau des associations gestionnaires. Celles-ci s'appuient sur la capacité de paiement estimée des producteurs. Ce montant a subi une augmentation relative en 1994, suite à la dévaluation du franc Cfa, passant de 40 000 à 60 000 F Cfa/ha sur la plupart des périmètres. Il est inférieur aux calculs faits par la société d'aménagement pour assurer un entretien correct des réseaux. Leurs estimations varient en effet de 70 000 à 130 000 F Cfa/ha selon la taille du périmètre, les plus grands étant les moins onéreux pour des raisons d'économie d'échelle.

Faute de système d'information fiable, il est difficile de reconstituer les charges d'un périmètre donné. Une étude réalisée sur trois d'entre eux (Pont Gendarme, Thiagar et Boundoum) montre néanmoins une tendance à l'augmentation des charges de fonctionnement (énergie et surtout fonctionnement général), au détriment des charges d'entretien et des provisions pour gros entretien et renouvellement des infrastructures (tableau I) (Fall, *op.ct.*). Globalement, la sous-tarification de l'eau et cette répartition des dépenses augmentent les risques de dégradation des réseaux et de non durabilité du périmètre, d'autant que les recettes dépendent des superficies cultivées et non aménagées.

Dans ce contexte, le choix d'un tarif doit viser à se rapprocher d'une stratégie de maintenance durable, tout en demeurant compatible avec les revenus des agriculteurs. Or ceux-ci sont dans des situations diverses, tant en termes de résultats économiques que de comportements vis-à-vis de l'irrigation. Une typologie a été réalisée à partir d'enquêtes conduites sur un échantillon d'exploitations situées sur plusieurs périmètres du delta (Tolub, 2000). La place tenue par les activités hors périmètre dans le fonctionnement des exploitations apparaît comme le facteur le plus discriminant (tableau II pour l'exemple du périmètre de Boundoum). Les deux types où ces activités sont les moins présentes (T1 et T3a) se trouvent dans des situations économiques difficiles et présentent de forts risques de non paiement des redevances.

Tableau I. Comparaison des montants de la redevance par poste sur trois périmètres du delta du fleuve Sénégal selon le mode de calcul (F Cfa/ ha cultivé).

	Pont-Gendarme (320 ha)		Thiagar (1630 ha)		Boundoum (3300 ha)	
	Sar	Aue	Sar	Aue	Sar	Aue
Energie	21 800	24 000	40 000	25 000	15 000	15 000
Fonctionnement général	4 200	8 000	3 500	800	1 000	3 000
Entretien annuel	21 000	3 000	18 500	4 000	14 400	5 000
Provisions pour entretien et renouvellement	83 000	25 000	39 000	30 200	36 600	37 000
total	130 000	60 000	101 000	60 000	67 000	60 000

Sar : société d'aménagement régional ; Aue : association d'usagers de l'eau. (d'après Fall, 1998).

Tableau II. Caractéristiques des types d'exploitations du périmètre de Boundoum (Sénégal).

	T1	T2	T3a	T3b	T4
Surface sur périmètre	2,9	2,6	2,7	2,7	2,1
Population totale	19	18	12	11	10
Dépense par tête (Fcfa)	73 000	45 000	60 000	70 000	80 000
Revenus hors périmètre (Fcfa)	535 000	923 000	56 000	113 000	796 000
% exploitations sur périmètre	5	24	21	33	17
surface totale par type (ha)	10	44	40	61	25
Rendements (t/ha)					
riz hivernage	3,6	5,0	3,3	6,0	5,0
riz contre-saison	-	-	-	6,4	5,4
Pratique de la double culture	non	non	non	oui	oui

Type	caractéristiques	Position par rapport à la double culture
T1	Exploitations axant l'ensemble de leurs revenus sur l'agriculture irriguée (riziculture et maraîchage). Manque de liquidités pour développer leurs activités.	Intérêt potentiel mais manque de ressources pour assurer deux cultures par an.
T2	Exploitations cherchant à s'agrandir et optant pour une stratégie extensive vis-à-vis de l'agriculture irriguée.	Pas d'intérêt pour la double culture, qui renvoie plutôt à une stratégie d'intensification.
T3a	Exploitations ayant de faibles rendements et de fortes contraintes financières.	Impossibilité de réaliser la double culture faute de ressources.
T3b	Exploitations spécialisées dans l'agriculture irriguée, limitées en surface et cherchant à maximiser leurs revenus agricoles.	Intérêt marqué pour la double culture afin d'augmenter le revenu agricole.
T4	Exploitations disposant de revenus extérieurs importants et les consacrant pour partie à l'agriculture irriguée.	Intérêt pour la double culture en tant que source de revenu, même à risque.

Le choix de solutions tarifaires alternatives à la situation actuelle a été guidé par trois grandes considérations :

- la nécessité de sécuriser le recouvrement des charges fixes ;
- la capacité matérielle des gestionnaires à mettre en place ces tarifs ;
- leurs effets sur les revenus des agriculteurs, à travers les montants retenus mais également le type d'incitation privilégié.

Dans cet esprit, l'orientation privilégiée a été un tarif binôme assis, pour sa partie fixe, sur la surface aménagée, pour sa partie variable constituée des dépenses d'énergie, sur la surface cultivée une campagne donnée. Ce tarif présente en effet le double avantage (i) de déconnecter le recouvrement des charges fixes des surfaces cultivées chaque année et (ii) d'être facilement gérable, contrairement à un tarif assis sur les volumes d'eau consommés qui nécessiterait un système de mesure. Cette tarification au volume se justifie d'autant moins que l'élasticité entre rendement et demande en eau est faible pour le riz, et que l'eau n'est pour l'instant pas un facteur limitant en amont comme au sein de ces périmètres.

Les scénarios mis en comparaison combinent trois facteurs de variation :

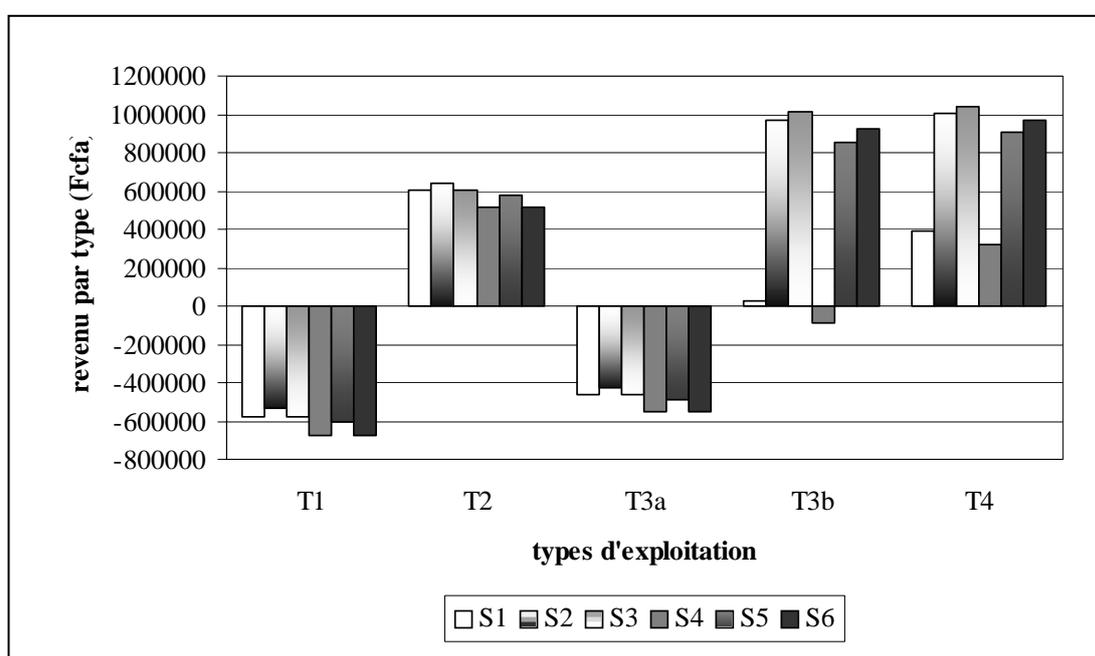
- structure tarifaire : forfaitaire et binôme ;
- montant : actuel (60 000 F Cfa/ha/campagne) et durable (90 000 F Cfa/ha sur une culture par an) ;
- mise en valeur du périmètre : une culture par an et double culture annuelle de riz sur 50 % de la surface du périmètre.

Ce dernier facteur est basé sur l'hypothèse que le tarif binôme devrait inciter les agriculteurs à opter pour la double culture annuelle, système plus intensif qui leur permet de répartir leurs charges fixes sur une plus grande surface cultivée et d'augmenter les revenus tirés annuellement du périmètre. Ce système présente néanmoins des risques d'échec, dus notamment à l'organisation des calendriers de travail durant les périodes de chevauchement des cycles culturels (Le Gal et Papy, 1998). On a donc supposé

que certains types d'exploitation ne seraient pas intéressés par cette possibilité, T1 et T3a parce que le risque encouru est trop élevé par rapport à leurs moyens financiers, T2 parce que sa stratégie est plutôt d'ordre extensif (tableau II).

Les résultats des simulations en termes de revenus des exploitations par type sont présentés à la figure 3. On constate tout d'abord que les types T1 et T3a ont des revenus négatifs quel que soit le montant de la redevance. Cette situation s'explique par la faiblesse de leurs rendements, qui ne suffisent pas à couvrir leurs charges et à subvenir à leurs besoins familiaux, tant alimentaires que monétaires. Les périmètres où ces types sont très représentés verront leur risque de déséquilibre budgétaire augmenter en conséquence. Ils devront mettre en place des actions qui leur soient spécifiques, relevant, selon la stratégie adoptée, de politiques de soutien technique et financier ou au contraire d'éviction.

Les autres types peuvent supporter une augmentation de la redevance, sous réserve pour T3b d'adopter la double culture annuelle. Sur ce plan, le tarif forfaitaire actuel se révèle contre-incitatif car il favorise les exploitations qui ne la pratiquent pas au détriment de celles qui prennent le risque d'en faire (comparaison des scénarios S2 et S3 pour le montant actuel, S5 et S6 pour le montant durable). Le tarif binôme apparaît donc effectivement mieux adapté à une stratégie d'intensification, telle qu'elle est souhaitée par les pouvoirs publics et les bailleurs de fonds à l'origine de ces aménagements.



	Description des scénarios					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Tarif	forfait	forfait	binôme	forfait	forfait	binôme
Montant (Fcfa/ha)	60000	60000	60000	90000	90000	90000
double culture*	-	oui	oui	-	oui	oui

*sur 50 % du périmètre ; fourni par T3b et T4.

Figure 3 : Résultats des simulations tarifaires par type d'exploitation.

Présentés aux agriculteurs responsables de la gestion du périmètre de Boundoum, ces résultats ont alimenté une discussion débordant des seuls problèmes de tarification pour toucher à quatre types de problèmes relevant de la gestion interne de l'aménagement et de ses relations avec les pouvoirs publics.

- Un problème de mise en œuvre du tarif binôme : quand percevoir la partie fixe de la redevance et comment faire payer les agriculteurs qui n'utilisent pas leur parcelle de l'année ? Ce problème renvoie plus généralement aux difficultés que rencontrent les associations d'usagers à recouvrer les redevances, la nécessité de caler les périodes de recouvrement avec celles où des productions sont disponibles et les modalités de pression à mettre en place face aux mauvais payeurs.

- Un problème de référentiel : comment estimer les charges fixes de maintenance et de renouvellement des équipements ? Le tarif binôme implique une planification des interventions de maintenance et de leur coût, alors que le tarif forfaitaire favorise une gestion à posteriori de l'entretien, en fonction des sommes collectées.
- Un problème structurel : la conception du périmètre, faite dans un autre contexte institutionnel (gestion par une société parapublique subventionnée) génère des coûts incompatibles avec les revenus des agriculteurs, alors que le transfert de responsabilité fait maintenant peser la pérennité de l'investissement sur leurs épaules.
- Un problème politique : que fera l'Etat s'il se révèle que les coûts de l'eau ne sont pas supportables par les paysans ? Comme la question précédente, ce débat renvoie au montant des redevances, à la capacité des agriculteurs à prendre institutionnellement et financièrement en charge la gestion des périmètres et au rôle de l'Etat dans un contexte économique libéral.

La région de Petrolina-Juazeiro

Cette démarche a été appliquée dans le contexte fort différent de deux périmètres irrigués situés dans la région de Petrolina-Juazeiro au Brésil. Par rapport à la situation sénégalaise, ces périmètres se caractérisent par des tailles relativement similaires (de 400 à 4 300 ha), une irrigation gravitaire par pompage avec éventuellement des stations de reprise sous pression individuelles, des systèmes de production en transition depuis les cultures maraîchères (oignon, tomate, melon) vers les cultures fruitières (banane, cocotier, goyave, mangue), des tailles d'exploitation très diverses sur un même périmètre, allant de 6 à 8 ha pour des exploitations familiales à des entreprises agro-industrielles exploitant plusieurs centaines d'ha. Leur gestion est assurée par des districts d'irrigation dirigé par du personnel professionnel, sous la responsabilité d'un conseil d'administration où sont représentés les agriculteurs et l'Etat, via une société d'aménagement (Codevasf).

La tarification est partout binôme avec une partie fixe assise sur la superficie aménagée des exploitations et une partie variable assise sur la consommation en eau mesurée quotidiennement à l'aide d'échelles placées en tête de lot et en fonction de la durée d'irrigation. Les districts sont confrontés à deux types de problème : des impayés structurels des redevances de la part de certaines exploitations, et des difficultés à définir les montants respectifs des parties fixes et variables (de Nys, 1999). Alors que l'Etat les incite à inclure la majorité des charges fixes dans la partie fixe, les districts tendent au contraire à alourdir la partie variable, sous la pression des agriculteurs (tableau III). En effet, ceux-ci peuvent ainsi plus facilement moduler leur facture totale en adaptant leur consommation en eau à leurs assolements ou à la pluviométrie. En contre-partie, les recettes des districts sont plus incertaines, notamment en cas d'année pluvieuse, et les charges d'entretien ne sont plus couvertes.

Plus encore qu'au Sénégal, les exploitations d'un même périmètre sont dans des situations économiques contrastées. La typologie construite pour en rendre compte repose sur des critères de taille et d'assolement, selon la place de la fructiculture et le degré de transition entre cultures annuelles et fruitières (tableau IV). Certaines exploitations sont en effet apparues en difficulté financière du fait d'une transition trop rapide et mal maîtrisée entre ces deux systèmes, les conduisant à recourir à des crédits usuraires (Ducrot *et al.*, 2001).

Une fois la fonction de coût du gestionnaire précisée, et les relations entre assolement et demandes en eau, des scénarios ont été construits pour prendre en compte, d'une part, des changements dans l'environnement et la situation économiques des exploitations (prix des productions et capacité d'autofinancement), d'autre part, des systèmes tarifaires différant par l'équilibre entre parties fixe et variable, ou par leur structure à travers la mise en place d'une tarification optionnelle (Alcubilla, 2000). Dans ce dernier cas, l'objectif était de s'écarter de la position habituelle des districts consistant à appliquer un même tarif à toutes les exploitations malgré leur diversité de situations et de qualités de service différenciées. On a, au contraire, proposé des contrats assis sur des débits et des horaires d'irrigation calés sur les consommations en eau mesurées de chaque type, en faisant l'hypothèse qu'elles seraient relativement stables avec des assolements essentiellement pérennes. Les montants des contrats ont été calculés en fonction du poids de chaque type, de façon à se rapprocher au mieux de l'équilibre budgétaire du district.

Tableau III. Montant de la redevance sur le périmètre de Maniçoba selon la méthode de calcul.

	Etat*	district
partie fixe (réal/ha aménagé)	15,21	3,93
partie variable (réal/m ³)	7,30	18,10

*partie fixe = charges fixes

Tableau IV. typologie des exploitations de Maniçoba.

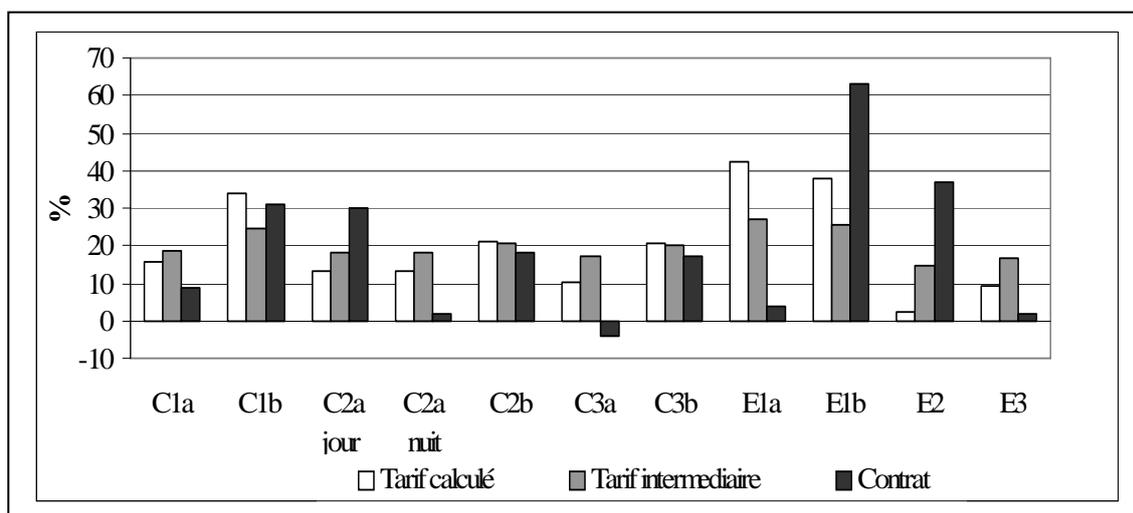
Type	Fruiculture en Production	Surface Cultivée	Caractéristiques
C1a	>80%	>6 ha	Exploitations arrivées en pleine production.
C1b		<6ha	Revenu fonction du prix de vente des fruits
C2a	30-80%	>6 ha	Exploitations en évolution.
C2b		<6ha	Peu de recours aux cultures annuelles.
C3a	<30%	>6 ha	Passage à la fruiticulture récent.
C3b		<6ha	Recours aux cultures annuelles.
E1a	100	50	Entreprises d'exportation de mangue.
E1b	100	30	taille inférieure à E1a
E2	-	65	Entreprise sucrière.
E3	>80%	100	Entreprise d'exportation du raisin.

Les résultats des simulations soulignent tout d'abord la très forte sensibilité des résultats économiques des exploitations familiales aux prix de vente des productions, qu'elles soient maraîchères ou fruitières. Ce point, discuté ensuite avec les districts et les représentants des agriculteurs, a permis de souligner les conséquences, sur l'équilibre budgétaire du district, de facteurs non directement liés au service de l'eau, tels que le choix des productions, la planification de la transition entre cultures annuelles et pérennes et l'organisation de la commercialisation.

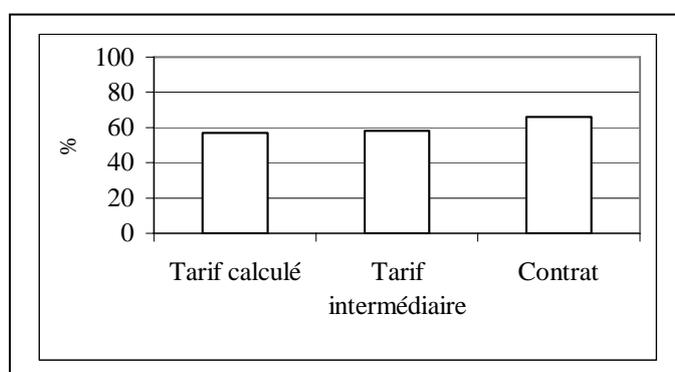
La comparaison des systèmes tarifaires simulés avec la tarification actuelle souligne les points suivants (figure 4).

- Les effets d'un système donné sur le montant de la facture d'eau varie d'un type à l'autre, en fonction du rapport entre surface aménagée et demande en eau, elle-même fonction de l'assolement pratiqué.
- Les arbitrages opérés entre parties fixe et variable n'ont pas d'influence notable sur les factures payées, à l'exception de certaines entreprises (E1a et E1b où la facture augmente de plus de 20 % par rapport au tarif actuel). Ce résultat va à l'encontre des positions prises par les agriculteurs familiaux face à une augmentation de la partie fixe, mais demanderait à être modulé en prenant mieux en compte l'aléa climatique qui rentre pour une part dans leur raisonnement et leur perception de la tarification.
- La tarification optionnelle limite le montant des factures pour la plupart des exploitations familiales, dès lors qu'elles choisissent un contrat adapté à leur situation (irrigation de nuit pour C2a par exemple). Certaines entreprises se trouvent par contre fortement désavantagées (E1b et E2). Ces résultats conduisent à approfondir la caractérisation des contrats, d'autant que la recette du gestionnaire, tout en étant maximale dans cette situation, est encore loin d'être totalement recouverte.

Comme au Sénégal, ces résultats ont été restitués aux districts et représentants des agriculteurs et ont débouché sur une discussion débordant largement du seul sujet de la tarification pour s'intéresser aux différentes composantes du système « périmètre irrigué » : maîtrise des systèmes de production par les agriculteurs familiaux et besoins en formation technique et gestionnaire, financement des exploitations, importance de la commercialisation des productions et interrogations sur l'implication des districts dans son organisation, modernisation des périmètres et passage à l'irrigation sous pression.



a. Variation de la redevance simulée par rapport à la redevance actuelle selon les tarifs.



b. Taux de couverture du budget du gestionnaire par les recettes tirées de la redevance.

Définition des scénarios

	K2 fixe (R\$/ha)	K2 variable (R\$/1000m3)	Partie des recettes assurées par	
			K2 fixe (%)	K2 variable (%)
Tarif actuel	4	18	15	85
Tarif calculé	15	11	60	40
Tarif intermédiaire	8	18	30	70

Contrat	Débit (l/s)	Heures d'irrigation par jour	Jour d'irrigation par semaine	Prix (R\$/mois)	Période d'irrigation	Usager
1	30	8	2	160	Jour	C1b, C2b, C3b
2	30	10	2	230	Jour	C1a, C2a (70%)
3	30	10	2	180	Nuit	C3a, C2a (30%)
4	30	10	6	775	-	E1a, E1b
5	100	10	6	2450	-	E2, E3

Figure 4 : Comparaison de différents systèmes tarifaires sur les périmètres de Mandacaru et Maniçoba (Brésil).

Synthèse et perspectives

Le choix d'un système tarifaire représente une décision stratégique et complexe, dans la mesure où elle intègre de nombreuses composantes des périmètres irrigués et se situe à l'interface entre gestionnaire, agriculteurs et pouvoirs publics. Ainsi, la maîtrise des coûts d'investissements, de maintenance et de fonctionnement relève directement des gestionnaires. Du côté des agriculteurs, les choix de production et les stratégies de commercialisation représenteront autant de leviers d'action pour sécuriser les revenus et les capacités de paiement de la redevance. La gestion du système suppose un accès observable et vérifiable aux variables constituant l'assiette de la tarification choisie, avec un souci de transparence sur les coûts et les modalités de facturation. Enfin, les composantes du problème sont amenés à évoluer dans le temps, remettant en question les choix initiaux.

Est-ce du fait de sa complexité et de son caractère aisément conflictuel, la question de la tarification est rarement soulevée par les gestionnaires rencontrés au cours de cette opération. Le problème des impayés l'est beaucoup plus fréquemment car il renvoie très directement aux équilibres budgétaires de court terme et à la couverture des charges de fonctionnement. Cette position fait passer au second plan la planification des dépenses d'entretien et de renouvellement des infrastructures, dont dépend pourtant leur pérennité.

La démarche proposée ici permet dans un premier temps de repositionner la tarification dans le fonctionnement du périmètre, puis d'ouvrir l'horizon des acteurs intéressés sur des choix alternatifs possibles. L'intérêt de la simulation est alors de préciser quantitativement les conséquences à attendre d'une solution vis-à-vis des objectifs visés. On évite ainsi des expérimentations hasardeuses en vraie grandeur, sources d'incertitudes et de conflits avec les agriculteurs, pour alimenter un processus d'apprentissage fondé sur la discussion et la réflexion collectives. L'expérience montre de plus que celles-ci dépassent rapidement le seul problème de la tarification pour aborder un ensemble de problèmes stratégiques pour l'avenir du périmètre. De ce point de vue, la discussion de la tarification apparaît comme un moyen d'intervention puissant dans les périmètres irrigués. Cela tient au fait que tous les acteurs sont concernés et que le débat de nouveaux scénarios nécessite la mise en commun d'information auparavant privées.

Ces points positifs ne doivent pas masquer un certain nombre de difficultés dans la mise en œuvre de la démarche. Tout d'abord, comme pour beaucoup de modèles, l'information nécessaire pour construire les simulations n'est pas toujours disponible. Cela est particulièrement vrai des données sur les exploitations agricoles, qui nécessitent des enquêtes spécifiques. Mais cela concerne également les informations comptables du gestionnaire, les systèmes d'information en place étant souvent incomplets, difficilement accessibles et finalement peu fiables. Ce problème, rencontré dans des expériences similaires au Maroc et dans les Charentes (Rieu et Montginoul, 1999), nécessite parfois une intervention spécifique (Le Gal *et al.*, 2001).

Le déroulement de l'intervention demande de la durée pour construire les scénarios et les discuter avec les acteurs intéressés de manière itérative, jusqu'à parvenir à l'émergence de solutions opérationnelles. Bien qu'aux prémisses d'un tel processus, on constate que des précautions sont à prendre quant à la nature et au degré d'implication des interlocuteurs. Vu la sensibilité de la question traitée et sa position charnière entre gestionnaires et agriculteurs, il est indispensable que (i) la représentation du système et la formalisation des relations entre acteurs, qui constituent la base de la modélisation, soient clairement explicitées et (ii) les simulations soient présentées et discutées avec l'ensemble des acteurs intéressés, pour éviter des déséquilibres et tensions supplémentaires dans leurs relations.

Ce principe est d'autant plus nécessaire que les décisions de réforme tarifaire sont en général votées en assemblée générale ou par les conseils d'administration. Il est cependant difficile à tenir dès lors que les représentants des agriculteurs ont des difficultés pour saisir la nature de la démarche ou pour faire accepter par leurs pairs les décisions prises. D'où l'importance de l'existence d'un cadre réglementaire fixant les relations entre les acteurs, notamment entre l'Etat et le gestionnaire, d'une volonté partagée de négocier la réforme, et d'une représentation solide et légitime des usagers, qui permettra de limiter les comportements opportunistes ultérieurs.

La démarche comme l'outil sont encore expérimentaux, et leur utilisation va se poursuivre sur quelques terrains pour en évaluer l'intérêt réel. De cette évaluation seront tirées des conclusions en matière de

généralisation, concernant notamment le développement d'un logiciel plus facilement paramétrable en fonction de situations spécifiques et plus convivial ergonomiquement.

D'un point de vue économique, les travaux réalisés permettent une confrontation des apports théoriques à la réalité des comportements des acteurs sur le terrain. Il est clair que les progrès récents sur la prise en compte des asymétries d'information, l'existence de fonctions de demande aléatoires et les processus de négociation trouvent là des champs d'application fructueux. On peut réciproquement espérer des gains dans les capacités de représentation et la mise au point d'instruments économiques plus efficaces !

Bibliographie

ALCUBILLA R.G., 2000. Elaboration d'un outil de simulation de la tarification de l'eau : application à deux périmètres irrigués collectifs au Brésil. Mémoire Daa Ina-Pg. Montpellier, France, Cirad, 51 p.

CAPILLON A., 1993. Typologie des exploitations agricoles, contribution à l'étude régionale des problèmes techniques. Thèse Dr. Ina-Pg. Paris, France, Tome 1, 48 p.

De GEUS A.P., 1992. Modelling to predict or to learn ? *European Journal of Operational Research*, 59 : 1-5.

DUCROT R., Le GAL P.-Y., MORARDET S., JEHAN C., de NYS E., 2002. Transitions institutionnelles et agricoles dans les périmètres irrigués du pôle Petrolina-Juazeiro (Brésil) : enjeux, difficultés et voies d'intervention. Séminaire PCSI, « La gestion des périmètres irrigués collectifs à l'aube du 21^e siècle : enjeux, problèmes, démarches », Montpellier, 3-4 janvier 2001. Montpellier, France, Cirad.

FALL Ch., 1999. Analyse de la tarification de l'eau sur les périmètres irrigués du delta du fleuve Sénégal. Mémoire Dea, Ensam-Um, 181 p.

Le GAL P.-Y., PAPY F., 1998. Co-ordination processes in a collectively managed cropping system: double cropping of irrigated rice in Senegal. *Agricultural Systems*, 57 (2) : 135-159.

Le GAL P.-Y., de NYS E., PASSOUANT M., RAES D., RIEU T., 2000 Recherche-intervention, modélisation et aide à la décision collective : application à la gestion des périmètres irrigués. *In* Le pilotage des agro-écosystèmes : complémentarités terrain-modélisation et aide à la décision, Cirad, 31 août 2000. Montpellier, France, Cirad

Le GAL P.-Y., PASSOUANT M., FAMANTA M., BELIERES J.-F., 2002. Conception et mise en place d'un système d'information dédiée à la maintenance des réseaux hydrauliques à l'Office du Niger (Mali). Séminaire Pcsi, La gestion des périmètres irrigués collectifs à l'aube du 21^e siècle : enjeux, problèmes, démarches, Montpellier, 3-4 janvier 2001. Montpellier, France, Cirad.

LOUBIER S., 1998. Pour une gestion durable d'un périmètre irrigué : Le choix d'une politique de maintenance et de renouvellement des équipements des réseaux d'irrigation sous pression gérés par des Associations Syndicales Autorisées. Mémoire Dea, Ensam, Um1. Montpellier, France, Cemagref, 104 p.

MONTGINOUL M., 1997. Une approche économique de la gestion de l'eau d'irrigation : des instruments, de l'information et des acteurs. Thèse Un. Montpellier I, 312 p.

NYS (de) E., 1999. Analyse et modélisation de la tarification de l'eau sur les périmètres irrigués collectifs dans le nordeste du Brésil. Mémoire de fin d'études Montpellier, France, Cirad, 54 p.

QUEAU P., 1986. Eloge de la simulation : de la vie des langages à la synthèse des images. Ed. Champ Vallon, Coll. Milieux.

RIEU T., 1999. L'eau agricole en France : état des lieux et perspectives, *Bul. Conseil Général du Gref*, n°53, avril, p. 63-84.

RIEU T., MONTGINOUL M., 1999. Implementation issues related to different water pricing reforms : Application to Charentes River basin in France and irrigation management agencies in Morocco. Communication au colloque CEE « Pricing the use of water resources », 6-7 Septembre 1999, Sintra, Portugal, (à paraître).

STROSSER P., 1997. Analysing alternative policy instruments for the irrigation sector. An assessment of the potential for water market development in the Chishtian sub-division. PhD thesis, Wageningen Agricultural University, 243 p.

THEPOT J., 1995. La modélisation en sciences de gestion ou l'irruption du tiers. *Revue française de gestion*, 102 : 66-70.

TOLUB A., 2000. Prendre en compte la diversité des exploitations agricoles dans la gestion des grands périmètres irrigués du delta du fleuve Sénégal. *Isra-Psi-Coraf*, 66 p.

VALIRON F., 1988. Coût et prix de l'eau. *Annales des Mines*, 7-8, p. 135-142.