Stabilisation des nappes, qui paiera la facture ? Le cas des aquifères du Bajío Guanajuatense, Mexique

Damien Jourdain, Michel Benoit-Cattin, Bruno Lidon, Bernard Triomphe

▶ **To cite this version:**

Damien Jourdain, Michel Benoit-Cattin, Bruno Lidon, Bernard Triomphe. Stabilisation des nappes, qui paiera la facture ? Le cas des aquifères du Bajío Guanajuatense, Mexique. PCSI - 4e Séminaire international et interdisciplinaire, 2006, Montpellier, France. 12 p. cirad-00153266

HAL Id: cirad-00153266
https://hal.science/cirad-00153266

Submitted on 8 Jun 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.

Retour au menu

A. Richard, P. Caron, J.Y. Jamin, T. Ruf (éditeurs scientifiques), 2006. Coordinations hydrauliques et justices sociales. Actes du séminaire, novembre 2004, Montpellier, France. Cirad, Montpellier France, Colloques

Stabilisation des nappes, qui paiera la facture ?

Le cas des aquifères du Bajío Guanajuatense, Mexique

Damien JOURDAIN, Michel BENOIT-CATTIN, Bruno LIDON, Bernard TRIOMPHE

Cirad, Montpellier Cedex 5, France

Résumé — Stabilisation des nappes, qui paiera la facture ? Le cas des aquifères du Bajío Guanajuatense, Mexique. Un nombre croissant d'aquifères ont un déséquilibre marqué entre recharge et demande provoquant leur épuisement progressif. Souvent, la majorité des prélèvements sur ces nappes est imputable à l'agriculture. L'objectif est donc de réduire la consommation en eau des systèmes de production agricoles. L'eau souterraine est typiquement une ressource en propriété commune, et du fait des externalités, son utilisation est souvent inefficiente en l'absence d'une certaine forme de contrôle. Différents instruments de gestion peuvent être mis en place qui permettent de s'approcher de solutions efficaces et efficientes, mais dont l'impact en terme d'équité est très différentié. Dans ce papier, l'impact en termes de revenus de différentes politiques de gestion des aquifères sur plusieurs types d'utilisateurs différant par leur fonction de demande en eau est analysé, en prenant le cas des producteurs représentatifs du Bajío guanajuatense, au centre du Mexique. Elle montre qu'en fonction des solutions retenues, ce ne sont pas les mêmes acteurs qui devront assumer l'impact économique de la réduction de la consommation en eau. Les analyses conduisent à proposer la solution d'une tarification électrique uniforme avec remise fixe qui donne toute la flexibilité nécessaire pour créer un environnement incitant les producteurs aux économies d'eau, tout en évitant de ponctionner le secteur agricole dans son ensemble. Elle permet également, par le biais de la remise, des transferts au sein du secteur agricole entre les différents types de producteurs ou, à un niveau plus global, entre les différents secteurs de la société.

Abstract — Stabilising ground water levels: who will pay? A case study of the aquifers in Bajío Guanajuatense, Mexico. An increasing number of aquifers are over-drafted. In most cases, agricultural sector constitutes the main water consumer. Decision-makers are seeking ways to reduce agricultural water consumption. Groundwater can be considered as a common property good, and externalities between users may generate water inefficient use when external control is not implemented. Various instruments can be set up to approach an efficient use of water. However, impact of those instruments vary a lot in terms of equity, i.e. in terms of "who has to pay the bill" for the reduction in water consumption. In this paper, impacts on revenues of farms differing by their water demand functions are evaluated. A stylized model is implemented on representative farms of the *Bajío guanajuatense*, in central Mexico. Analysis shows that an electric pricing based on the principles of uniform pricing with fixed rebate gives ample flexibility to create incentives for farmers to use less water while avoiding a negative impact on their revenues. It also provides a tool for a redistribution of revenues within the agricultural sector, in favour of the most affected farms. In the same way, this pricing can also create transfers between the different productive sectors.

Introduction

Un nombre croissant d'aquifères présente un déséquilibre marqué entre recharge et extractions provoquant leur épuisement progressif. Nous nous intéresserons ici aux aquifères d'une région agricole intensive où ce phénomène est particulièrement exacerbé : le Bajío Guanajuatense au centre du Mexique. Dans cette zone irriguée au climat sub-humide (600 à 800 mm par an), les extractions sur les aquifères, effectués à l'aide de l'énergie électrique, fournissent près de 60 % de l'eau utilisée par l'agriculture, le reste étant fourni par les eaux de surface (Ceag, 1999). La pression sur les aquifères est importante, puisque l'on constate une descente annuelle moyenne de 1 à 2 mètres par an, et elle risque d'augmenter dans un futur proche (Ceag, 2000).

En effet, à l'heure actuelle, l'agriculture représente 80 % des extractions, mais la demande non-agricole en eau de la région est en forte augmentation du fait d'une croissance industrielle et démographique forte[1]. L'objectif principal des politiques est donc d'induire une diminution de la demande en eau agricole afin de permettre la croissance de la demande en eau des autres secteurs de la société et de stabiliser le niveau des aquifères. Ce dernier objectif se justifie au nom de la durabilité de l'utilisation de la ressource et de la préservation des ressources productives pour les générations futures. Nous serons donc amenés à nous poser trois questions successives.

Tout d'abord, les eaux souterraines pouvant être considérées comme une ressource en accès libre ou en propriété collective, son utilisation risque d'être inefficiente économiquement. Le terme inefficient sous-entendant simplement que l'on pourra améliorer le bien-être d'une catégorie d'agents sans réduire celui des autres. On cherchera donc tout d'abord à quantifier les inefficiences dues au caractère d'accès libre sur la ressource.

Si la seule élimination des inefficiences ne nous permet pas de stabiliser la ressource en eau, d'autres solutions doivent être mises en place, qui auront forcément un impact négatif sur les agents. Nous nous intéresserons donc aux instruments à mettre en place pour diminuer la demande en eau du secteur agricole. Parmi ceux-ci nous nous intéresserons uniquement aux instruments tarifaires. Plus spécifiquement, nous nous intéresserons aux impacts de ces instruments, tant en termes de revenus que d'accès à l'eau, sur des producteurs ayant des fonctions de demande en eau différenciées.

Finalement, nous examinerons les modifications sur ces instruments permettant de corriger certains impacts jugés défavorables pour certaines catégories de producteurs.

Un simple problème d'accès libre ?

L'exploitation des eaux souterraines relève de la gestion d'une ressource naturelle en propriété collective. L'appropriation collective peut conduire à une utilisation inefficiente de cette ressource du fait des interactions stratégiques entre les différents utilisateurs.

Dans la littérature, le problème a tout d'abord été analysé comme la gestion d'une ressource en accès libre. Dans ce cadre, les agents ne se préoccupent pas des conséquences dynamiques de leur gestion : les extractions à chaque période correspondent aux quantités qui égalisent les gains marginaux avec les coûts marginaux d'extraction, sans préoccupation d'efficience inter-temporelle (voir par exemple, Feinerman, 1988).

Plus récemment, le cas de la propriété collective de l'eau d'un aquifère par un nombre fini d'agents a été abordé par le biais des jeux différentiels. Negri (1989) et Rubio et Casino (2003) montrent que les externalités entre producteurs sont également une source d'inefficience dans l'utilisation de la ressource. Cependant, Rubio et Casino (2003), à l'aide de simulations numériques, montrent également que quand la taille de l'aquifère est relativement importante, l'impact des interactions stratégiques entre puits est faible. Nous nous intéresserons donc ici aux seules inefficiences inter-temporelles que nous présenterons à l'aide d'un modèle analytique.

[1] Dans le Bajío guanajuatense, la densité moyenne de population est déjà relativement élevée puisque dans les années 1990, elle était déjà de 192 habitants par km^2 (Martinez-Romero *et al.*, 2001).

Modèle analytique

Le cadre, les hypothèses

Soit un groupe fini d'agents I = {1,⋯,*i*,⋯,*N*} utilisant en commun l'eau d'un aquifère simple. A chaque période *t*, chaque agent extrait une quantité $w_i(t)$ d'eau de l'aquifère. Sur cette quantité extraite, seule une fraction θ est réellement utilisée, le reste retournant simplement à la nappe[2].

Le niveau de la nappe (supposé uniforme) évolue donc dans le temps selon l'équation dynamique :

$$h_{t+1} = h_t - \frac{R + (\theta - 1) \cdot W(t)}{A \cdot s} \tag{1}$$

où R est la recharge[3] nette des sorties souterraines et $W(t)$ est la somme des consommations individuelles.

Les différents agents diffèrent par leur fonction de demande en eau, tant par les assolements que par les surfaces exploitées, mais sont supposés utiliser la même technologie de pompage. Ils ont donc la même fonction de coût d'extraction *e* supposée linéairement proportionnelle à la profondeur de la nappe et à la quantité extraite (*e* s'exprime donc en unité monétaire /m^3/m).

On suppose enfin que les fonctions d'utilité des agents sont quadratiques :

$$U_i(t) = a_i \cdot w_i(t) - \frac{1}{2} \cdot b_i \cdot w_i(t)^2 - e \cdot h(t) \cdot w_i(t) \tag{2}$$

à partir desquelles on dérive les fonctions de demande en eau de chaque type d'agents.

Contrôle optimal de l'aquifère

Pour un taux d'actualisation *r* donné, une agence ayant pour objectif la maximisation de la somme des utilités des différents agents aura à résoudre le problème :

$$Max \sum_{i=1}^{N} \int_{t=1}^{\infty} U_i(t) \cdot e^{-r \cdot t} dt \tag{3}$$

sous la contrainte de l'équation (1) de dynamique de profondeur de la nappe et de positivité des variables d'extraction ($w_i(t) \geq 0$). Ceci est un problème de contrôle optimal que l'on peut résoudre en formant son Hamiltonien en valeur actuelle (Chiang, 1992) :

$$H(t, w_i(t), h(t), \lambda(t)) = \sum_i U_i(t) + \lambda(t) \cdot \frac{R + (\theta - 1) \cdot W(t)}{A \cdot s} \tag{4}$$

Les conditions de premier ordre pour l'obtention d'un optimum sont [4] :

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial w_i(t)} = a_i - b_i \cdot w_i(t) - e \cdot h(t) - \frac{\lambda(t) \cdot (1 - \theta)}{A \cdot s} &\leq 0 \\ w_i(t) &\geq 0 \\ \frac{\partial H}{\partial w_i(t)} \cdot w_i(t) &= 0 \end{aligned} \tag{5}$$

Tant que l'utilité marginale de l'eau est supérieure son coût réel le producteur consomme de l'eau. Si l'utilité marginale de l'eau est inférieure à son coût, le producteur arrête de consommer de l'eau d'irrigation ($w_i = 0$). A partir d'un certain niveau de la nappe, certains agents peuvent donc arrêter la consommation d'eau. Dans notre hypothèse, leurs revenus agricoles sont alors réduits aux revenus de l'agriculture non-irriguée.

---

[2] Retour supposé ici immédiat, et en négligeant les problèmes de qualité.
[3] Dans laquelle on a inclus les apports en provenance de l'irrigation avec des eaux de surface, supposée constante, et les extractions des villes.
[4] On vérifie également que les conditions de deuxième ordre pour l'obtention d'un maximum sont respectées.

Le coût réel de l'eau est constitué du coût direct d'extraction ($e \cdot h(t)$), auquel on ajoute le coût d'utilisation de l'eau. En effet, l'utilisation actuelle de l'eau augmentera les coûts d'extraction pour toutes les périodes futures.

La deuxième condition pour un optimum de premier ordre est exprimée par l'équation différentielle :

$r \cdot \lambda(t) - \frac{\partial H}{\partial h(t)} = \lambda'(t)$ Ce qui nous donne : $r \cdot \lambda(t) + e \cdot \sum_i w_i(t) = \lambda'(t)$.

La troisième condition $\frac{\partial H}{\partial \lambda(t)} = h'(t)$ permet de retrouver l'équation (1).

A l'équilibre, la profondeur de l'aquifère est constante ($h(t)=h_s$), et la variable auxiliaire également ($\lambda(t)=\lambda_s$). La résolution du système d'équations nous donne une solution unique :

$$\begin{aligned} \lambda_s &= \frac{e \cdot W_s \cdot (1-\theta)}{A \cdot s \cdot r} \\ h_s &= \frac{a_i - b_i \cdot w_{si}}{e} - \frac{R}{A \cdot s \cdot r} \\ W_s &= \sum_i w_i = \frac{R}{(1-\theta)} \end{aligned} \qquad (6)$$

A l'équilibre, il est important de se rappeler que certains agents peuvent avoir abandonné l'utilisation de l'eau.

Compétition entre les agents

Dans le cas d'un grand nombre d'agents, on peut cependant supposer que chacun d'entre eux néglige les externalités qu'il crée sur les autres. Chaque agent aura tendance à consommer plus que ce qu'il ne le ferait dans le cas d'une gestion optimale de la ressource.

On obtient un équilibre différent $h(t) = h_c$. A ce nouvel équilibre, nous aurons toujours une consommation globale égale à $W_c = \frac{R}{(1-\theta)}$, mais la hauteur de la nappe, à l'équilibre est maintenant différente : $h_c = \frac{a_i - b_i . w_{si}}{e}$.

Impact attendu du contrôle

La comparaison des deux situations d'équilibre nous montre que :
– l'extraction en eau à l'équilibre est la même quel que soit le mode de gestion de l'aquifère ($W_s=W_c$), et ne dépend que de la recharge de la nappe (R), et du taux d'utilisation réel de l'eau extraite (θ). L'extraction d'équilibre ne dépend donc que des conditions de milieu ;
– les profondeurs de la nappe à l'équilibre sont différentes ; l'équilibre compétitif conduit à un épuisement plus important de la nappe ($h_c > h_s$) ; la différence de profondeur entre ces deux équilibres est fonction de paramètres physiques de la nappe, mais également du taux d'actualisation des agents ; une forte préférence pour le présent amènera logiquement à un plus fort épuisement de la nappe ;
– les revenus actualisés générés par les deux modes de gestion sont différents ; sur le moyen-long terme les agents bénéficient d'une eau moins chère à extraire du fait de la moindre profondeur de la nappe ; les différences de revenus actualisés entre ces deux modes de gestion constituent donc les bénéfices escomptés d'un contrôle de l'aquifère ; dans le cas d'un bénéfice global supérieur au coût de la mise en place et de gestion du contrôle, celui-ci pourra se justifier ;
– les fonctions de demande des agents étant différentes, tous ne recevront pas les mêmes bénéfices de la mise en place d'un système de gestion de la consommation en eau. Pour certains mêmes, on ne peut exclure la possibilité que ces bénéfices soient négatifs.

Le cas de l'aquifère de Valle de Santiago

Le modèle analytique présenté dans la section précédente est appliqué au cas de l'aquifère de Valle de Santiago, dans l'Etat de Guanajuato. Les données hydrologiques (tableau I) sont extraites des études détaillées et récentes menées sur les aquifères de l'Etat de Guanajuato (Ceag, 2000).

Tableau I. Les différents paramètres hydrologiques (Source : Ceag, 2000).

Paramètre	Description	Valeur
A	Superficie de l'aquifère (ha)	130 000
s	Densité apparente	0,1
R	Recharge annuelle (m^3)	100 millions
θ	Taux d'utilisation réelle de l'eau	40 %

Le taux d'actualisation r est fixé à 5 %. Les autres paramètres technico-économiques, et les fonctions de demande pour trois types de puits rencontrés dans la région (tableau II) sont déduites de simulations de systèmes de production identifiés sur la zone d'étude (Gillet et Ollivier, 2002 ; Jourdain 2004)

Tous les puits étudiés sont des « puits collectifs », c'est-à-dire en des puits qui sont possédés et gérés en commun par un collectif de producteur. Ces collectifs de producteurs varient selon des critères de taille (nombre de membres, superficie irriguée), et par leurs règles de gestion (allocation des coûts d'extraction, allocation de l'eau, etc.) (Jourdain, 2004).

La technique d'irrigation essentiellement utilisée dans la région est l'irrigation à la raie. Diverses explications, tant agronomiques (nature des sols) qu'organisationnelles (pas de besoin d'une gestion de l'eau pressurisée) ou économiques (peu d'investissement requis) peuvent expliquer la prépondérance de cette technique dans la région. L'agriculture irriguée de la région produit essentiellement des céréales suivant deux cycles bien marqués dans l'année : blé/orge durant le cycle d'hiver (sèche et froide), et maïs/sorgho durant la saison d'été (pluvieuse et chaude) représentent plus de 90 % des superficies développées. D'autres cultures, telles les productions fourragères et horticoles sont également présentes mais dans des proportions très faibles (moins de 10 % des superficies développées).

Trois grands types de puits seront repris ici dans nos simulations. Le premier type correspond à des puits collectifs bénéficiant d'un débit relativement important et un fonctionnement institutionnel qui permet aux utilisateurs d'implanter des cultures à haute valeur ajoutée au moins sur une partie de la sole. Les puits de type 2 sont également des puits collectifs, mais dont les débits d'extraction ou les règles ne permettent pas d'implanter ces cultures à haute valeur ajoutée. Ils se cantonnent donc à des cultures céréalières cultivées sur deux cycles par an (blé/orge en hiver, maïs/sorgho en été). Les puits de type 3 sont assez proches des puits de type 2, mais varient leur capacité à mettre en valeur leur eau (pour des raisons essentiellement physiques, par exemple les types de terre, les pentes, etc.), les profits dégagés par unité d'eau déviée sont donc inférieurs à ceux du groupe précédent.

Tableau II. Les coefficients des courbes de demande dérivée en eau (profondeur actuelle moyenne de 80 m).

Type de puits	a_i	b_i	Nombre agents	Superficie (ha)
1	0,463	$4.25 \cdot 10^{-7}$	340	12 000
2	0,378	$6.37 \cdot 10^{-7}$	340	12 000
3	0,278	$4.44 \cdot 10^{-7}$	340	12 000

En intégrant les paramètres hydrologiques et économiques dans le modèle théorique, on trouve une profondeur d'équilibre de 197 m dans un cadre compétitif, et de 179 m dans le cadre d'un contrôle optimal de la ressource, ce qui nous donne un gain de profondeur de l'ordre de 18 m (soit environ 9 %).

Ces chiffres, même s'ils reposent sur des hypothèses fortes (notamment une demande en eau linéaire), ne sont guère rassurants à deux égards.

- D'une part, on constate qu'il peut être logique et rationnel pour certains producteurs de la région de continuer des extractions importantes dans la nappe, même s'ils constatent une diminution rapide du niveau des nappes. En effet, même en intégrant les externalités inter-temporelles, le niveau d'équilibre sous contrôle optimal n'est pas atteint. Alors que de nombreux puits creusés à des profondeurs de 80-100 m dans les années soixante-dix arrivent maintenant aux limites de l'épuisement, nombreux sont les producteurs qui réalisent de nouvelles perforations à des profondeurs allant de 150-200 m ce qui semble corroborer nos résultats.

- D'autre part, on constate que certains agents seront contraints d'abandonner l'agriculture irriguée. Ce sont les agents qui valorisent le moins bien la ressource en eau, ce qui peut se justifier au nom de l'efficience, mais également les producteurs aux revenus initiaux les plus faibles.

Dans les deux cas, connaissant les extractions des producteurs, on peut calculer les fonctions de profit des producteurs et la valeur actuelle des bénéfices escomptés (ici pris sur une période de 100 ans). La différence des bénéfices actualisés représente le gain potentiel d'une gestion optimale de la ressource, que l'on ramène à des gains espérés par unité de surface (tableau III).

Tableau III. Gains d'une gestion optimale de la ressource.

Type d'agriculteur	1	2	3	Moyenne
Gains (Pesos / ha)	2 172	890	340	1 134
Gains en %	3,56	4,25	3,80	3,74

Les différences brutes entre les deux types d'équilibre (ici calculées en revenu actualisé par unité de surface) sont relativement importantes entre les différents types de producteurs (tableau III). Cependant, en termes de pourcentages de leur revenu agricole, on constate que les gains sont relativement homogènes et faibles (de l'ordre de 4 % en moyenne).

Pour obtenir de la part des agents des comportements équivalents à ceux qu'ils auraient dans le cadre d'un contrôle optimal, l'instauration d'une taxe de pompage équivalente aux coût marginal d'utilisation de l'eau peut être proposée (Baland et Platteau, 1996). Cette taxe est efficace, mais engendre des pertes de revenus importants pour tous les agents (tableau IV).

Tableau IV. Effets sur les revenus d'une taxe équivalent au coût d'utilisation de l'eau.

Type de puits	1	2	3	Moyenne
Pertes (Pesos[5] / ha)	-8 412	-3 986	-2 996	-5 131
Pertes en %	-13	-19	-33	-17

Ces pertes de revenus sont dues au fait que les bénéfices espérés ultérieurement sont en fait internalisés immédiatement. Comme ceux-ci ont un poids plus fort du fait de l'actualisation, le résultat final est négatif.

On constate là encore, que les revenus les plus faibles sont les plus affectés.

En conclusion, l'instauration d'un contrôle optimal n'engendrerait donc pas, avec les hypothèses prises ici, un impact important en terme de préservation de la nappe. De plus, l'instauration d'une taxe pigouvienne aurait de fortes répercussions en termes de revenus sur tous les producteurs. Ceux-ci sont donc susceptibles de s'opposer fortement à ce type d'instruments. Enfin, l'impact serait également fortement inégal en fonction des types de producteurs concernés. Nous aurions donc mis en place un outil à l'efficacité réduite et à l'impact fortement négatif sur le secteur agricole.

[5] Le taux de change de 1US$ = 9 Pesos est celui qui a été retenu ici et correspond au taux en cours au moment des enquêtes et des simulations menées pour la plupart entre 2001 et 2002.

Instruments économiques de stabilisation de la nappe

L'instauration d'une taxe pigouvienne pour atteindre le contrôle optimal de la nappe n'est pas suffisante pour stabiliser le niveau des nappes de la région. Afin de préserver la ressource, il faut donc mettre en place un signal fort aux producteurs qui leur fasse diminuer significativement leur consommation.

On pourrait donc penser instaurer une taxe pigouvienne relativement forte (qui prenne en compte les externalités sur les générations futures ignorées jusqu'alors). Cependant, les taxes sur la consommation en eau poseraient également des problèmes pratiques de mise en place et de contrôle : installation de compteurs volumétriques, contrôleurs incorruptibles, etc. La modification de la tarification électrique semble plus praticable, car elle n'engendrerait aucun coût supplémentaire (ni d'installation, ni de supervision) et serait à peu près équivalente quant aux effets sur la consommation. Nous allons donc analyser plus en détail ce dernier instrument[6] .

Tarification électrique

Effet sur les consommations en eau

Les simulations d'augmentation des tarifs électriques à partir du modèle précédent nous montrent qu'il faudrait doubler les tarifs électriques actuels si on veut stabiliser la nappe à une profondeur de 100 m, et qu'il faudrait augmenter ceux-ci de 150 % si on veut la stabiliser à son niveau actuel (tableau V).

Tableau V. Effets sur les consommations en eau d'une augmentation des tarifs électriques.

Augmentation tarifs (%)	0	50	96	150	200
Niveau nappe (m)	194	130	100	79	65
Réduction annuelle moyenne consommation (million m^3)	0	87	134	170	194
Puits type 1	0	33	53	72	86
Puits type 2	0	22	35	48	57
Puits type 3	0	31	45	49	49

Le tableau V montre les quantités moyennes d'eau libérées par l'agriculture[7]. Cependant, dans le cadre d'une augmentation de la consommation des villes et des industries, on risque probablement d'observer une utilisation par les autres secteurs de la société des surplus dégagés[8].

L'influence sur les consommations en eau est fortement différentiée en fonction des producteurs. Par exemple, après une augmentation des tarifs électriques de 96 %, nous rencontrons trois cas de figure. Pour les puits de type 1 et 2, nous avons une réduction de la consommation en eau, mais jamais abandon de la consommation. Les puits de type 3 arrêtent leur consommation d'eau après quelques années. Une stabilisation de la nappe à son niveau actuel (par le biais d'une augmentation des tarifs de 150 %) aurait pour effet direct l'arrêt de la consommation en eau des puits de type 3, les autres producteurs stabilisant peu ou prou leurs consommations actuelles.

L'instrument tarifaire peut donc être efficace. Cependant, les augmentations de tarifs nécessaires pour une modification des comportements sont importantes. Elles ont un impact très différentié en fonction des types de producteurs et ont le potentiel d'exclure définitivement certains producteurs de la production agricole irriguée.

[6] D'autres instruments non-tarifaires sont envisageables, mais nous ne les avons pas considérés ici. Pour une analyse des quotas voir par exemple Feneirman, 1988.
[7] On calcule la somme sur toutes les années des différences de consommation, que l'on divise par le nombre d'années.
[8] Pour être tout à fait rigoureux nous aurions donc du avoir une recharge R diminuant progressivement, ce que nous n'avons pas fait ici pour ne pas compliquer inutilement le modèle.

Effet sur les revenus agricoles

Les sommes des pertes de revenus actualisés sur une période de 100 ans sont présentées en tableau VI. Tous les producteurs sont fortement affectés par les hausses proposées (50 à 100 % de baisse des revenus). Cependant, on constate des différences notoires entre les différents types de producteurs : ce sont ceux de type 3 qui sont là encore les plus touchés.

Tableau VI. Pertes des revenus actualisés après augmentation tarifs électriques (en pesos / ha).

	50	96	150
Revenu type 1	-20 668	-33 383	-44 160
% rev 1	-33.8	-54.7	-72.4
Revenu type 2	-9 480	-14776	-18 582
% rev 2	-45.3	-70.6	-88.7
Revenu type 3	-6 381	-8 643	-8 931
% rev 3	-71.4	-96.7	-100

Pour mesurer de manière objective l'impact sur la répartition des revenus, on calcule le coefficient de Gini des revenus de la population agricole (tableau VII) suivant la formule :

$\eta = \frac{1}{2.N^2\overline{x}} \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\left|x_i - x_j\right|$. Un coefficient de Gini proche de 1 montre une forte disparité des revenus, alors qu'un coefficient proche de 0 montre une grande homogénéité des revenus. Le tableau VII montre clairement que l'augmentation des tarifs augmente fortement le coefficient de Gini des revenus de la population.

Tableau VII. Coefficient de Gini des revenus agricoles sous les différents scénarios d'augmentation des tarifs électriques.

	0	50	96	150
η	0,38	0,46	0,53	0,58

Effet sur les revenus du distributeur électricité

On observe également de forts changements sur la demande en électricité, donc sur les recettes de son distributeur exclusif. La figure 1 représente l'évolution de la demande en électricité pour deux scénarios : le premier (scénario initial) correspond à la tarification électrique actuelle, le deuxième correspond à une augmentation des tarifs électriques de 50 %.

Dans un premier temps, l'augmentation des tarifs électriques fait augmenter le revenu fortement malgré la diminution de la demande en eau qui en résulte. Le distributeur est donc largement bénéficiaire durant les dix premières après l'introduction du changement de tarif. Cependant, après cette période, les courbes de demande électrique du secteur agricole des deux scénarios se croisent. En effet, au tarif actuel la consommation électrique continue à augmenter même quand les nappes baissent, ce qui n'est pas le cas après les augmentations tarifaires.

On opère donc un transfert de revenus du secteur agricole dans son ensemble vers les autres secteurs de la société dans les premières années au moins.

Conclusions sur la tarification électrique simple

La tarification électrique est efficace puisqu'elle permet de réduire la consommation en eau du secteur agricole. Cependant, elle a un effet fortement négatif sur les revenus des producteurs et aggrave les inégalités de revenus entre producteurs. Par ailleurs, l'Etat, par le biais d'une taxe sur l'électricité, augmente ses recettes (au moins dans les premières années). Le secteur agricole est donc doublement sanctionné, puisqu'il réduit sa consommation en eau (et donc voie sa rente d'utilisation de l'eau diminuer), et augmente ses paiements à l'Etat.

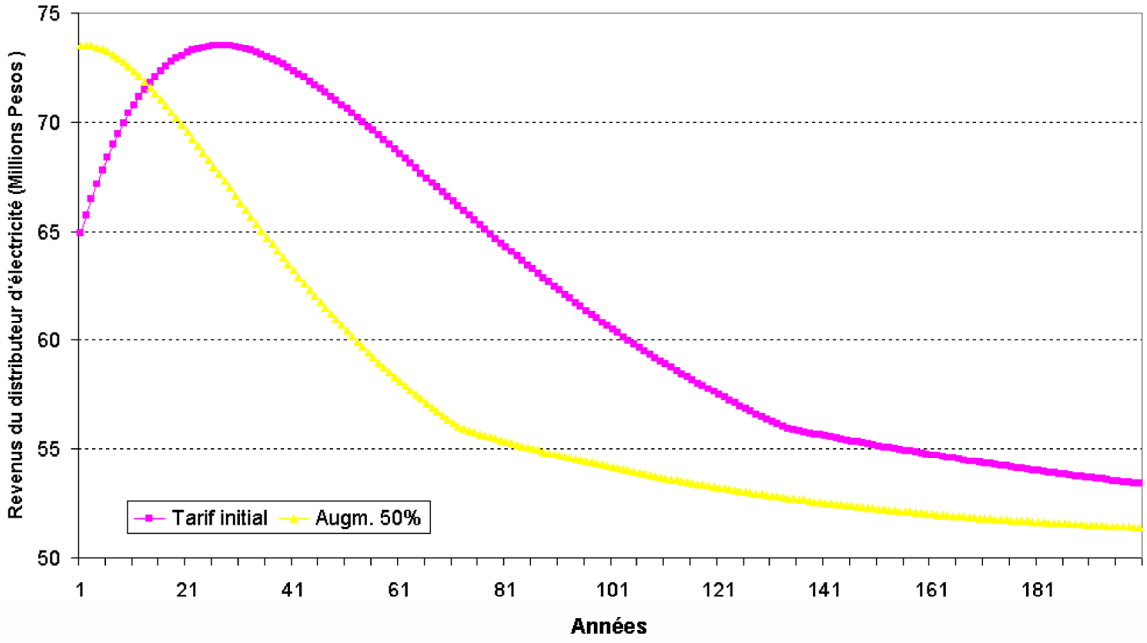

Figure 1. Evolution des recettes du distributeur d'électricité.

Retro-transferts vers l'agriculture

Le principe d'un transfert

Pour éviter que le secteur agricole ne soit doublement sanctionné, l'idée d'un retro-transfert vers le secteur émerge. Si l'on veut que ce rétro-transfert n'annule pas l'effet de la taxe sur l'électricité, il faut que celui-ci soit découplé des consommations. Ici, et pour simplifier les procédures administratives, on propose une solution pour laquelle cette subvention serait proportionnelle aux superficies équipées.

Dans son fonctionnement, ce type de tarification s'approche du système des feebates selon le terme anglo-saxon, et que l'on traduira par le terme redevance - appât. Les feebates sont souvent préconisés dans le domaine des émissions polluantes (Darbera, 2000), mais également dans la tarification de l'eau pour les villes (Boland et Whittington, 2000). Par exemple, dans le cas des pollutions engendrées par le trafic routier, dans certains pays, les véhicules ayant une consommation de carburant plus élevée qu'une moyenne prédéfinie sont soumis à une taxe à l'achat, proportionnelle au surcroît de consommation, taxe dont le produit sert à subventionner les acheteurs de véhicules dont la consommation est plus faible que la moyenne. Comme son principe est de fonctionner à recette globale constante pour les finances publiques, il équivaut à un transfert des pollueurs vers les citoyens respectueux de l'environnement. Dans les faits, l'application du système des feebates pour la taxe à l'achat revient à diminuer les taux de taxes pour les véhicules propres et à les augmenter pour les véhicules sales, avec un point neutre qui s'abaisse automatiquement au fur et à mesure que les ventes (ou que le parc) s'oriente vers des véhicules plus propres (Darbera, 2000).

Mais quelle valeur pour la remise fixe ?

Raisonnement statique

A l'aide d'une simulation, on montre qu'une augmentation de 96 % des tarifs assujettie d'une remise forfaitaire de 188 pesos/ha équipé /mois permet de ne pas pénaliser le secteur agricole dans son ensemble. Elle permet également un transfert des revenus des producteurs de type 1 vers ceux du type 3. Elle permet donc également de réduire les inégalités de revenus constatés. A ce niveau cependant les

transferts sont très faibles : pertes de 1% des revenus chez les puits de type 1, et gains équivalents pour les puits de type 3.

Enfin, si l'on désire qu'aucun des producteurs ne soit pénalisé, il faut consentir une augmentation de la remise à 195 pesos/ha équipé/mois. La protection des revenus des gros consommateurs permet alors aux petits consommateurs d'augmenter leurs revenus de l'ordre de 5 %.

Raisonnement dynamique

A l'aide d'une simulation, où l'on compare la somme des revenus actualisés des producteurs entre les différents scénarios de remise, on montre que la même augmentation de 96 % des tarifs, peut être compensée par une remise forfaitaire de 79 pesos/ha.

On constate également que les transferts de revenus entre les différents types de producteurs sont d'une magnitude extrêmement importante en comparaison de l'analyse statique (tableau VIII).

Tableau VIII. Impact d'une augmentation de 96 % des tarifs électriques assujettis d'une remise forfaitaire sur les revenus actualisés des producteurs (exprimé en % du revenu sous scénario initial).

Montant remise	50	60	79
Puits de type 1	-35	-31,3	-23,6
Puits de type 2	-13	-2,3	+19,9
Puits de type 3	+36	+63,2	+115
η	0,26	0,23	0,2

Une remise forfaitaire, même inférieure aux pertes de profits constatées dans les premières années permet donc de compenser largement le secteur agricole dans son ensemble. Elle permet également des transferts de revenus importants entre les différents types de producteurs, au profit des plus défavorisés, ce qui permet d'ailleurs d'avoir un coefficient de Gini des revenus bien plus favorable avec ce système de remise. La remise forfaitaire permet de ne pas faire de compromis entre efficience et équité des mesures envisagées.

Il reste cependant que les puits de type 1 sont fortement pénalisés par cette dernière mesure. Il s'agit cependant des producteurs initialement les plus favorisés et les plus gros consommateurs d'eau.

Discussion

D'un point de vue méthodologique, nous avons mis en place un modèle très simplifié de fonctionnement d'une nappe. Cela présente l'avantage d'obtenir un ordre d'idée des enjeux de la mise en place d'instruments de gestion de la demande : quels impact sur la ressource, quels impacts sur les producteurs.

Il reste cependant qu'il serait intéressant d'approfondir plusieurs pistes. Tout d'abord, bien qu'ayant poursuivi un raisonnement pluriannuel, nous n'avons pas considéré les investissements des producteurs sur des techniques permettant d'économiser l'eau au fur et à mesure de sa raréfaction, telles que cultures sur billons, aspersion et goutte-à-goutte. Ces adaptations permettraient de retarder d'autant l'entrée en vigueur des augmentations des tarifs. Cependant, elles toucheraient de manière différentielle les différents types de producteurs, en fonction de leurs capacités d'investissement dans ces technologies souvent coûteuses. Nous avons également figé les structures de production de la région. Cependant, quand les puits de type 3 abandonnent l'agriculture irriguée, on pourrait très bien imaginer qu'ils décident de louer leurs terres à des producteurs ayant une meilleure valorisation de l'eau. L'intégration d'un changement de structure dans notre modèle serait donc également à considérer.

Sur le plan des instruments discutés, malgré l'absence d'instruments parfaits de gestion de la demande en eau, nous avons voulu montrer qu'une combinaison « bien dosée » de tarifications et d'incitations permettrait d'établir une gestion efficace de la demande en eau du secteur agricole, tout en préservant les

producteurs les plus vulnérables. Les impératifs de justice sociale ne sont pas sacrifiés au nom de la seule efficience économique.

Cependant, cette combinaison est difficile à mettre en place car toute l'efficacité de la politique réside précisément dans le dosage entre tarifs électriques et remises. Trouver le bon dosage requiert donc qu'un certain nombre de conditions nécessaires soient remplies.

Tout d'abord, les niveaux relatifs des tarifs électriques et des remises sont étroitement liés aux conditions de l'aquifère que l'on cherche à gérer. Or, les décisions de tarification sont prises à un niveau très centralisé, qui ne prendra pas en compte l'hétérogénéité des situations. Cette non-prise en compte de l'hétérogénéité des conditions des aquifères risque donc de créer des transferts monétaires entre producteurs des différents aquifères, selon les mêmes mécanismes que nous avons observé entre producteurs d'un même aquifère. On risque donc de pénaliser inutilement certains producteurs dans des régions où la ressource n'est pas dégradée, pour éviter des problèmes dans les régions où celle-ci est dégradée. Il reste donc à imaginer un système de tarification décentralisée gérée par une institution très centralisée ! Cette tarification suppose donc une nouvelle organisation administrative décentralisée qui risque d'être coûteuse. On rentre alors encore dans les questions de recherche de solution de type second best.

Ensuite, le niveau de la taxation et des remises devrait être flexible et renégociable en fonction de l'évolution du milieu physique. Le risque est grand cependant de voir s'installer la remise vers le secteur agricole comme une rente de situation âprement défendue par le secteur agricole par la suite, même si celle-ci ne s'avérait plus justifiée par la suite.

La tarification électrique avec restitution est un instrument qui nécessite un calibrage fin, car elle permet selon les niveaux respectifs du prix de l'électricité et du montant de la remise, d'avantager tel secteur aux dépens de l'autre, ou tel type d'agriculture aux dépens d'une autre. On imagine donc que le pouvoir de négociation de l'Etat lui-même, mais aussi des différents secteurs d'une part, et des différents types d'acteurs au sein du secteur agricole d'autre part, aura une influence certaine sur les choix de politique finalement adoptés. Le compromis politique trouvé risque donc de représenter plus un « optimum politique » représentatif des forces en présence qu'un optimum économique. Le pouvoir du chercheur en ce domaine reste relativement limité, mais il est certain que la dissémination de l'information sur les enjeux de la négociation et des outils d'évaluation aux différents groupes qui négocieront sera importante.

Références bibliographiques

BALAND J.-M., PLATTEAU J.-P., 1996. Halting degradation of natural resources: Is there a role for rural communities. 2nd edition. Oxford, Oxford University Press, 423 p.

BOLAND J.J., WHITTINGTON D., 2000. The political economy of water tariff design in developing countries: increasing block tariffs versus uniform price with rebate. In A. Dinar (Ed.). The political economy of water pricing reforms. Oxford, Oxford University Press:, p. 105-120.

CEAG, 1999. Plan estatal hidraulico de Guanajuato 2000-2025. Guanajuato (Mexico), Comisión Estatal del Agua de Guanajuato.

CEAG, 2000. Estudios hidrogeológicos y modelos matemáticos de los acuíferos del Estado de Guanajuato. CD-ROM. Guanajuato, Comisión Estatal del Agua de Guanajuato.

CHIANG A.C., 1992. Elements of dynamic optimization. New York, McGraw-Hill International Editions, 327 p.

DARBERA R., 2000. Instruments d'inflexion du parc automobile vers des véhicules moins contributeurs d'émissions de CO2. *In* Séminaire de recherche du programme Gestion et impacts du changement climatique (L'aménagement durable du territoire), Paris, Ecole nationale des Ponts et Chaussées.

FEINERMAN E., 1988. Groundwater management: efficiency and equity considerations. Agricultural Economics, 2 (1) : 1-18.

GILLET V., OLLIVIER I., 2002. Evolution des règles de gestion de l'eau superficielle et souterraine et impact du transfert. Master of Science. Montpellier, Gestion sociale de l'eau, Cnearc, 116 p.

JOURDAIN D., 2004. Impact des politiques visant à réduire la consommation brute en eau des systèmes irrigués : le cas des puits gérés par des collectifs de producteurs au Mexique. Thèse de Doctorat. Montpellier, Faculté des Sciences Economiques, Université Montpellier I , 366 p.

MARTINEZ-ROMERO E., HODSON D., MUCHUGU E., GARCIA H., WHITE J.W., 2001. Guanajuato almanach, version 1.0, CIMMYT, INIFAP, CIRAD.

NEGRI D. H., 1989. The common property aquifer as differential game. Water Resources Research, 25 (1) : 9-15.

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