



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

Evaluation de la fonction de demande en eau d'irrigation et application de la méthode des prix hédonistes

Béatrice MICHALLAND

*Evaluation of
irrigation water
demand and
application
of the hedonic price
method*

Key-words:

*irrigation, water demand,
hedonic price, agricultural
land market, France*

**Evaluation de la
fonction de demande
en eau d'irrigation et
application de la
méthode des prix
hédonistes**

Mots-clés:

*irrigation, économie,
fonction de demande,
méthode hédoniste,
Midi-Pyrénées*

Summary – Usually, water managers allocate water according to “water needs”, which are defined, in the case of irrigation, by the amount of water required to reach a given crop yield. Then, the allocation is calculated as if the water demand was inelastic. This approximation is unacceptable from an efficiency viewpoint. Therefrom, it is important to suggest to water managers economic methods in order to evaluate the water demand function, which links the water unit cost paid by the user to his water consumption.

Five methods are described here to evaluate the irrigation water demand. They differ one from another by the analysis viewpoint (production function or consumption function), the forecast type (short, medium or long term) and the analysis scale (the farm, the irrigation system or the region). The most well-known method consists in modelling the farm production function and in solving the producers' maximisation problem for a given water unit cost. But the water demand function can also be estimated by analysing farm investments, profit function, actual water consumption or agricultural lands' price. The substitution price method and the profit function method are issued from the producer theory. In the case of the substitution price method, a relation between the quantity of capital, work and water actually consumed and the cost of capital and work is searched, assuming that substitutions are possible between capital, work and water. In the case of the profit function method, the quantity of water consumed is supposed to be optimal (maximise the farmer's profit) given the input and output prices and the fixed production factors. On the opposite, the water consumption method and hedonic method focus on the farmer's consumption decisions, in term of either water or agricultural lands.

The article gives more attention to the hedonic method, which has not yet been used in France to estimate the irrigation water demand function. The numerical application presented is based on data from the Midi-Pyrénées region (France). Having no access to a large number of complete individual transaction data, we have preferred to work at a “small agri-regional” scale, for which we could gather simultaneously information on the agricultural land market, agronomic potentialities, space organisation, irrigation practices. Two main hypotheses have been made : 1/ the “small agro-regions” are homogeneous and can be characterised by the mean of the data encountered in that zone, 2/ the irrigation rate is an indicator of the water accessibility level. Studying the agricultural land prices of 61 “small agri-regions” associated to 16 land characteristics' variables gives us two major results : the agricultural land price is lightly correlated to the water accessibility level but it depends essentially on the agronomic soil potentiality (crop yield and potential speculation).

Résumé – Pour intégrer le critère d'efficacité aux choix de gestion de la ressource en eau, il est important de connaître la fonction de demande en eau, c'est-à-dire la fonction qui relie le coût unitaire de l'eau perçu par l'utilisateur et la quantité d'eau consommée. Nous proposons ici cinq méthodes d'évaluation de cette fonction de demande dans le cas de l'usage d'irrigation. Chaque méthode correspond à une échelle de temps et d'espace différente et fait appel à un ensemble spécifique de données. En dehors de la méthode classique, qui consiste à modéliser le fonctionnement d'une exploitation agricole, nous proposons d'estimer la fonction de demande au travers de l'analyse du niveau d'investissement des exploitations, de la fonction de profit de l'agriculteur, des consommations d'eau observées ou du prix des terres agricoles.

Après une présentation de chacune de ces méthodes, nous nous intéresserons plus particulièrement à l'utilisation de la méthode hédoniste pour le calcul de la fonction de demande en eau d'irrigation. Si quelques études américaines du prix de la terre agricole font apparaître des résultats encourageants, l'application de cette méthode dans le contexte français soulève de nombreuses difficultés à la fois pratiques (recueil de données adéquates) et théoriques (hypothèse d'un marché parfait). Une application numérique réalisée à partir des données de la région Midi-Pyrénées est présentée.

* CEMAGREF, Groupement de Clermont-Ferrand, Domaine de Laluas, 63200 Riom

SUITE aux sécheresses de 1989-1991 et aux restrictions de prélèvement d'eau qui furent alors mises en place, notamment en région Midi-Pyrénées, il est apparu important de disposer d'outils d'analyse pour mieux appréhender et gérer les conflits d'usage autour de l'eau. Les questions des gestionnaires sont nombreuses: de quelle manière partager la ressource en eau entre les différents usagers, quelles conséquences directes et indirectes un tel partage peut-il avoir? De quelle manière se prémunir contre les conflits d'usage? Doit-on ou non créer de nouveaux réservoirs pour éviter d'avoir à restreindre les usagers de l'eau? Face à ces questions, un modèle intégrant une représentation hydrologique et économique du bassin versant permet de mettre en évidence les conflits en terme d'intensité et de fréquence et d'évaluer les conséquences économiques d'une règle de gestion (Louck *et al.*, 1981; CACG-CERGRENE, 1994). Pour bâtir un tel modèle, il est nécessaire de connaître la disponibilité en eau (offre d'eau) à chaque instant et les fonctions de demande en eau des divers usagers. Faute d'information concernant les fonctions de demande en eau, le gestionnaire se contente généralement du « besoin en eau », c'est-à-dire de la quantité d'eau nécessaire pour atteindre un objectif donné. Dans le cas de l'irrigation par exemple, ce « besoin » est calculé en référence à un objectif de rendement: on multiplie la surface irriguée (actuelle ou future) par la quantité d'eau nécessaire à une bonne alimentation des plantes. Cette approche revient à considérer la demande en eau comme indépendante du coût marginal de l'eau et à ignorer le critère d'efficacité économique. Afin de mieux intégrer le critère d'efficacité à la gestion de l'eau, diverses méthodes d'évaluation de la fonction de demande en eau peuvent être envisagées. Nous en avons distingué cinq.

L'exposé des principes et des hypothèses de chacune de ces méthodes d'évaluation fait l'objet de la première partie de cet article. La seconde présente, pour l'une d'entre elles, une application numérique réalisée à partir de données de la région Midi-Pyrénées. Nous avons retenu ici l'analyse hédoniste, encore peu utilisée en France, et dont l'application au domaine de l'irrigation n'avait pas encore été expérimentée⁽¹⁾.

FONCTION DE DEMANDE EN EAU, MÉTHODES D'ÉVALUATION

La fonction de demande en eau d'irrigation, qui relie coût de l'eau perçu par l'agriculteur et quantité d'eau consommée, est le résultat d'un arbitrage entre différentes combinaisons possibles d'activités au sein de

⁽¹⁾ L'auteur remercie les deux rapporteurs et le comité de rédaction des *Cahiers d'économie et sociologie rurales* pour les nombreuses critiques qui l'ont conduit à approfondir les calculs présentés ci-dessous et à préciser certains points.

l'exploitation. Elle dépend de nombreux facteurs qui vont de la structure de l'exploitation au prix des produits agricoles, en passant par le coût de l'eau perçu par l'agriculteur. Ce coût résulte des charges liées à la mobilisation de l'eau, à son transport et sa distribution (frais de fonctionnement et de gestion) et des coûts d'investissement nécessaires à l'irrigation (matériel d'irrigation, pompe, réseau). Ce coût perçu n'englobe pas nécessairement l'ensemble des coûts⁽²⁾.

Les ajustements de la demande en eau d'irrigation aux modifications du contexte économique et climatique dépendent des délais impartis. A très court terme (quelques semaines à quelques mois), les décisions de l'agriculteur se limitent au choix d'une conduite de l'irrigation, étant donné l'assolement choisi antérieurement, les équipements disponibles (débit souscrit, débit d'équipement...), les contraintes de l'exploitation (main-d'œuvre), et l'environnement extérieur (prix agricoles, potentialité du sol et des plantes, conditions climatiques). A court-moyen terme (une année), l'agriculteur choisit à la fois son assolement, la conduite de l'irrigation et éventuellement le type de contrat d'irrigation si celui-ci peut être modifié, étant donné son équipement. La demande en eau dépend alors des contraintes de l'exploitation (équipement, main-d'œuvre), des potentialités des plantes et du sol ainsi que du besoin en eau des plantes, du prix des cultures irriguées et non irriguées, du coût marginal d'un mètre cube d'eau et éventuellement du coût d'un quota d'eau supplémentaire. A long terme (quelques années), la marge de manœuvre de l'agriculteur est beaucoup plus importante. Il peut entre autres acheter de la terre ou investir dans un équipement d'irrigation. Sa demande en eau d'irrigation est fonction non seulement du coût marginal de moyen terme d'un mètre cube d'eau mais de l'ensemble du coût d'accès à l'eau (charges d'investissement et charges de fonctionnement).

Pour évaluer la fonction de demande en eau, l'approche classique consiste à construire la fonction de production de l'agriculteur et à résoudre le problème de maximisation du revenu du producteur étant donné le coût de l'eau. En dehors de cette approche classique, bien connue des économistes agricoles, quatre autres approches peuvent être théoriquement envisagées. Chacune correspond à un angle d'analyse (fonction de production ou fonction de consommation), un horizon d'analyse (très court, court-moyen ou long terme) et une échelle d'analyse (exploitation, groupe d'exploitations ou région) (tableau 1). Les méthodes **prix de substitution** et **fonction de profit** se réfèrent à la théorie de la production. Dans un cas, on s'appuie sur l'hypothèse de substitutions possibles entre capital, travail et eau, pour analyser la place de l'eau étant données les consommations effectives de capital et de travail. Dans l'autre cas, on suppose que l'agriculteur a choisi la combinaison de facteurs qui maximise son profit et que celui-ci peut être estimé

⁽²⁾ Le coût d'opportunité de l'eau lié à la rareté de cette ressource naturelle est, notamment, rarement pris en compte par l'agriculteur.

en fonction du prix des intrants et extrants, de la quantité de facteurs fixes et de la quantité de biens non marchands, dont le bien « eau ». Les deux autres méthodes, **analyse des consommations** et **analyse hédoniste**, s'intéressent quant à elles au résultat des décisions des agriculteurs, soit directement en terme de consommation d'eau, soit indirectement en terme de demande foncière. La méthode **analyse des consommations** consiste à observer les consommations en eau réalisées sur des exploitations agricoles similaires mais pour lesquelles le coût de l'eau est différent. Enfin, la méthode hédoniste permet d'étudier la variation du prix de la terre agricole en fonction de l'accessibilité à l'eau.

Tableau 1. Méthodes d'évaluation de la fonction de demande en eau d'irrigation

		Très court terme	Court-moyen terme	Long terme
Fonction de production	Approche « primale »	Modèle d'exploitation agricole <i>Choix d'un mode de conduite</i> <i>choix d'assolement</i> <i>Choix d'activités et d'équipement</i>		
	Minimisation des coûts restreints			Prix fictif de substitution
	Approche «duale»	Fonction de profit		
Fonction de consommation	Analyse directe	Analyse des consommations en eau		
	Analyse indirecte			Analyse hédoniste du prix de la terre

Nous présentons ici brièvement chacune de ces cinq méthodes.

Méthodes fondées sur la fonction de production

Pour estimer la fonction de demande en eau d'irrigation à partir de la fonction de production de l'agriculteur, trois types de calcul sont envisageables :

- le calcul du plan de production qui maximise la fonction objectif de l'agriculteur sous les diverses contraintes de production,
- la recherche de la combinaison optimale capital/travail/eau qui minimise le coût de production,
- l'estimation de la fonction de profit exprimée en fonction du prix des facteurs de production, du prix des produits, de la quantité de facteurs fixes et de la quantité de biens non marchands.

Dans le premier cas, l'essentiel du travail consiste à spécifier convenablement les facteurs de production, la fonction de production, les contraintes et la fonction objectif. Ceci nécessite de comprendre quels sont les choix qui s'offrent à l'agriculteur, quelles sont ses contraintes,

quels sont ses motivations et son objectif de production, quels sont les arbitrages entre court et long terme, consommation immédiate et investissement et de quelle manière il prend en compte les incertitudes climatiques et économiques. Pour calculer la fonction de demande de très court terme, on suppose que l'unique variable de contrôle est la quantité d'eau apportée et que toutes les autres variables sont fixes. On cherche alors à modéliser la relation qui existe entre dose d'eau et marge brute à travers une fonction de rendement des plantes. Pour le calcul à moyen terme, la variable de contrôle principale sera l'assolement et à long terme, le dimensionnement du système d'irrigation ainsi que l'assolement⁽³⁾.

Cette méthode est bien connue des économistes agricoles. Elle a fait l'objet de nombreuses recherches et a été fréquemment utilisée pour évaluer les effets d'une politique agricole sur le niveau de consommation et de production et/ou sur la pollution, mais aussi pour évaluer les besoins en eau dans un contexte donné. La difficulté principale de cette méthode est de spécifier convenablement le modèle (choix des variables de décision, des contraintes et de la fonction objectif) et de déterminer les paramètres du modèle (matrice des coefficients techniques).

Dans le second cas, on suppose que :

- l'objectif d'irrigation (dit « niveau d'humidification » correspondant à la quantité d'eau efficace pour la croissance de la plante) est fixé indépendamment du choix des autres facteurs de production ;
- l'agriculteur a le choix entre diverses techniques d'irrigation plus ou moins consommatrices en capital, main-d'œuvre et eau⁽⁴⁾ ;
- la technique d'irrigation retenue minimise la fonction de coût sous la contrainte du niveau d'humidification requis.

Etant données une culture i et une zone agricole homogène du point de vue des objectifs de production et des données pédo-climatiques, on « approximerait » l'objectif d'humidification, noté H'_0 , par une fonction du type $H'_0 = E^\alpha K^\beta L^\theta$ avec E la consommation d'eau, K le niveau de capital, L la main-d'œuvre, et α, β, θ des coefficients tels que $\alpha + \beta + \theta = 1$.

La minimisation du coût de production conduit l'agriculteur à choisir la combinaison optimale eau/capital/travail solution du problème suivant :

⁽³⁾ On pourra se reporter aux articles suivants pour trouver des exemples de modèles d'exploitation prenant en compte les décisions d'irrigation (Boussard, 1970 ; Leroy et Jacquin, 1991 ; Bouzit *et al.*, 1993 ; CACG, 1993 ; Rieu, Gleyses, 1993 ; Flichman *et al.*, 1994). Cette liste n'est pas exhaustive et se limite aux modèles français.

⁽⁴⁾ On suppose ainsi que l'agriculteur peut choisir indifféremment une technique d'irrigation par gravité, aspersion, pivot ou goutte-à-goutte. La technique d'arrosage par gravité demande peu d'investissement, beaucoup d'eau et de nombreuses interventions manuelles. A l'opposé, la technique de goutte-à-goutte est économe en eau. Elle peut être entièrement automatisée, mais elle nécessite par contre des investissements financiers lourds.

$$\min_{E, K, L} (p_e E + p_k K + p_l L) \text{ sous contrainte } H_0^i = E^\alpha K^\beta L^\theta$$

avec p_e le prix unitaire de l'eau, p_k le coût unitaire du capital, p_l le prix unitaire de la main-d'œuvre.

En calculant les conditions de premier ordre, on obtient une expression donnant la valeur implicite du prix de l'eau en fonction du travail, du capital investi, de la consommation d'eau et des prix de la main-d'œuvre et du capital⁽⁵⁾. Pour estimer la fonction de demande à l'échelle régionale, on peut alors agréger les fonctions de demande à partir de la distribution des surfaces irriguées par niveau de technologie K et de travail L ⁽⁶⁾.

Les hypothèses propres à cette méthode restent fort discutables. Tout d'abord, tous les agriculteurs n'ont pas la possibilité de choisir parmi l'ensemble des techniques d'irrigation existantes en raison des contraintes inhérentes à leur situation (pression, débit, mode de distribution). Enfin, le choix d'un investissement est simultanément au choix d'assolement et de conduite d'irrigation, il ne vient pas dans un second temps comme le laisse supposer le modèle.

Enfin, dans le troisième cas, au lieu de rechercher la combinaison optimale des facteurs de production, on cherche à estimer la fonction de profit, en supposant que l'agriculteur adopte un jeu d'activités qui lui permet de maximiser son profit étant donnés les prix des facteurs de production et les prix des produits agricoles. Plus précisément, on cherche la fonction de profit $\pi(p_i, p_o, E, Z)$ résultat du choix optimum du plan de production, étant donnés le vecteur de prix des intrants p_i , le vecteur de prix des extrants p_o , la quantité d'eau disponible E , et la quantité de facteurs fixes Z . Dans cette formulation, le facteur de production « eau », E , correspond à la ressource en eau non encore « transformée », c'est-à-dire dans son milieu naturel. Les différentes opérations nécessaires pour son utilisation (stockage, transport, mise sous pression) sont caractérisées par d'autres facteurs de production marchands, comme le facteur énergie et le facteur équipement.

Une fois connue la fonction de profit $\pi()$, on calcule la valeur marginale de l'eau en tant que ressource naturelle par dérivation partielle de $\pi()$. La méthode peut être appliquée avec une précision plus ou moins importante (Desaigues et Point, 1993). Cette méthode nécessite de disposer de données détaillées concernant le prix des intrants et des extrants, la disponibilité en eau, la quantité de facteurs fixes pour chaque exploitation agri-

⁽⁵⁾
$$p_o = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \frac{p_k K + p_l L}{E}$$

⁽⁶⁾ L'application de cette méthode a été réalisée en France à partir des informations collectées en 1982 dans les Bouches-du-Rhône (enquête Irrigation du SCEES) et de données techniques concernant la plaine de la Durance (Point, 1988; Desaigues et Point, 1993).

cole et ceci pour un nombre relativement important d'exploitations. Or les statistiques agricoles privilégient généralement les quantités aux prix, ce qui rend difficile l'application de cette méthode (Michalland, 1995).

Méthodes fondées sur la fonction de consommation

Dans le cas des méthodes d'évaluation de la fonction de demande en eau d'irrigation fondée sur la fonction de consommation des agriculteurs, on s'intéressera soit directement à la consommation d'eau, soit indirectement à celle d'un bien complémentaire, telle la terre agricole.

La méthode des « consommations d'eau » consiste à déterminer une relation entre consommation en eau observée et coût perçu de l'eau. Cette méthode économétrique, qui présente l'avantage d'intégrer la flexibilité du système de production et l'ensemble des objectifs de l'agriculteur, a jusqu'à présent été très peu utilisée. Même si aux Etats-Unis, on rencontre quelques applications de cette méthode⁽⁷⁾, aucune étude de ce type n'a pu être recensée en France dans le domaine de l'irrigation⁽⁸⁾. Le peu de données disponibles sur les consommations en eau⁽⁹⁾ expliquent probablement le peu d'intérêt des économistes pour cette méthode.

Pour calculer la fonction de demande en eau à moyen terme, c'est-à-dire à équipement donné, le plus simple serait de disposer de données de consommation en eau pour des coûts marginaux différents, toutes choses étant égales par ailleurs. De telles données n'existent malheureusement pas du fait d'une hétérogénéité temporelle (évolution du contexte économique, variabilité climatique) et d'une hétérogénéité entre exploitations, chacune ayant ses propres caractéristiques. La seule solution consiste donc à construire une relation entre la consommation en eau, le coût marginal et les autres facteurs. Pour ce faire, deux types d'analyse peuvent être menés : une analyse temporelle à partir de données de consommation d'une même exploitation pour différentes années, une analyse spatiale à partir de données de consommation de différentes exploitations au cours d'une même année. L'analyse temporelle présente trois difficultés. Tout d'abord, les prix et primes agricoles varient d'une année à l'autre et modifient de façon importante les choix d'assolement. Les conditions climatiques, et par conséquent le besoin des plantes, sont aléatoires. Enfin, il est très rare d'observer des variations de coûts marginaux de l'eau au cours du

⁽⁷⁾ On peut citer à titre d'exemple deux études portant sur l'estimation de l'élasticité de la demande en eau d'irrigation au coût de l'énergie électrique : Ogg et Gollehon (1989) et Connor *et al.* (1989).

⁽⁸⁾ Dans le domaine de l'eau potable, on peut, par contre, citer quelques recherches récentes : Point (1993), Boistard (1993).

⁽⁹⁾ Il existe bien des données de consommation d'eau au niveau des compagnies d'aménagement, mais celles-ci ne sont pas toujours individualisées et lorsqu'elles le sont, il est rare d'observer conjointement des variations de tarif. L'exploitation des quelques données disponibles devient alors difficile.

temps, si ce n'est la légère augmentation du coût de l'énergie. L'analyse spatiale permet, quant à elle, de s'affranchir de l'évolution des prix et primes agricoles, et de disposer d'une fourchette de coûts marginaux plus large. Par contre, elle nécessite de prendre en compte les facteurs propres à l'exploitation et à son environnement (données pédo-climatiques, taille de l'exploitation ...). Le travail consiste alors à trouver une relation entre données propres à l'exploitation, données régionales, coût marginal de l'eau et consommation annuelle en eau. Appliquée au cas des réseaux de Midi-Pyrénées (Michalland, 1995), cette méthode confirme le fait que la demande est très faiblement élastique au prix de l'eau dans la situation actuelle (coût marginal inférieur à $0,4 \text{ F/m}^3$). Pour vérifier l'intérêt de la méthode, de nouvelles études mériteraient d'être conduites.

La cinquième méthode d'évaluation, la méthode hédoniste, repose sur le constat qu'un bien de consommation ou facteur de production non homogène, c'est-à-dire avec des caractéristiques distinctes, n'a pas un prix uniforme sur le marché. Cette méthode consiste à analyser de quelle manière le différentiel de prix entre des biens ou facteurs différenciés constitue une information sur le prix implicite (ou hédoniste) attribuable aux différentes caractéristiques de ce bien afin de construire, de façon indirecte, la fonction de demande propre à chacune de ces caractéristiques. Depuis l'article de Rosen (1974), de nombreux économistes de l'environnement ont repris cette méthode pour évaluer la demande implicite de qualité de l'environnement (pollution de l'air, qualité de l'eau, qualité du paysage) et de sécurité (inondabilité, risques technologiques). Si les exemples les plus fréquents font référence à un bien de consommation différencié (habitation, voiture ...), la méthode s'applique aussi aux biens de production différenciés (travail, terre agricole) (Palmquist, 1991).

L'application de la méthode hédoniste au cas de la terre agricole devrait théoriquement nous conduire à estimer la fonction de demande en eau régionale, à moyenne et longue échéance, en terme d'« accessibilité à l'eau », et non pas en terme de volume, comme avec les autres méthodes d'évaluation. De telles expériences ont été tentées aux Etats-Unis avec un relatif succès (Xu *et al.*, 1993 ; Torell *et al.*, 1990). En France, par contre, aucune étude de ce type n'a été menée dans ce sens, jusqu'à présent. Nous avons donc essayé d'appliquer cette méthode au contexte français : c'est l'objet de la seconde partie de cet article.

Le tableau 2 permet de résumer ce qui précède, il compare les méthodes théoriquement disponibles pour évaluer la fonction de demande en eau. Les différences d'approche et d'hypothèses conduisent à préférer l'une ou l'autre des méthodes, selon les besoins et les données disponibles. En dehors de l'horizon d'analyse, les différences principales portent sur :

- l'échelle d'analyse visée et la prise en compte plus ou moins fine des hétérogénéités entre exploitations,
- la prise en compte du risque.

Tableau 2. Hypothèses, caractéristiques, avantages et difficultés liés à chaque méthode d'évaluation

<i>Méthode</i>	<i>Hypothèses et caractéristiques</i>	<i>Avantages</i>	<i>Difficultés rencontrées</i>
Modélisation des exploitations	<ul style="list-style-type: none"> • rationalité de type entrepreneur (maximisation du revenu) dans la plupart des modèles • connaissance par l'exploitant des relations techniques <ul style="list-style-type: none"> ◦ <i>échelle de l'exploitation</i> ◦ <i>court, moyen ou long terme</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • résultat précis et complet avec possibilité de tester différentes hypothèses • possibilité de modéliser les aléas et l'attitude de l'exploitant face au risque • existence des programmes informatiques adaptés à ce type de modèle 	<ul style="list-style-type: none"> • détermination de la zone de validité du modèle • extrapolation au niveau régional
Prix fictif de substitution	<ul style="list-style-type: none"> • niveau d'irrigation fixé à priori (surface et niveau d'humidification), on ne s'intéresse qu'à l'arbitrage entre capital, travail, eau <ul style="list-style-type: none"> ◦ <i>échelle de la parcelle agrégée à l'échelle de la région</i> ◦ <i>long terme</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • calcul à long terme • prise en compte des différentes techniques d'irrigation 	<ul style="list-style-type: none"> • hypothèses trop restrictives: les choix technologiques de l'agriculteur sont fréquemment limités par des contraintes extérieures (dimensionnement de réseau...) • données insuffisantes (notamment niveau d'investissement et quantité de travail liée à l'irrigation)
Fonction de profit	<ul style="list-style-type: none"> • rationalité de type entrepreneur <ul style="list-style-type: none"> ◦ <i>échelle de l'exploitation</i> ◦ <i>moyen-long terme</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • aucun besoin de comprendre le fonctionnement de l'exploitation • analyse faite à partir de données limitées et a priori accessibles (prix des intrants, des extrants, profit, facteurs fixes, consommation d'eau) 	<ul style="list-style-type: none"> • calcul réalisé dans des conditions climatiques données. Il ne prend donc pas en compte de façon globale l'aléa climatique. • données insuffisamment précises à l'échelle de l'exploitation (notamment consommation en eau, prix des intrants et extrants spécifiques à chaque exploitation)
Analyse des consommations	<ul style="list-style-type: none"> • homogénéité de comportement des exploitants <ul style="list-style-type: none"> ◦ <i>échelle de l'exploitation ou du réseau</i> ◦ <i>moyen terme</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • observation directe qui ne nécessite aucune hypothèse forte 	<ul style="list-style-type: none"> • hétérogénéité des exploitations • manque de données (notamment consommation en eau) • fourchette de coûts marginaux réduite ne permettant pas d'apprécier les différences de comportement
Analyse hédoniste	<ul style="list-style-type: none"> • existence d'un marché de la terre agricole parfait <ul style="list-style-type: none"> ◦ <i>échelle de la région</i> ◦ <i>long terme</i> ◦ <i>évaluation en terme d'accessibilité et non de quantité d'eau (plus-value à l'hectare)</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • calcul à l'échelle régionale sans prise en compte de l'hétérogénéité des exploitations • le risque sur les plus-values agricoles est intégré au prix • d'achat de la terre • aucun besoin d'analyse technique du fonctionnement des exploitations ou des techniques d'irrigation 	<ul style="list-style-type: none"> • données insuffisantes à l'échelle régionale (volume des transactions...) et non disponibles à l'échelle de la parcelle • marché non parfait • existence de nombreux facteurs explicatifs beaucoup plus significatifs

Dans le cas de l'analyse des consommations, de la fonction de profit ou de la modélisation des exploitations, on suppose que toutes les exploitations ont la même forme de fonction de demande ou de profit, c'est-à-dire qu'elles ont un comportement homogène. Pour être plus précis, il est possible de construire une typologie d'exploitations, de calculer la fonction de demande en eau pour les exploitations d'un même type puis d'agréger les résultats au niveau de la région agricole considérée⁽¹⁰⁾. Dans le cas des prix fictifs de substitution, on suppose que le choix d'une conduite d'irrigation est indépendant de la structure de l'exploitation et que seuls les moyens pour atteindre le niveau d'humidification objectif dépendent des caractéristiques de chaque exploitation. On suppose donc qu'au niveau régional il y a homogénéité des objectifs d'irrigation et hétérogénéité des conditions d'irrigation (coût du capital, du travail, disponibilité en eau). Enfin, dans le cas de l'analyse hédoniste, l'analyse se situe directement à l'échelle régionale (échelle du marché des terres agricoles) sans se préoccuper des caractéristiques propres des exploitations. Pour ce qui est de la prise en compte du risque, seules l'analyse hédoniste et l'analyse des consommations en terme de contrat de fourniture d'eau ou de volume disponible intègrent de façon implicite les anticipations des agriculteurs face aux aléas économiques et climatiques. Pour que la modélisation des exploitations prennent en compte les risques, il est indispensable de caractériser les différents types de risque par une fonction aléatoire ou incertaine et d'utiliser une fonction objectif, non pas égale au revenu moyen mais à l'utilité de l'agent en univers incertain⁽¹¹⁾. La fonction de profit et l'analyse des consommations en terme de volume annuel consommé permettent de déterminer la fonction de demande pour une année climatique donnée, sans qu'il soit possible de déceler les mesures prises par l'agriculteur pour se prémunir contre les risques climatiques. Enfin, le prix fictif de substitution s'appuie sur des données moyennes qui ne prennent pas en compte le risque climatique.

UTILISATION DE LA MÉTHODE HÉDONISTE

Application de la méthode au cas du prix des terres agricoles

Une terre « irrigable », dans le sens où elle dispose d'un accès à l'eau⁽¹²⁾, procure à l'agriculteur trois avantages. Elle lui permet de choisir

⁽¹⁰⁾ Pour les questions de typologie et d'agrégation, voir les travaux du CEMAGREF Montpellier (Palacio *et al.*, 1995 ; Lamonerie, 1992).

⁽¹¹⁾ La détermination de cette fonction d'utilité reste une tâche difficile. Voir à ce sujet Bouzit *et al.* (1993), Rieu et Palacio (1994) et Bouzit (1995).

⁽¹²⁾ L'accessibilité à une ressource recouvre un caractère juridique, autorisation de pompage, et un caractère physique, disponibilité en eau. Elle peut évoluer dans le temps en fonction des aménagements. Le branchement à un canal d'irrigation, le forage d'un puits, la création d'une retenue collinaire sont autant de travaux qui font d'une terre labourable une terre irrigable, sans pour autant être équipée ou irriguée.

son assolement dans une gamme élargie de spéculations. Deuxième avantage, l'accessibilité à l'eau lui permet d'avoir accès à certains types de contrats de production telle que la production de semences ou de légumes pour les conserveries qui imposent parfois aux agriculteurs de disposer d'un système d'irrigation. Enfin, cela permet d'assurer une plus forte régularité de revenu⁽¹³⁾. Ces avantages font qu'une terre « irrigable » est plus convoitée qu'une terre non irrigable, c'est-à-dire ne disposant ni de rivière proche, ni de nappe, ni de ressource propre (retenue collinaire, étang) et n'étant pas reliée à un réseau. Ceci se traduit, toutes choses égales par ailleurs, par un prix d'achat de la terre « irrigable » plus élevé que celui de la terre non irrigable ; la différence de prix étant un indicateur de la valeur implicite de l'« accessibilité à l'eau ». Cependant, la comparaison directe entre le prix d'une terre irrigable et d'une terre non irrigable ne permet pas, de façon générale, d'estimer cette valeur implicite du fait des autres caractéristiques qui entrent dans la constitution du prix de la terre. Il sera donc important d'identifier l'ensemble des facteurs ayant une incidence sur le prix de la terre, puis d'estimer la fonction de prix pour ensuite calculer la dérivée partielle de la fonction prix de la terre par rapport à la caractéristique « accessibilité à l'eau ».

Soient $Z = (z_1, \dots, z_j, \dots, z_n)$ le vecteur des caractéristiques de la parcelle vendue avec z_j la caractéristique « accessibilité à l'eau », et $P(Z)$ la fonction prix de la terre, on pourra, dans une première approximation⁽¹⁴⁾, considérer que la fonction de demande implicite pour la caractéristique « accessibilité à l'eau », est égale à $\partial P / \partial z_j$ (Rosen, 1974).

Les facteurs explicatifs du prix de la terre peuvent être regroupés selon trois catégories en relation avec les trois composantes de la valeur de la terre : la valeur de production, la valeur de consommation et la valeur spéculative (Xu *et al.*, 1993). La valeur de consommation correspond au désir de « *toucher, sentir et profiter de la terre* » (Pope et Goodwin, 1984). La valeur spéculative dépend de la localisation du terrain et peut être forte dans des zones de forte urbanisation⁽¹⁵⁾. Cependant, la terre agricole étant avant tout un facteur de production, la composante valeur de production prime généralement sur les autres. A l'achat, cette valeur de

⁽¹³⁾ Ce point reste discutable. En effet, s'il est possible d'observer un effet régulateur de l'irrigation sur le rendement des grandes cultures et sur la marge brute de celles-ci, tout du moins en terme relatif, les effets sur le revenu de l'exploitation sont moins nets. Les exploitations non irriguées utilisent d'autres stratégies pour diminuer la variabilité de leur revenu, comme par exemple la présence d'un atelier d'élevage ou un assolement diversifié. D'autre part, les exploitations pratiquant l'irrigation deviennent excessivement sensibles à une forte sécheresse qui les priverait partiellement d'eau pour l'irrigation (Michalland, 1995).

⁽¹⁴⁾ L'approximation est juste dans le cas où tous les consommateurs sont identiques (même fonction d'utilité, même caractéristique économique et même contrainte budgétaire). Dans le cas inverse, il sera nécessaire de distinguer chaque type de consommateur (Desaigues et Point, 1993).

⁽¹⁵⁾ La valeur spéculative dépend de la localisation de la terre et surtout des servitudes (non constructible, droit de passage ou pâturage ...).

production correspond à la somme des espérances de gain actualisée. Elle dépend donc de l'espérance de gain, de l'horizon de planification et du taux d'actualisation. Le gain escompté dépend, quant à lui, de trois critères, la productivité de la terre, l'accessibilité au marché et la situation géographique (parcellaire et distance par rapport au centre de l'exploitation) (tableau 3). La productivité de la terre a un impact direct sur le type de culture que l'agriculteur pourra mettre en place et sur la production qu'il peut en attendre. L'accès aux marchés aura une influence sur le niveau des prix agricoles qu'il peut espérer. Dans une zone dynamique, la présence de coopératives d'achat pourra dans certains cas permettre à l'agriculteur d'obtenir un prix de vente plus élevé que le prix moyen. Aux environs d'une grande agglomération, l'agriculteur trouvera plus facilement des débouchés pour des produits maraîchers. Enfin, la taille de la parcelle, sa localisation par rapport aux autres parcelles et par rapport au centre de l'exploitation aura une incidence directe sur les temps de trajet et donc sur la contrainte globale de main-d'œuvre de l'exploitation. A cette classification, il est possible de superposer la classification proposée par Palmquist (1989), qui distingue les caractéristiques exogènes et les caractéristiques modifiables. L'offre de caractéristiques exogènes est considérée comme fixe, sa valeur hédoniste dépend donc uniquement de la demande, alors que la valeur hédoniste des caractéristiques modifiables est le résultat d'un équilibre offre-demande.

La caractéristique «accessibilité à l'eau» est relativement difficile à cerner. Elle dépend en effet à la fois des caractéristiques endogènes au site (présence d'une nappe, d'une rivière) et des équipements réalisés (retenue, canal, conduite). Elle est donc en partie exogène et modifiable.

Tableau 3. Caractéristiques des terres agricoles classées selon leur nature et leurs effets

<i>Effet</i>	<i>Productivité de la terre</i>	<i>Marché spécifique</i>	<i>Structure du parcellaire</i>
<i>Nature</i>			
exogène	<ul style="list-style-type: none"> • type de sol • structure du sol • profondeur du sol • topographie • climat (température, ensoleillement, précipitation) 	<ul style="list-style-type: none"> • distance à un bassin de consommation • présence de marchés spécialisés • politique régionale agricole (aides particulières) 	<ul style="list-style-type: none"> • taille de la parcelle • distance par rapport aux autres parcelles déjà acquises • distance par rapport au centre de l'exploitation
	<ul style="list-style-type: none"> • accès à l'eau 		
modifiable	<ul style="list-style-type: none"> • système d'irrigation • drainage • Ph • vitesse d'érosion 		

Après avoir rassemblé les valeurs de transaction des terres agricoles sur une zone et une période de temps données, tout le travail consistera à sélectionner les caractéristiques à prendre en compte, à déterminer les

valeurs prises par ces caractéristiques pour chacune des transactions, puis à construire la fonction prix de la terre.

Exemples d'application

La plupart des applications de la méthode des prix hédonistes concernent l'évaluation de la qualité de l'environnement. Quelques économistes ont cependant utilisé cette technique pour évaluer la valeur implicite de l'eau d'irrigation. On peut notamment citer deux études récentes, celle de Xu, Mittelhammer et Barkley (1993) et celle de Torell, Libbin et Miller (1990). Dans l'étude de Xu *et al.*, la spécification des variables relatives à l'irrigation est fruste, par contre la forme fonctionnelle est étudiée avec précision. Torell *et al.*, de leur côté, cherchent à expliciter l'ensemble des variables caractérisant l'irrigation et se contentent d'une forme fonctionnelle simple.

Pour construire la fonction prix de la terre, Xu *et al.* (1993) ont retenu dix-huit variables explicatives dont trois servent à caractériser l'irrigation: la proportion de la surface totale irriguée par pivot, la proportion de la surface totale irriguée par asperseur, la proportion de la surface totale irriguée par irrigation de surface. Après avoir rassemblé les valeurs prises par ces dix-huit variables pour 905 transactions de terres agricoles réalisées entre 1980 et 1987 dans six régions de l'État de Washington, Xu *et al.* ont testé différentes formes fonctionnelles pour finalement en retenir une relativement complexe⁽¹⁶⁾. Les résultats pour les six régions étudiées font

⁽¹⁶⁾ La forme fonctionnelle retenue est la suivante:

$$P = TOTACRES^{\alpha_0} \delta^{TIME} \left[\begin{aligned} &\beta_0 + \beta_1 GI + \beta_2 \ln(DTOWN) + \\ &\beta_3 \ln(LNDCAP) + \beta_4 WDBK + \\ &\sum_j \beta_5 SIZEB_j \ln(\beta_6 - AGEB_j) + \\ &\beta_7 NUMP \ln(\beta_8 - AGEP) + \\ &\beta_9 IRRICP + \beta_{10} IRRISP + \beta_{11} IRRIR + \\ &\beta_{12} PASTURE + \sum_i \beta_i CNTY_i \end{aligned} \right] + \left[\begin{aligned} &\beta_{13} SIZEH \ln(\beta_{14} - AGEH) + \\ &\beta_{15} MACH \end{aligned} \right]$$

avec P le prix de vente y compris le prix du matériel ramené à l'acre, $TOTACRES$ la taille de la parcelle en acre, $TIME$ la date de la transaction indexée par mois de 1 à 96 (Janv. 80=1), GI le revenu brut par acre, estimé à partir des marges brutes moyennes de la région et du type de culture en place sur la parcelle, $PASTURE$ la proportion de la terre en prairie, $CNTY_j$ une variable mannequin pour caractériser la région, $DTOWN$ la distance du « bassin de vie » le plus proche en miles, $LND-CAP$ la classe de fertilité du sol selon l'échelle du Soil Conservation Service, $WDBK$ la longueur de coupe vent ramenée au nombre d'acre, $NUMP$ le nombre de places dans la salle de traite ramenée au nombre d'acre, $AGEP$ l'âge de la salle de traite en années, $IRRICP$ la proportion de la surface totale irriguée par pivot, $IRRISP$ la proportion de la surface totale irriguée par asperseur, $IRRIR$ la proportion de la surface totale irriguée par irrigation de surface, $SIZEB_i$ la taille de l'étable i en m^2 ramenée au nombre d'acres, $AGEB_i$ l'âge de l'étable i en années, $SIZEH$ la taille de la maison en m^2 ramenée au nombre d'acres, $AGEH$ l'âge de la maison en années, $MACH$ la valeur du matériel agricole de l'exploitation ramenée à la surface.

apparaître, en ce qui concerne l'irrigation, une forte variabilité de la valeur marginale de l'irrigation entre régions (cette valeur varie de 505 \$/ha à 2037 \$/ha). Ils constatent d'autre part que cette valeur varie avec la technique d'irrigation : dans une des six régions où les trois systèmes d'irrigation sont présents, elle est de 635 \$/ha pour un hectare irrigué par pivot, de 572 \$/ha par asperseur et de 512 \$/ha par surface.

En traitant de façon globale la caractéristique « accessibilité à l'eau » et « système d'irrigation », le travail de Xu *et al.* ne permet pas de mettre en évidence la valeur implicite de l'eau en tant que ressource naturelle. Le travail de Torell *et al.* est en ce sens beaucoup plus satisfaisant.

La nappe aquifère, sur laquelle ont été répertoriées 7 200 ventes de terre entre 1976 et 1986, n'est pas accessible de la même façon en tout lieu et ne présente pas une épaisseur homogène. La possibilité d'irriguer a ainsi été caractérisée par trois variables : l'épaisseur de la nappe, la profondeur de la nappe et le coefficient de saturation. Les équipements d'irrigation vendus avec la terre n'ont pu être déduits du prix de vente et sont par conséquent inclus de façon moyenne à la valeur marginale de l'eau. A la différence de l'étude de Xu *et al.*, Torell *et al.* estiment deux fonctions de prix hédonistes, une fonction pour les ventes de terres non irriguées et une fonction pour les terres irriguées. La différence entre ces deux fonctions de prix hédonistes, toutes choses égales par ailleurs, permet alors de calculer la valeur de quasi-rente de l'eau.

Les variables utilisées ainsi que les deux formes fonctionnelles sont présentées ci-dessous.

Tableau 4. Variables de la fonction de prix hédonistes retenues par Torell *et al.*

Variables	Définition
<i>P</i>	Prix de vente y compris le prix du matériel ramené à l'acre (observée)
<i>HBVALUE</i>	Valeur estimée des bâtiments ramenée à l'acre
<i>TIME</i>	Date de la transaction indexée par mois (Janv. 79=1)
<i>STATE_i</i>	Variables mannequin pour caractériser l'État dans lequel se trouve d'exploitation
<i>STATTIME_i</i>	Égale à <i>STATE_i</i> x <i>TIME</i>
<i>SIZE</i>	Taille de la parcelle en acre
<i>EARNINGS</i>	Espérance de gain annuel escompté estimé au moment de l'achat à partir de la moyenne de marge brute obtenue sur l'exploitation les 3 années précédant l'achat
<i>PRECIP</i>	Moyenne annuelle des précipitations de la zone
<i>RECHARGE</i>	Variable indiquant si la nappe se recharge ou non au niveau de la parcelle
<i>NIR</i>	Besoin en eau d'irrigation pour la culture majoritaire de la zone
<i>DEPTH</i>	Profondeur de la nappe
<i>SATTHICK</i>	Épaisseur de la nappe
<i>YIELD</i>	Niveau de saturation de la nappe
<i>WATER</i>	Quantité d'eau disponible pour l'irrigation égale à <i>YIELD</i> x <i>SATTHICK</i>

$$P_{SEC} = \beta_0 + \beta_1 HBVALUE + \beta_2 SIZE + \beta_3 EARNINGS + \sum_i (\beta_{1i} STATIME_i + \beta_{2i} STATIME_i^2)$$

$$P_{IRR} = \left[\alpha_0 + \alpha_1 HBVALUE + \alpha_2 SIZE + \alpha_3 NIR + \alpha_4 EARNINGS + \alpha_5 DEPGH + \alpha_6 RECHARGE \right. \\ \left. + \alpha_7 \ln(WATER) + \sum_i (\alpha_{1i} STATIME_i + \alpha_{2i} STATIME_i^2) \right]$$

Les résultats indiquent que la disponibilité en eau est une caractéristique importante du prix de la terre. Une terre irrigable est en moyenne 1,48 fois plus chère qu'une terre non irrigable. Ce rapport varie avec l'Etat : il est très élevé dans le Colorado ou le Nouveau Mexique (1,66) et plus faible dans le Nebraska (1,33), ce qui correspond au fait que dans le Nouveau Mexique ou le Colorado, le revenu des cultures non irriguées est fortement aléatoire. La valeur de quasi-rente de l'eau est en moyenne de 1 137 \$/ha (1 472 au Nouveau Mexique et 627 dans l'Oklahoma). Pour un horizon de 40 ans, cette valeur de quasi-rente revient à une valeur annuelle de 110 \$/ha avec un taux d'actualisation de 6 % et de 341 \$/ha avec un taux de 3 %. La plus-value pour accès à l'eau varie donc dans une fourchette d'environ 300 à 2 200 F par hectare et par an selon la région (c'est-à-dire le besoin des plantes), la nature de la ressource en eau (profondeur de la nappe) et le taux d'actualisation utilisé par l'acheteur.

Application à la région Midi-Pyrénées

Dans le but d'estimer la valeur de l'«accessibilité à l'eau» en région Midi-Pyrénées, nous avons tenté d'appliquer la méthode hédoniste. Pour ce faire, il nous fallait rassembler des valeurs de transactions de terres agricoles réalisées en Midi-Pyrénées et connaître de façon précise les caractéristiques des terres vendues. Ceci soulevait deux difficultés importantes : avoir accès aux notifications de vente de chaque parcelle, identifier les caractéristiques de chacune d'elle. Un tel travail aurait demandé un investissement colossal du fait que l'ensemble des informations n'est pas disponible en un seul lieu. Les transactions et valeurs de transaction sont connues des SAFER (sociétés d'aménagement foncier et d'équipement rural), qui reçoivent de façon systématique les notifications de vente adressées par les notaires. Mais les notifications ne précisent pas les caractéristiques du parcellaire, notamment la présence ou la proximité d'une ressource en eau et le potentiel agronomique de la terre.

A défaut de données individuelles sur les transactions réalisées en Midi-Pyrénées, nous avons travaillé à partir de données moyennes à l'échelle de la petite région agricole (PRA). Cette échelle correspond à l'échelle la plus fine pour laquelle il existe simultanément une valeur moyenne du prix des terres labourables et des informations sur la struc-

ture des exploitations agricoles et sur les orientations technico-économiques des exploitations.

Pour appliquer la méthode, nous avons donc dû faire les hypothèses simplificatrices suivantes :

- les caractéristiques des terres dans une même petite région agricole sont homogènes et peuvent être estimées à partir des valeurs moyennes rencontrées ;
- le prix de vente moyen des terres potentiellement agricoles et non bâties observé par les SAFER⁽¹⁷⁾ pour une PRA est représentatif des caractéristiques « moyennes » de la PRA⁽¹⁸⁾ ;
- lorsque les agriculteurs ont accès à l'eau, ceux-ci utilisent cette opportunité et il existe une relation linéaire entre « accessibilité à l'eau » et taux d'irrigation moyen observé sur la PRA. Cela présuppose que là où il n'y a pas d'irrigation cela est dû à l'absence d'eau ou à un coût d'accès à l'eau dissuasif⁽¹⁹⁾.

Au prix de vente moyen de 61 petites régions agricoles de la région Midi-Pyrénées, nous avons associé 16 variables permettant d'identifier les caractéristiques essentielles des terres vendues (tableau 5). Les caractéristiques retenues sont :

- l'« accessibilité à l'eau » appréhendée au travers du taux d'irrigation (IRR),
- les contraintes topographiques et pédologiques (TOPO, PEDO),
- les potentialités agronomiques de la terre appréhendées au travers des rendements moyens au champ en sec et en irrigué (BLTE, MAIR) et du niveau d'équipement en drainage (DRAI),
- les spéculations les plus adaptées correspondant à la fois aux conditions pédo-climatiques et à la structure du marché. Les activités pratiquées (STHFOUR, SPE, GDCULT, SPE, OVCAP) sont supposées traduire ces caractéristiques,

⁽¹⁷⁾ Les valeurs utilisées sont issues des publications annuelles départementales des SAFER « *Marché des terres agricoles* », où sont indiqués par petite région agricole le nombre, le volume et la valeur des ventes notifiées aux SAFER selon une segmentation donnée du marché. Cette source, différente de l'*Enquête annuelle du SCEES sur la valeur vénale des terres agricoles*, est à la fois plus complète (nombre et volume des ventes) et plus conjoncturelle car les données sont brutes et ne reposent pas « sur la synthèse raisonnée d'indications provenant de sources diverses » (dires de notaires, experts fonciers, services de l'enregistrement et des domaines, crédit agricole ...).

La segmentation du marché proposée par les SAFER, qui permet de ne garder que les données du marché potentiellement agricole et non bâti, reste très large et ne permet pas de distinguer les terres labourables des prairies ou des landes et bois, ni de sélectionner les ventes de terres de taille supérieure à 1 ha.

⁽¹⁸⁾ Cela suppose que le prix moyen issu des données relevées par les SAFER est peu sensible à la présence de cas extrêmes (terres proches d'agglomérations avec forte pression foncière urbaine, vente de domaines de taille très importante ...).

⁽¹⁹⁾ Cette dernière hypothèse a été retenue faute d'indicateurs plus pertinents.

- la structure des propriétés appréhendée à travers la taille des exploitations existantes et du taux de faire-valoir direct (1à20STO, 20à50STO, FVD),
- le dynamisme du marché foncier appréhendé au travers de la taille moyenne des parcelles vendues (SVmoy), de la taille du marché des terres agricoles non bâties (VolMarAgr), et de la présence d'agriculteurs en début de cycle de vie (35AGE).

Les données sur la structure et les orientations de l'agriculture proviennent du RGA de 1988 alors que les données techniques (TOPO, PEDO, BLTE, MAIR) proviennent d'une étude de la Chambre d'agriculture régionale Midi-Pyrénées⁽²⁰⁾ datant de 1992. Les prix des terres utilisés pour l'analyse sont ceux de 1988, correspondant aux données du RGA. Ces prix n'ont pas encore subi l'influence de la réforme de la PAC, ni celle des sécheresses de 1989-1991.

Tableau 5. Variables retenues pour l'analyse du prix de la terre

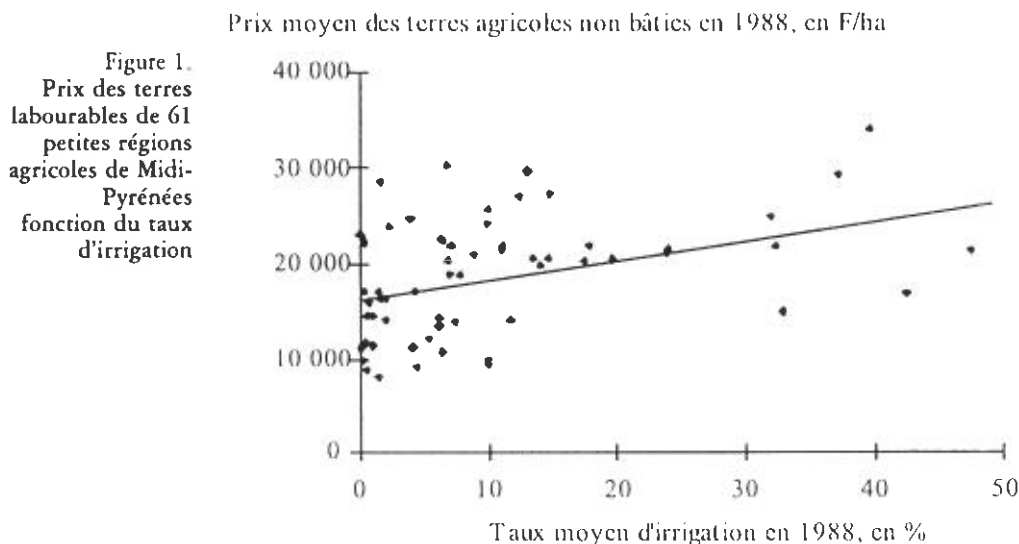
Code	Variables
SVmoy	Superficie moyenne des ventes de terres agricoles non bâties, en ha
VolMarAgr	Volume du marché agricole non bâti (surface des terres agricoles non bâties vendues en 1988/surface totale des terres agricoles de la PRA), en %
1à20STO	% de la SAU détenue par des exploitations de moins de 20 ha
20à50STO	% de la SAU détenue par des exploitations de 20 à 50 ha
35AGE	% de chefs d'exploitation de moins de 35 ans
FVD	% de la SAU en faire-valoir direct
IRR	% de la SAU irriguée
DRAI	% de la SAU drainée
STHFOUR	% de la SAU toujours en herbe ou avec fourrage
GDCULT	% de la SAU utilisée pour les grandes cultures
SPE	% de la SAU utilisée pour des cultures spéciales (vigne, vergers, légume, fleurs)
OVCAP	nombre de bêtes tous types confondus par unité de surface
TOPO	contrainte topographique notée sur une échelle de 0 à 3 (0 : plane-légèrement ondulée, 3 : accidentée)
PEDO	contrainte pédologique notée sur une échelle de 0 à 2 (0 : sol profond, 2 : sol caillouteux, hydromorphe avec affleurement rocheux)
BLTE	rendement blé tendre au champ
MAIR	rendement maïs irrigué au champ

Sources : Les deux premières données sont issues des publications 1988 des SAFER, les dix suivantes du RGA 1988, les quatre dernières d'une étude de la Chambre régionale d'agriculture Midi-Pyrénées datant de 1992.

⁽²⁰⁾ L'étude de la Chambre régionale présente sous forme de cartes documentées les potentialités agronomiques de la région Midi-Pyrénées. Ces informations ont été transformées de façon grossière sous forme de variables qualitatives, pour chaque petite région agricole, sur une échelle de 0 à 3 ou de 0 à 2.

En 1988 et à l'intérieur de la région Midi-Pyrénées, le marché des terres agricoles non bâties représente selon les petites régions agricoles de 0,11 % à 1,95 % de la surface globale agricole de la région⁽²¹⁾. La taille moyenne des parcelles vendues varie quant à elle de 0,94 ha à 8,2 ha, alors que le prix des terres agricoles varie de 8 000 F/ha (Monts de Lacane en Aveyron) à 34 000 F/ha (Vallée et Terrasse en Tarn-et-Garonne). Aucune corrélation forte n'apparaît entre le prix des terres, la taille des parcelles et la taille du marché.

Le taux d'irrigation, qui varie de 0,3 % à 47,5 % selon les petites régions agricoles, est légèrement corrélé au prix des terres agricoles (figure 1). La régression linéaire fait apparaître une probabilité quasi nulle d'indépendance entre ces deux variables (0,12 %) et un r^2 de 0,167. En s'appuyant sur l'équation de la droite de régression, on constate que le prix d'une terre irriguée est plus du double de celui d'une terre non irriguée (38 073 F/ha contre 16 446 F/ha). Mais ce résultat est trompeur. En effet, les petites régions agricoles, dont le prix des terres est élevé, ont par ailleurs de bonnes potentialités agricoles, comme le montre l'analyse des autres caractéristiques du marché.



Sources : Prix de vente : données SAFER ; taux d'irrigation : RGA (1988).

La droite de régression s'écrit : $PR88 = 16446,04 + 216,27.IRR$ ($r^2 = 0,167$, $n = 61$)

L'analyse complète du prix de la terre, à partir des 16 variables retenues pour caractériser le marché foncier, montre que la caractéristique « accessibilité à l'eau » intervient de façon secondaire dans la fonction de prix.

⁽²¹⁾ Au niveau national, cette proportion varie de 1,2 % à 1,8 % selon les années.

La matrice de corrélation normée met en évidence trois caractéristiques essentielles : la potentialité agronomique du sol, caractérisée par le rendement du maïs irrigué au champ ou le rendement du blé tendre (corrélation avec le prix de la terre de 0,55 ou de 0,52), la spéculation principale, caractérisée par le type de cultures pratiquées (*GDCULT* ou *STHFOUR*) (0,45 ou -0,40), et le niveau d'équipement de la parcelle, caractérisé par le taux d'irrigation ou le taux de drainage (respectivement 0,45 et 0,40). Mais ces caractéristiques sont elles-mêmes corrélées (corrélation de 0,46 entre *IRR* et *MAIR* et de 0,63 entre *IRR* et *GDCULT*).

La régression multiple par étape avec pour seuil une statistique *F* de 4 ne fait pas apparaître le taux d'irrigation parmi les facteurs explicatifs du prix de la terre⁽²²⁾ :

$$\begin{aligned} \text{Prix terre} = & 2279 + 202.1\text{à}20\text{STO} + 281.\text{DRAI} \\ & (0,06) \qquad (6,11) \qquad (10,38) \\ & - 149.\text{STHFOUR} + 271.\text{MAIR} - 6728.\text{VolMarAgr} \\ & (16,75) \qquad (8,60) \qquad (13,45) \end{aligned}$$

$$n = 50, r^2 = 0,652, F = 16,49$$

(les valeurs entre parenthèses sont les valeurs de la statistique *F*)

Quant à l'analyse en composante principale, elle ne permet pas de dégager un nombre réduit de composantes représentatives.

L'application de la méthode hédoniste, réalisée à l'échelle de la petite région agricole en Midi-Pyrénées, conduit à une relation entre prix de la terre et accessibilité à l'eau non statistiquement significative. Ce résultat peut être dû soit à des problèmes méthodologiques, soit à une valeur effective nulle ou quasi nulle liée à la caractéristique « accessibilité à l'eau ».

Pour ce qui est des problèmes méthodologiques, deux difficultés peuvent être invoquées : l'insuffisance des données utilisées et l'imperfection du marché des terres agricoles, ne correspondant pas aux hypothèses du modèle. Nous avons travaillé avec un nombre réduit de données (échantillon de 61 petites régions)⁽²³⁾ et des informations partielles (pas d'information précise sur la nature exacte des transactions) à l'échelle de la petite région agricole. Or, à cette échelle, il existe de fortes hétérogénéités.

⁽²²⁾ Le fait de restreindre l'analyse aux petites régions agricoles dont le taux d'irrigation n'est pas négligeable, ne permet pas d'obtenir des résultats bien différents. Que l'on se limite aux PRA avec un taux d'irrigation de plus de 6 ou de plus de 10 %, le facteur « accessibilité à l'eau » n'est pas sélectionné.

Dans le cas où l'on travaille avec les 19 PRA, dont le taux d'irrigation est supérieur à 10 %, les deux variables explicatives retenues sont les valeurs de rendements (*BLTE* et *MAIR*). Dans le cas où l'on travaille avec les 31 PRA, dont le taux d'irrigation est supérieur à 6 %, les variables sélectionnées sont au nombre de cinq (*35Age*, *DRAI*, *STHFOUR*, *MAIR*, *VolMarAgr*).

⁽²³⁾ D'autre part, les données complètes n'étaient disponibles que pour 50 des 61 PRA considérées.

tés au niveau de la qualité agronomique des sols et des bassins de production. Pour obtenir de meilleurs résultats, il aurait été préférable de travailler à partir d'un fichier conséquent de transactions individuelles et de disposer ainsi de données non lissées. C'est ce qu'ont pu faire Torell *et al.* (1990) et Xu *et al.* (1993). Malheureusement, ce type de données individuelles n'est pas accessible en l'état actuel. Pour en disposer, un protocole spécifique devrait être mis en place afin de recueillir simultanément des informations sur le prix de vente et les caractéristiques de la parcelle. Enfin, la méthode hédoniste se place dans l'hypothèse d'un marché parfait. Or le marché français de la terre agricole n'est pas un marché parfait. D'un côté, l'offre est déterminée non pas par un équilibre offre/demande mais par les départs en retraite ou les successions⁽²⁴⁾ (Boussard, 1987 ; Cavailhès et Richard, 1992). De l'autre, la demande de terre par les agriculteurs semblerait inélastique au prix⁽²⁵⁾ (Cavailhès et Richard, 1992).

Dernière explication possible et non des moindres, le prix de la terre agricole ne dépend que très secondairement de l'« accessibilité à l'eau ». Bien d'autres facteurs rentrent en ligne de compte (Boinon, 1991) dont la demande de terre pour usage non agricole, qui selon Boinon et Cavailhès (1987)⁽²⁶⁾ est le facteur explicatif principal des variations de prix interdépartementales entre 1960 et 1982.

CONCLUSION

Pour évaluer la fonction de demande en eau, deux grands types d'approche ont été envisagés, une approche par modélisation de la fonction de production de l'agriculteur et une approche par analyse économétrique des consommations de l'agriculteur. L'analyse des différentes méthodes d'évaluation de la fonction de demande en eau montre les difficultés soulevées par un tel calcul (spécification du modèle, validation du modèle, recueil de données).

⁽²⁴⁾ Au niveau national, l'analyse des volumes de terre mis sur le marché pendant la période 1964 et 1990 montre que « le prix des terres n'influence pas l'offre: les agriculteurs âgés et les cöbéritiers indivisaires vendent leur terre quel qu'en soit le prix, soit qu'ils n'aient pas les moyens d'élaborer une stratégie de vente, soit qu'ils aient besoin de liquidités, soit que la vente s'impose pour éviter la dégradation d'un bien non entretenu » (Cavailhès et Richard, 1992).

⁽²⁵⁾ Après avoir analysé les stratégies foncières des agriculteurs, Boinon et Nagot (1992) constatent que la demande de terre ne répond pas à une logique de marché mais à des opportunités. « Lorsqu'on examine l'histoire foncière des exploitations, on s'aperçoit que les agrandissements ont été réalisés en fonction des disponibilités foncières: on profite qu'un voisin parte à la retraite ou diminue sa surface pour s'agrandir. »

⁽²⁶⁾ Six variables avaient été retenues pour l'analyse du prix départemental de la terre entre 1960 et 1982: la valeur ajoutée brute, l'offre démographique de terre, la demande de terre, le niveau de fermages, les plus-values foncières et la demande de terre pour usage non agricole (Boinon et Cavailhès, 1987).

En dehors des modèles d'exploitations agricoles, ces méthodes sont peu utilisées dans le cadre de la demande en eau d'irrigation. De nombreuses applications de ce type d'approches ont été développées dans le domaine de l'environnement (analyse de la pollution, des inondations) et dans un autre contexte (les Etats-Unis). Nous avons essayé ici d'appliquer la méthode hédoniste au domaine de l'irrigation dans le contexte français. Théoriquement, l'analyse hédoniste du prix des terres agricoles devrait nous conduire à estimer la valeur de l'eau pour l'agriculteur. En pratique, il est excessivement difficile d'utiliser cette méthode, essentiellement en raison du manque de données (nombre insuffisant de données ou données incomplètes) et d'hypothèses trop restrictives (marché de la terre agricole parfait). L'utilisation de données rassemblées à l'échelle de la petite région agricole, pour l'ensemble de la région Midi-Pyrénées, ne permet pas de mettre en évidence une relation statistiquement significative entre prix de la terre agricole et accessibilité à l'eau. Tout approfondissement de la méthode nécessiterait de disposer de données précises à l'échelle de chaque transaction et de connaître avec précision le niveau de la demande et de l'offre de terres.

BIBLIOGRAPHIE

- BOINON (J.-P.), 1991 — Comportement des acteurs du marché foncier et formation du prix des terres agricoles en France, Thèse de l'Université de Bourgogne, INRA-ENITA Dijon, 441 p.
- BOINON (J.-P.), CAVAILHÈS (J.), 1987 — Comment expliquer l'évolution du prix des terres?, Synthèse, notes et débats, 4, Economie et sociologie rurales, INRA, Dijon, 160 p.
- BOINON (J.-P.), NAGOT (F.), 1992 — Stratégies foncières des agriculteurs dans quatre zones agricoles fragiles, *Economie Rurale*, n° 207, pp. 2-6.
- BOISTARD (P.), 1993 — Qualité et prix des services publics de distribution d'eau potable: approche d'un prix de la qualité de l'eau et de la desserte, Thèse de 3^e cycle de l'ENPC.
- BOUSSARD (J.-M.), 1970 — Le comportement des agriculteurs en situation d'incertitude: étude de la valeur de différents critères de décision, *Recherches d'Economie et de Sociologie Rurales*, 3, pp. 23-40.
- BOUSSARD (J.-M.), 1987 — *Économie de l'agriculture*, Paris, Economica, 310 p.

- BOUZIT (A.-M.), 1995 — Apport du modèle d'utilité anticipée à l'analyse de l'attitude des exploitants agricoles face au risque, *Economie Rurale*, n° 227, pp. 28-33.
- BOUZIT (A.-M.), RIEU (T.), RIO (P.), 1993 — Modélisation du comportement des exploitants agricoles tenant compte du risque: application du MOTAD généralisé, Colloque SFER, Montpellier.
- CAGG, 1993 — Barrage de Charlas. Etude globale d'environnement, Alb: Etude de la demande agricole, vol. II, Estimation de la demande agricole, version du 30 Juin.
- CAGG-CERGRENE, 1994 — Barrage de Charlas. Etude globale d'environnement: choix de la solution d'aménagement.
- CAVAILHES (J.), RICHARD (A.), 1992 — Marché foncier et prix des terres agricoles, *Recherches en économie et sociologie rurales*, INRA, n° 5.
- CONNOR (J.-D.), GLYER (J.-D.), ADAMS (R.-M.), 1989 — Some further evidence on the derived demand for irrigation electricity: a dual cost function approach, *Water Resource Research*, 25 (7), pp. 1461-1468.
- DESAIGUES (B.), POINT (P.), 1993 — *Economie du patrimoine naturel. La valorisation des bénéfices de protection de l'environnement*, Paris, Economica.
- FLICHMAN (G.), GARRIDO (A.), VARELA (C.), 1994 — *Agricultural policy and technological choice: a regional analysis of income variation, soil use and environmental effects under uncertainty and market imperfection*, à paraître, Montpellier.
- LAMONERIE (H.), 1992 — Agrégation de modèles de comportement d'exploitants agricoles à l'échelle d'un périmètre irrigué, application à la plaine du Forez, Mémoire de 3^e année de l'ENITRTS-CEMAGREF.
- LAU (L.), 1978 — Application of profit functions, in: FUSS (M.) et McFADDEN (D.) (ed.), *Production economics: a dual approach to theory and applications*, Amsterdam, North Holland.
- LEROY (P.), JACQUIN (C.), 1991 — *LORA: a decision support system for the choice of crops on the irrigable area of a farm*, Decision Support Systems, IFORS - SPC1, Bruges.
- LOUCK (D.P.), STEDEINGER (J.R.), HAITH (D.A.), 1981 — *Water resource systems planning and analysis*, Prentice Hall Inc.
- MICHALLAND (B.), 1995 — Approche économique de la gestion de la ressource en eau pour l'usage d'irrigation, Thèse de 3^e cycle de l'Université de Bordeaux I.

- OGG (C.W.), GOLLEHON (N.R.), 1989 — Western irrigation response to pumping costs: a water demand analysis using climatic regions, *Water Resource Research*, 25 (5), pp. 767-773.
- PALACIO (V.), GLEYSES (G.), MORARDET (S.), 1995 — Typologie d'exploitations et demande en eau d'irrigation, *Ingénieries EAT*, n° 2, pp. 39-53.
- PALMQUIST (R.B.), 1989 — Land as a differentiated factor of production: a hedonic model and its implications for welfare measurement, *Land Economics*, 65 (1), pp. 23-28
- PALMQUIST (R.B.), 1991 — Hedonic methods, in: *Measuring the demand for environmental quality*, BRADEN (J.B.) et KOLSTAD (C.D.), Elsevier Science Publishers B.V., pp. 77-120.
- POINT (P.), 1988 — Une méthode de détermination de la valeur de l'eau à usage d'irrigation: le prix fictif de substitution: Application au département des Bouches-du-Rhône, V^e Journée de micro-économie appliquée, Toulouse.
- POINT (P.), 1993 — Partage de la ressource en eau et demande d'alimentation en eau potable, *Revue économique*, n° 44, pp. 849-862.
- POPE (C.A.), GOODWIN (H.L.), 1984 — Impact of consumptive demand on rural land values, *American Journal of Agricultural Economics*, 66 (5), pp. 750-754.
- RIEU (T.), GLEYSES (G.), 1993 — Evaluation socio-économique d'un projet d'irrigation et étude prospective de la demande en eau, *La houille blanche*, n° 2/3, pp. 119-125
- RIEU (T.), PALACIO (V.), 1994 — Equipements hydrauliques collectifs et réforme de la PAC: des conséquences conflictuelles? Cas d'un barrage en Charente, *Actes et communications INRA*, n° 12, 19 p.
- ROSEN (S.), 1974 — Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition, *Journal of Political Economy*, n° 82, pp. 34-55.
- TORELL (L.A.), LIBBIN (J.D.), MILLER (M.D.), 1990 — The market value of water in the Ogallala aquifer, *Land Economics*, 66 (2), pp. 163-175.
- XU (F.), MITTELHAMMER (R.C.), BARKLEY (P.W.), 1993 — Measuring the contributions of site characteristics to the value of agricultural land, *Land Economics*, 69 (4), pp. 356-369.