

# Pour une meilleure valorisation globale de l'eau d'irrigation

## Une alternative de réallocation de la ressource sur des bases économiques - cas du bassin du Merguellil en Tunisie Centrale

Lassaâd ALBOUCHI\*, Mohamed Salah BACHTA\*\*, Philippe LE GRUSSE\*\*\*

\* IRD, US DIVHA, Tunis, Tunisie

\*\* INAT, Département d'économie rurale, Tunis, Tunisie

\*\*\* IAMM, Montpellier, France

**Résumé: Pour une meilleure valorisation globale de l'eau d'irrigation.** L'eau, en Tunisie, est de plus en plus rare. Le gestionnaire de l'eau doit définir les principes d'une gestion rationnelle de l'eau en considérant les différentes valorisations de l'eau en termes de répartition et d'allocation. L'allocation actuelle, des ressources en eau, se fait en fonction de considérations politiques et sociales, mais rarement sur une base économique. En conséquent, l'écart en terme de valorisation des ressources en eau est de plus en plus important d'une échelle à l'autre. L'étude d'efficacité peut servir à comparer les zones et à allouer la ressource à la plus productive. Nous étudierons une réallocation de la ressource selon sa valorisation économique au sein du bassin versant de Merguellil au centre de la Tunisie. La rareté de l'eau associée à une forte interaction amont-aval sur la ressource et la diversité des aménagements et des systèmes de production font de ce dernier une échelle largement représentative de la problématique de l'eau en Tunisie. Le bassin est donc, désagrégé en des Ensembles Ressource Usages (ERU) en compétition sur la ressource en eau. La méthodologie théorique adoptée s'articule comme suit: Nous estimons une frontière stochastique du coût pour mesurer l'efficacité économique par (ERU) et étudier les déterminants de cette efficacité. Ces déterminants sont des facteurs importants dont l'action gouvernementale doit tenir compte pour améliorer le niveau actuel d'efficacité du secteur. Enfin, nous spécifions et nous estimons un modèle, à effets fixes, qui va nous permettre de réallouer la ressource entre ERUs. Il s'agit d'une fonction du profit global.

**Abstract: For a better global valorization of the irrigation water.** In Tunisian climatic conditions, agriculture is heavily dependant on irrigation, and it consumes more than 80 per cent of mobilized water. For this reason the role of the administrator to define rational water management in terms of distribution and allocation is very important. In this condition allocated water based only on political and social criteria and without considered the economic components is a very big mistake. In this way, created economic indicators for water use is the best way to compare different regions and allocated maximum water for the best one. The Merguellil basin in the centre of Tunisia is chosen to analyze the reallocation water based on economic indicators. This location presents the mean problem witch was confronted Tunisian irrigation water: water resources depletion, strong

competitively between uphill and downstream for water allocation, diversity of amenities and production systems... For more simplicity, the basin was decomposed on several groups defined as: Use Resources Groups (ERU), where each group is on competition for resources with the other groups. For then, the theoretical methodology adopted in this work is divided on two parts: i) firstly, the stochastic cost border using ERU for determine economic efficiency and their determinants was steady. Those determinants were the mean important think that government must take account for ameliorate the efficiency and reduced the inequality between ERU, and ii) secondary, a model with fixed effect using a profit function to reallocated resources between ERU, was estimated.

## Introduction

En Tunisie, les approches de gestion de l'eau d'irrigation en eau sont fondées uniquement sur le développement des moyens techniques destinés à augmenter la fourniture d'eau. Les prix de l'eau d'irrigation ont été longtemps très faibles et déconnectés de la réalité des coûts pour des considérations d'ordre essentiellement sociale<sup>1</sup>. Il s'en est suivi des gaspillages de la ressource en eau ainsi que des subventions qui grèvent le budget de l'Etat. Il est temps de réfléchir, non pas en terme d'insuffisance de la ressource mais en comprenant mieux la demande et l'utilisation de cette ressource.

Dans une perspective de gestion rationnelle, quelle que soit la nature de la politique d'allocation (centralisée, décentralisée ou participative) il est indispensable que le gestionnaire de la ressource en eau veille à respecter deux contraintes. La première est de réduire au maximum le nombre de fermiers inefficients qui valorisent la ressource rare à des seuils assez éloignés des coûts réels. La seconde est de réduire le nombre de rentiers qui tirent des profits injustifiés de la vente ou de la location de droits d'usage d'une ressource offerte à des prix totalement déconnectés de la réalité économique contingente.

Beaucoup d'analystes s'accordent pour dire que la gestion de l'eau comme un bien économique constitue un outil important pour arriver à une utilisation efficace et équitable de l'eau ainsi que pour encourager la conservation et la protection des ressources en eau. L'économie du bien-être recommande la vente de l'eau au coût marginal, même pour les secteurs monopolistiques, puisque les considérations de Pareto conduisent à substituer à la maximisation du profit, le principe d'intérêt général (Maximisation du bien-être collectif). Autrement dit, la gestion est optimale lorsque la valeur marginale de l'eau est la même pour tous les usagers et que celle-ci est égale au coût marginal de mobilisation d'une nouvelle unité d'eau. Cependant, le problème essentiel d'un mode de gestion fondée sur la tarification au coût marginal, est de fixer la tarification de sorte qu'elle reflète le coût marginal et qu'elle prenne en compte les phénomènes de coût marginal décroissant, de pointes et d'aléa. De même, l'instauration du marché d'eau est liée aux problèmes institutionnels<sup>2</sup>.

Une réallocation de la ressource en eau selon des bases économiques semble être mieux adaptée au contexte tunisien pour une allocation rationnelle. Cette alternative constitue un équilibre du second rang. Il s'agit d'une redistribution de la ressource vers les zones agricoles les plus performantes. L'allocation de la ressource en eau selon des bases économiques résout les conflits sur l'usage d'une ressource rare, met l'usage des ressources dans les mains de celui qui pense en faire le meilleur usage et coordonne les actions individuelles de telle sorte que chacun puisse réaliser ses anticipations. La concurrence, sur la ressource en eau, entre les agriculteurs ne permet plus à ces derniers de s'écarter de l'optimum économique. En termes d'action publique, cela oblige l'Etat à passer d'une position de garant de l'approvisionnement par sa politique hydraulique à une position d'arbitre ou de décideur de cette allocation.

Dans, le cadre d'une gestion intégrée, le bassin de Merguellil a été fixé pour cette étude car il réunit pratiquement tous éléments de la problématique de l'eau en Tunisie et des zones arides en général. Le bassin de Merguellil est assimilé à deux ERUs<sup>3</sup> interconnectés. Le premier ERU, correspond à la

---

<sup>1</sup> Ministère de l'Agriculture, 1997.

<sup>2</sup> Définition du droit d'eau, mise en place d'un droit de l'eau autorisant les échanges de droit) et encadrement du marché pour palier les défaillances du marché.

<sup>3</sup> L'ERU désigne le niveau d'agrégation le plus pertinent où l'interaction entre la ressource et son usage est supposée homogène. Il s'agit d'un territoire correspondant à une unité de ressource où tous les usages de l'eau sur ce territoire peuvent potentiellement s'approvisionner sur cette dernière.

partie aval du bassin (35532 ha) présentant un large bassin d'eau souterraine peu profonde alimenté par le drainage des montagnes de la partie amont. Sur cette dernière, la pression sur la ressource est de plus en plus intense vu l'évolution rapide du nombre des puits de surface (855 puits) et des forages (53 forages). Il s'agit de la même ressource en eau mais de plusieurs usages. La partie supérieure du bassin (117374 ha) constitue le deuxième ERU<sup>4</sup>. Elle est aménagée par 43 lacs collinaires, 43 forages (sondages) et un grand barrage à l'aval du bassin. De même, les prises sur oueds représentent une source d'approvisionnement en eau d'irrigation non négligeable.

Le problème au niveau du bassin de Merguellil est à la fois un problème d'une demande supérieure à l'offre et un problème de partage de la ressource entre usagers. Sur la partie aval, zone d'irrigation intensive et à vocation maraîchère (cultures valorisantes de l'eau), il s'agit d'une demande des ressources en eau qui croît sans cesse. Sur la partie amont, avec la création des travaux de CES et des projets de la petite hydraulique, il y a eu une demande naissante de l'eau au tour de ces aménagements argumentée par le développement local et la rentabilisation de ces aménagements. Tenant donc compte de ces interactions, et dans un souci d'une meilleure valorisation globale de la ressource en eau, quels seraient l'impacts de répartition spatiale de la ressource ? Faut-il favoriser l'extension des systèmes à l'aval au dépend des systèmes traditionnels en amont où prédominent de petites exploitations à caractère familiale ? Comment juger de l'opportunité de nouveaux ouvrages de création, de stockage, de transport ou de dérivation de la ressource au niveau du bassin Merguellil ?

Nous supposons donc, qu'il existe un différentiel d'efficacité entre les ERUs. Sur la base de ces écarts d'efficacité, la redistribution de l'eau entre ERU permettrait d'améliorer sensiblement la valorisation totale de la ressource à l'échelle du bassin. A partir d'une analyse de la valorisation actuelle de la ressource en eau au sein du bassin versant de Merguellil, nous cherchons à identifier les eaux sous utilisées et quelle serait la meilleure valorisation dans différents scénarios de partage de la ressource. Le raisonnement s'effectue en statique comparative par rapport à l'état initial supposé comme état d'équilibre.

Dans ce cadre une réflexion méthodologique a lieu et une série de technique et d'instruments sont élaborés. Deux outils ont été mobilisés : le premier est un modèle d'estimation de l'efficacité économiques et de ses déterminants constitue par une frontière stochastique du coût ; le second est un modèle régional de fonction du profit qui permettrait de réallouer la ressource en eau.

Ce document est structuré de la façon suivante : après un aperçu général sur les concepts d'efficacité et les méthodes d'estimation (en particulier la méthode de frontière stochastique) nous présentons le modèle à effets fixes qui va nous permettre de réallouer l'eau entre les ERUs ainsi que les données jugées indispensables pour ce type de travail.

## **Approche méthodologique**

Pour répondre à nos questions et pour vérifier nos hypothèses fixées ci-dessus, la première étape consiste à estimer et à analyser les écarts d'efficacité par ERU ainsi que l'identification des déterminants de cette dernière. Mais, avant de se pencher dans l'évaluation de l'efficacité, il nous semble utile de lancer quelques explications sur la notion d'efficacité économie.

### **Efficacité**

Les préoccupations d'efficacité constituent un des principaux sujets de l'économie de la production. Au niveau micro-économique, la mesure de l'efficacité des entreprises permet de mieux appréhender les analyses de productivité, mais aussi les effets des politiques sur les exploitations. Sur le plan macro-économique, ces mêmes niveaux d'efficacité individuels conditionnent l'efficience sociale ou collective. L'obtention d'une efficacité de l'économie dans son ensemble passe donc par la résorption des inefficacités des entreprises.

---

<sup>4</sup> Faute de manque de données à des niveaux plus désagrégés, nous supposons que la partie amont constitue un seul ERU.

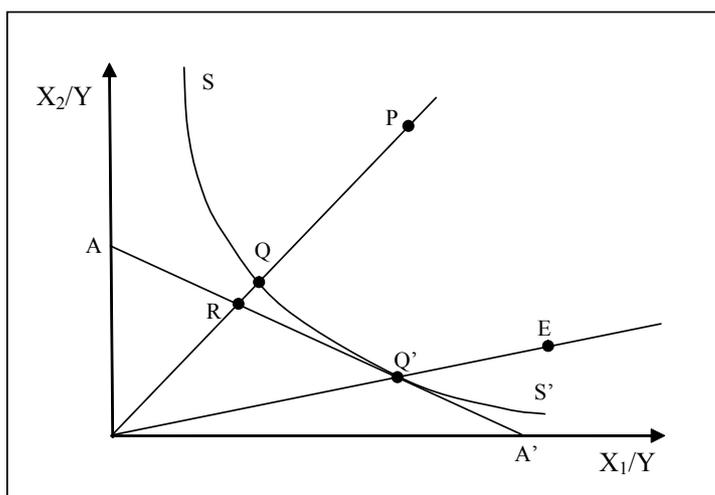
Ce passage a comme objectif de rappeler les notions d'efficacité économique, technique et allocative et de présenter brièvement les principales approches et méthodes utilisées dans la littérature pour la mesurer<sup>5</sup>.

### Concepts d'efficacité

En réalité, les producteurs ne se comportent pas systématiquement de façon optimale. En terme d'analyse comparative, la frontière matérialise les meilleures pratiques et l'écart de chaque observation par rapport à cette frontière représente son degré d'inefficacité. Cet écart peut être attribué au manque de concurrence qui fait que les exploitants peuvent se permettre d'opérer en dessous de leur frontière si elles sont protégées sur le marché (Bachta et Chebil, 2002). D'autres explications mettent au devant l'effet des inputs non physiques (information, savoir faire,...) sur l'efficacité des exploitations (Müller, 1974). D'où, l'intérêt majeur d'étudier les déterminants d'inefficacité.

Les premiers travaux sur le concept d'efficacité sont attribués à Koopmans (1951) et Debreu (1951). Koopmans fut le premier à proposer une mesure du concept d'efficacité et Debreu le premier à le mesurer empiriquement. Debreu proposa le coefficient d'utilisation des *ressources* qui portait essentiellement sur des mesures de ratio extrant-intrant. Farrell (1957) fut le premier à définir clairement le concept d'efficacité économique et à distinguer les concepts d'efficacité technique et d'efficacité allocative.

Dans sa représentation, Farrell considère une fonction de production à deux facteurs  $y = f(x_1, x_2)$  et suppose des rendements d'échelle constants. Dans ce cadre simplifié, la fonction de production s'écrit :  $1 = f(x_1/y, x_2/y)$ , elle est représentée (figure 1) par l'isoquant unité  $SS'$ .



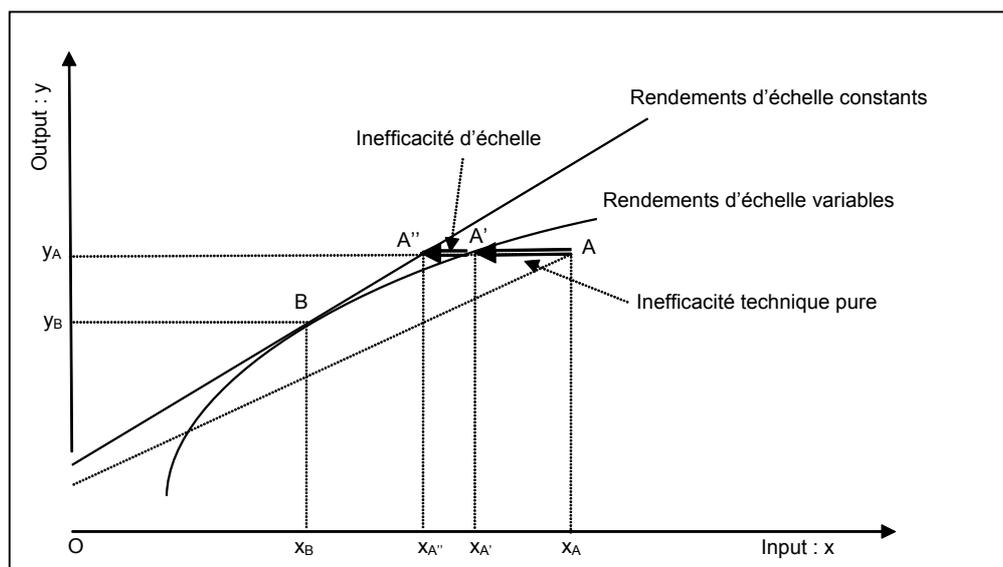
**Figure 1.** Représentation graphique (Farrell 1957) de l'efficacité technique et de l'efficacité allocative.

L'isoquant  $SS'$  représente les combinaisons minimums d'input par unité d'output, c'est la frontière de production. Les combinaisons d'inputs réalisables se trouvent nécessairement à droite de l'isoquant. L'efficacité technique d'une exploitation représente sa capacité à combiner de façon optimale les différents facteurs de production. L'inefficacité technique (ou inefficacité productive) provient donc, d'une utilisation excessive d'input. Géométriquement, Farrell définit l'efficacité technique de la firme P par  $TE = OQ/OP$ . Q est le point de la frontière qui possède les mêmes proportions d'input que P. Une propriété immédiate de cette définition est :  $0 \leq TE \leq 1$ . Théoriquement, les exploitations doivent équilibrer leur taux marginal de substitution technique (TST) entre les deux inputs avec le rapport des prix des inputs déterminés par le marché. L'inefficacité allocative (ou inefficacité prix) est due à la combinaison des inputs dans des proportions sub-optimales par rapport aux prix relatifs. La droite ( $AA'$ ) représente graphiquement ce rapport des prix. Géométriquement, Farrell mesure l'efficacité allocative par  $AE = OR/OQ$ , avec  $0 \leq AE \leq 1$ . Cette mesure a l'avantage de faire apparaître la même

<sup>5</sup> Méthode de frontière déterministe et non paramétrique, de frontière déterministe et paramétrique, et de frontière stochastique.

efficacité allocative à deux exploitations utilisant les facteurs dans les mêmes proportions. Toutefois, en modifiant les proportions d'input, l'efficacité technique restera stable tout au long de l'isoquant ( $SS'$ ). Par ailleurs, le point Q, bien que techniquement efficace, est aussi inefficace que P du point de vue allocatif (inputs dans les mêmes proportions). A l'inverse, le point E est allocativement efficace mais techniquement inefficace. Alors que, le point P est techniquement et allocativement inefficace. Le produit des efficacités technique et allocative ( $0Q/0P \cdot 0R/0Q$ ) désigne l'efficacité économique ( $0R/0P$ ). Elle atteint l'unité au point Q' qui représente le point de production au coût minimum.

Toutefois, il peut y avoir des économies d'échelle caractérisent la situation où l'accroissement (l'abaissement) de la production diminue le coût moyen. Si nous prenons en compte le type de rendements dans lequel la production a lieu, nous pouvons décomposer l'efficacité technique en une efficacité technique et une efficacité d'échelle. La figure 2 illustre la décomposition de l'efficacité technique pour une fonction de production monoproduit et monofacteur.



**Figure 2.** Frontière de production, rendements d'échelle et décomposition de l'efficacité technique.

La courbe "rendements d'échelle variables" est la vraie frontière de l'ensemble des possibilités de production<sup>6</sup> ; elle représente la technologie existante à cette période.

L'exploitation A doit diminuer sa quantité d'input pour se situer sur la frontière de production en A' ; cette inefficacité technique peut être mesurée par le ratio  $x_A/x_{A'}$ . Cependant, au point A', le ratio de productivité  $y_A/x_{A'}$  est plus faible que le ratio maximum  $y_B/x_B$  au point B. Par rapport à l'exploitation B, qui correspond à la taille optimale, l'exploitation A souffre d'une inefficacité d'échelle mesurée par le rapport  $x_{A''}/x_{A'}$ . Son inefficacité technique totale combine les deux formes d'inefficacité et se mesure par le rapport  $x_{A''}/x_A$ .

### Méthodes d'estimation

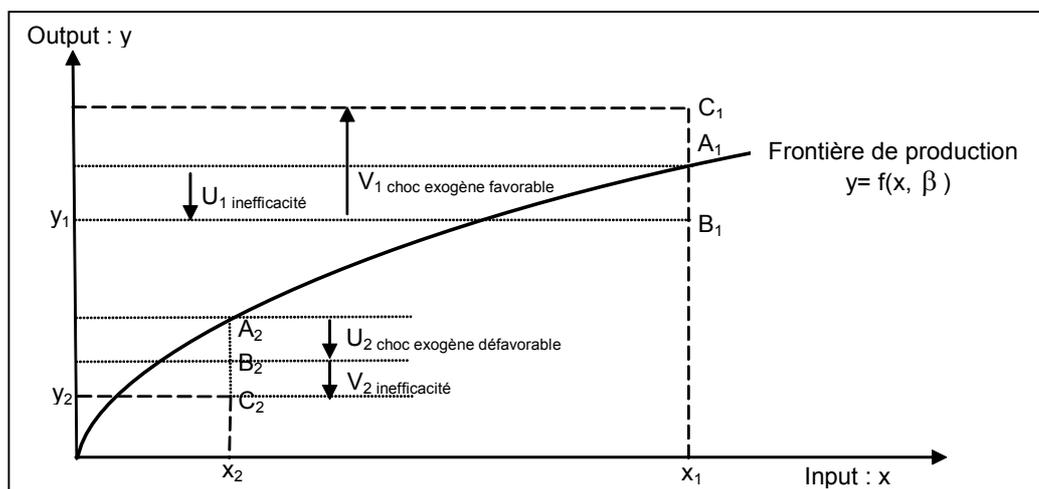
L'efficacité d'une exploitation ou d'un secteur, peut être mesurée par des méthodes paramétriques ou non-paramétriques dont la principale différence entre les deux réside dans les hypothèses concernant les résidus. Pour la méthode paramétrique, nous trouvons trois approches permettant le calcul des frontières paramétriques : l'approche de la frontière stochastique (Stochastic Frontier Approach "SFA"), l'approche de Free Distribution (Distribution-Free Approach "DFA") et l'approche Thick Frontier (Thick Frontier Approach "TFA"). Alors que, la méthode non-paramétrique regroupe la méthode d'enveloppement des données (Data Envelopment Analysis "DEA") et la méthode de Free Dispositant Hull (FDH).

Quant au choix d'une méthode d'estimation, il est difficile d'identifier une méthode supérieure aux autres. Les approches paramétriques imposent une forme fonctionnelle qui présuppose la forme de la frontière. Donc, dans le cas d'une mauvaise spécification de la forme fonctionnelle, l'efficacité

<sup>6</sup> La technologie est à rendements d'échelle croissants à gauche de B, décroissants à droite de B et constants en B.

mesurée peut être confondue avec les erreurs. Alors que, les approches non paramétriques imposent moins de structure à la frontière mais supposent l'absence d'erreurs aléatoires provenant du hasard ou de facteurs externes, des problèmes de données ou encore d'erreurs de mesure. Dans ce cas, si les erreurs aléatoires existent réellement, il peut y avoir une fusion entre l'efficacité mesurée et les déviations aléatoires de la vraie frontière d'efficacité.

**La méthode d'estimation :** Nous utiliserons l'approche paramétrique de frontière des coûts stochastique pour la détermination de l'efficacité des ERUs. La méthode des frontières stochastiques a été développée par Aigner, Lovell et Schmidt (1977) et par Meeusen et van den Broek (1977)<sup>7</sup>. Elle décompose l'erreur de la fonction étudiée en deux termes. Le premier représente les effets aléatoires et les erreurs de mesure ; le second représente le degré d'efficacité productive.



**Figure 3.** Frontière de production stochastique. Illustration de la décomposition du terme d'erreur dans le cas de deux observations.

Cernant la présente étude, l'efficacité économique est alors mesurée comme étant la déviation par rapport au coût minimum. La frontière des coûts peut avoir la forme suivante :  $C = C(y, w, u_c, v_c)$  ; où  $C$  est le coût total,  $y$  est le vecteur de quantités d'outputs,  $w$  est le vecteur de prix d'intrants,  $u_c$  désigne le coût de l'inefficacité et  $v_c$  est le terme d'erreur. C'est le terme  $u_c$  qui ramène les coûts au-dessus de la frontière efficace. Ainsi, pour une estimation de coût pour l'ERU  $i$  ( $\hat{C}_i$ ) le score de l'efficacité économique est égale au rapport :  $\hat{C}_{\min} / \hat{C}_i$ . Ainsi, un score de 0.85 signifie que l'ERU est efficace à 85% relativement à celle qui présente les meilleures pratiques.

Outre le fait d'être un outil répandu d'évaluation de l'inefficacité des exploitations, la méthode de frontière stochastique est couramment utilisée pour déterminer les facteurs explicatifs de l'efficacité. Il s'agit d'estimer les coefficients de la portion déterministe de la fonction du coût et les coefficients de l'efficacité.

Considérons la fonction du coût suivante pour modéliser la frontière stochastique en données de panel :  $CT_{it} = f(y_{it}, p_{it}, \beta) e^{E_{it}}$  où,  $CT_{it}$  est le coût au niveau de l'ERU  $i$  ( $i= 1, 2, \dots, I$ ) à la période  $t$  ( $t=1, 2, \dots, T$ ).  $y_{it}$  est le vecteur des quantités d'outputs de l'ERU  $i$  à la période  $t$ .  $p_{it}$  est le vecteur de prix des intrants de l'ERU  $i$  à la période  $t$ .  $\beta$  est le vecteur des paramètres estimés.  $E_{it} = u_{it} + v_{it}$  est la somme de perturbations indépendantes. La perturbation indépendante et identiquement distribuée  $v_{it}$  suit une loi de probabilité normale d'espérance nulle et de variance  $\sigma_v^2$ . La perturbation  $u_{it}$  capte l'inefficacité. Elle est définie positive. Les  $u_{it}$  sont indépendamment distribués selon une loi normale tronquée<sup>8</sup> (en zéro) de moyenne  $Z_{it} \delta$  et de variance  $\sigma_u^2$ .  $Z_{it}$  est le vecteur des variables explicatives de l'inefficacité des ERUs ;  $\delta$  est le vecteur des coefficients de ces variables.

<sup>7</sup> Pour un compte rendu des différents travaux, voir Forsund, Lovell et Schmidt, 1980 ou Bauer, 1990.

<sup>8</sup> Puisqu'elle ne peut pas être négative.

Pour l'estimation de l'efficacité et des sources potentielles d'inefficacité, la méthode "en deux étapes" (Battese et Coelli 1993) a été mobilisée. Cette dernière a connue la critique suivante : dans la première étape, les termes d'inefficacité sont supposés indépendamment et identiquement distribués pour être estimés. Ensuite les scores d'efficacité sont régressés sur les variables  $Z_{it}$ , soit par les Moindres Carrés Ordinaires (MCO), soit dans un modèle Tobit pour tenir compte du caractère tronqué de la variable endogène entre 0 et 1. Dans cette seconde étape, nous considérons donc que les termes d'inefficacité dépendent d'un certain nombre de paramètres spécifiques aux ERUs, ce qui implique qu'ils ne sont pas identiquement distribués (sauf si tous les coefficients sont nuls). L'estimation simultanée proposée par Battese et Coelli, et mise en œuvre dans le programme FRONTIER version 4.1 (Coelli 1996), est de nature à limiter la portée de cette critique. Pour cela, nous utiliserons ce programme pour la détermination de l'efficacité et de ses déterminants par ERU.

Ce passage va nous permettre donc, de détecter les facteurs explicatifs de niveaux d'efficacité des ERUs ainsi que leur contribution relative. Au sein du bassin de Merguellil, les facteurs qui peuvent, à priori, expliquer le degré d'efficacité des ERUs sont de deux catégories : **i)** facteurs générales telles que la structure économique de production des exploitations (taille moyenne, ou production moyenne en valeur, l'âge moyen des exploitants ; niveau d'éducation ; la superficie moyenne des exploitations ; main d'œuvre familiale (taille des ménages) ; niveau d'intensification (taux d'occupation du sol) ; spécialisation régionale (principales cultures en pourcentage) ; la mécanisation (superficie cultivée par tracteur, superficie céréalière par moissonneuse batteuse) ; infrastructure de base. **ii)** facteurs spécifiques au bassin tels que les aménagements hydrauliques (nombre de puits de surface, des forages et des lacs collinaires) ; qualité de la terre (terre en pente et terre en plaine) ; le foncier (terre privée et terre domaniales) ; disponibilité fourragère (équivalent de vache par ha de fourrage ou équivalent de brebis par ha de parcours) ; expérience en irrigation (nombre d'années pendant lesquelles l'irrigation est pratiquée dans la zone) ; mode de gestion de l'eau (périmètre privé irrigué par rapport au total de la superficie irriguée) ; taux d'encadrement (nombre d'agriculteurs par vulgarisateur ou superficie irriguée par vulgarisateur) ; etc.

Ces variables seront intégrées dans la fonction du coût afin de déterminer leur impact sur le degré d'efficacité. Mais, après une première estimation, nous retenons que les facteurs qui ont des coefficients significatifs.

Par ailleurs, l'inefficacité<sup>9</sup> peut être exprimée en terme de réduction potentielle des quantités de facteurs utilisées, à niveau de production constant (approche à orientation input). Alors que, l'approche à orientation output mesure l'inefficacité en terme d'augmentation potentielle du niveau de production, à quantités de facteurs utilisées inchangées. L'approche à orientation input est retenue, dans cette étude, afin de satisfaire un objectif recherché par le gestionnaire : Produire plus avec moins d'eau.

### **Modèle de réallocation : Analyse à l'aide d'une fonction de profit**

L'approche par la fonction de profit est largement utilisée par les organismes agricoles qui pour estimer le bénéfice de l'irrigation, calculent la variation de revenu net entre une situation sans ressource en eau et une situation avec ressource en eau. Dans cette partie, notre travail porte sur la construction d'un modèle économétrique de gestion de l'eau spatialisé permettant d'analyser les gains d'efficacité collective liés à une meilleure allocation et gestion de la ressource entre les parties amont et aval du bassin. Nous nous plaçons au niveau du gestionnaire de la ressource en eau (décideur public) qui cherche à maximiser le revenu global (bien être collectif) au niveau du bassin de Merguellil.

Nous avons choisi une approximation de la valorisation par une fonction de profit. La fonction de profit fournit des estimations d'une entière série de variables économiques, tandis que la fonction de production et la productivité totale des facteurs de production (TFP) se concentrent uniquement sur les relations physiques entre inputs et outputs.

---

<sup>9</sup> L'inefficacité peut être définie comme l'ensemble des facteurs qui empêchent l'exploitation d'atteindre son coût minimum une fois pris en compte tous les facteurs aléatoires qu'elle ne contrôle pas.

Nous partons d'un problème de maximisation du profit global sous contrainte de la fonction de transformation<sup>10</sup> qui peut être représenté comme suit :  $\text{Max } \Pi = \sum_i P_i Y_i - \sum_j w_j X_j$  Sous contrainte  $Y_i = F(X_j) \leq 0$ ,  $X \geq 0$ . A l'équilibre (optimum)  $Y_i^* = y_i(P_i, w_j)$  et  $X_j^* = x_j(P_i, w_j)$ ;  $\Pi^* = \sum_i P_i Y_i(P, w) - \sum_j w_j X_j(P, w)$  donc,  $\Pi^* = \Pi(P, w) = \text{"dual"}$  qui correspond à une fonction du profit indirect qui dépend uniquement du vecteur prix des facteurs et des produits.

Mais l'eau d'irrigation est un facteur de production qui n'a pas de prix (accès libre à la ressource) sinon le prix pratiqué (sur les PPI) ne reflète pas le coût réel supporté par la collectivité. Le prix de l'eau ne traduit pas la rareté de la ressource (la tension entre offre et demande). Il y a différentes possibilités pour estimer ce prix à partir de l'évaluation économique (méthode d'évaluation contingente, méthodes coût avantages,...) et la programmation mathématique pour déterminer le coût d'opportunité de l'eau par ERU (prix fictif de l'eau). Dans ce but et pour permettre au modèle de réallouer la ressource nous avons utilisé la quantité d'eau disponible par ERU.

Pour tenir compte de la différence de dotation en ressource dans chaque ERU, la fonction du profit sera de type  $R(P, V)$  Ou,  $R$  : revenu global au niveau du bassin,  $P$  : vecteur des prix par ERU et  $V$  : vecteur des dotations en eau d'irrigation par ERU. Nous supposons que chaque ERU dispose d'une quantité donnée de la ressource.

De même, les producteurs n'ont pas le même niveau d'efficacité. L'écart d'efficacité peut être expliqué par un ensemble de facteurs. A partir de l'identification de ses facteurs, le pouvoir public peut intervenir afin d'améliorer l'efficacité globale tout en réduisant l'écart entre les ERUs.

Pour tenir compte de cet aspect, nous introduisons une autre variable ( $e$ ) qui désigne le niveau d'efficacité de chaque ERU. La fonction de profit sera  $R(p, v, e)$ .

Le modèle présenté<sup>11</sup>, résultant donc d'une approche duale, reflète un équilibre de court terme. Pour passage du modèle théorique à une forme estimable la spécification retenue est de forme fonctionnelle Translog<sup>12</sup>. Le choix de la forme flexible translog est justifié de façon conventionnelle par sa capacité à modéliser des technologies diverses. Elle n'impose aucune contrainte a priori aux valeurs des élasticités de substitution entre les variables explicatives ; ce qui constitue un avantage important par rapport à des formes classiques comme la Cobb-Douglas ou la CES.

$$(2) \ln R(p, v, e) = a_0 + \sum_{j=A,B} a_j \ln P_j + \frac{1}{2} \sum_{j=A,B} \sum_{n=A,B} a_{jk} \ln P_j \ln P_n + \sum_{i=1,2} b_i \ln v_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1,2} \sum_{m=1,2} b_{im} \ln v_i \ln v_m + \sum_{j=A,B} \sum_{i=1,2} c_{ji} \ln P_j \ln v_i + \sum_{i=1,2} d_i \ln e_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1,2} \sum_{m=1,2} d_{im} \ln e_i \ln e_m + \sum_{j=A,B} \sum_{i=1,2} f_{ji} \ln P_j \ln e_i + \sum_{i=1,2} \sum_{m=1,2} h_{im} \ln v_i \ln e_m$$

Si nous supposons que les paramètres  $a_{jk}$ ,  $b_{im}$ ,  $c_{ji}$ ,  $d_{ij}$ ,  $f_{ji}$  et  $h_{ij}$  sont nuls, nous retrouvons la même équation qu'une spécification du type Cobb-Douglas. Mais, dans le cas général ces coefficients ne sont pas nuls (au moins tous à la fois).

L'originalité que présente cette modélisation c'est qu'elle prend en considération, comme autres facteurs de production, le différentiel d'efficacité des exploitations agrégées par classe homogène (ERU) et qu'elle tient compte des facteurs non marchands (l'eau d'irrigation dans notre cas) à partir des quantités disponibles au lieu des prix.

Les propriétés de la fonction du profit, représentées ci-dessous, vont nous servir pour nous permettre de réduire le nombre des paramètres à estimer.

### Les propriétés de la fonction du profit :

<sup>10</sup> Nous ne cherchons pas quelle est la combinaison optimale des facteurs de productions, car nous supposons que l'agriculteur a déjà choisi la solution qui lui permet de maximiser son profit étant donné les prix des facteurs de production et les prix des produits agricoles. Nous étudions donc, directement la fonction de profit résultat de l'optimisation du revenu sans chercher à résoudre le problème complet du producteur.

<sup>11</sup> Modèle utilisé par Munisamy Gopinath et P. Lynn Kennedy, 2000, nous l'avons adapté à notre cas d'étude.

<sup>12</sup> Cette forme fonctionnelle est devenue célèbre depuis les travaux de Christensen, Jorgenson et Lau (1973, 1975) sans oublier Christensen et Greene (1976).

La fonction du profit est non négative ( $R(p, v, e) \geq 0$ ) ; elle est monotone par rapport au prix :  $\frac{dR}{dP_i} <$

0 pour les inputs et  $\frac{dR}{dP_i} > 0$  pour les outputs ; elle est homogène de degré 1 dans P, les dérivés partiels sont homogènes de degré 0 ; elle est convexe et continue dans P ; c'est fonction symétrique, d'après théorème de Yang :  $\frac{d \ln R}{d \ln P_i d \ln P_j} = \frac{d \ln R}{d \ln P_j d \ln P_i} \quad \forall \quad i, j$  ; enfin, d'après le Lemme de

Hotelling<sup>13</sup> :  $\frac{dR}{dP_i} = Y_i$

Pour vérifier les conditions de symétrie et d'homogénéité (de degré 1 en P et V), les instructions suivantes sont imposées sur les paramètres de l'équation (2) :

$$\begin{aligned} \sum_{j=A,B} a_j &= 1 ; & \sum_{j=A,B} a_{jk} &= 0 ; \\ \sum_{n=A,B} a_{jk} &= 0 ; & a_{jk} &= a_{kj} ; \\ \sum_{i=1,2} b_i &= 1 ; & \sum_{i=1,2} b_{im} &= 0 ; \\ \sum_{m=1,2} b_{im} &= 0 ; & b_{im} &= b_{mi} ; \\ \sum_{j=A,B} c_{ji} &= 0 ; & \sum_{i=1,2} c_{ji} &= 0 ; & c_{ji} &= c_{ij} ; \\ \sum_{j=A,B} f_{ji} &= 0 ; & \sum_{i=1,2} f_{ji} &= 0 ; & f_{ji} &= f_{ij} ; \\ \sum_{i=1,2} h_{im} &= 0 ; & \sum_{m=1,2} h_{im} &= 0 ; & h_{im} &= h_{mi} ; \end{aligned}$$

A partir de l'équation (2) nous pouvons déduire la part de l'amont du bassin (ERU<sub>1</sub>) dans le revenu total et de même celle de l'aval du bassin. En fait, la part de chaque partie du bassin n'est autre que le rapport de la production de cette dernière au revenu total du bassin.

Soit,  $S_A = d \ln R(P, V, E) / d \ln P_A = (dR/R) / (dP_A/P_A) = (P_A/R) \times (dR/dP_A)$

D'après le Lemme de Hotelling :  $dR/dP_A = Y_A$  ; avec  $Y_A$  la quantité d'output (d'input) en amont du bassin. D'où  $S_A = P_A Y_A / R = R_A / R$  de même,  $S_B = P_B Y_B / R = R_B / R$ .

La dérivée partielle de l'équation (2) par rapport au  $\ln P_A$  donne la relation suivante :

$$S_A = a_A + a_{AA} \ln P_A + a_{BA} \ln P_B + c_{A1} \ln V_1 + c_{A2} \ln V_2 + f_{A1} \ln E_1 + f_{A2} \ln E_2 \quad (3)$$

**Remarque:** Le passage aux parts des ERU dans le revenu global permet : d'aboutir à un système d'équations linéaires pour les résoudre ; de réduire le nombre des paramètres à estimer et de localiser l'impact des scénarios en désagrégeant les résultats par échelle d'analyse selon la disponibilité d'information.

Passons à la différentielle de l'équation (3) :

$$dS_A = a_{AA} dP_A/P_A + a_{BA} dP_B/P_B + c_{A1} dV_1/V_1 + c_{A2} dV_2/V_2 + f_{A1} dE_1/E_1 + f_{A2} dE_2/E_2 \quad (4)$$

<sup>13</sup> Qui fait partie du théorème de l'enveloppe.

A l'aide du logiciel économétrique TSP (Times Series Processor) nous pouvons estimer les coefficients de l'équation (4). Nous pouvons vérifier ainsi, l'hypothèse que la part de chaque ERU dans le revenu total dépend du système de prix, de la dotation en eau et du niveau d'efficacité pour cette ERU.

La variation du part de la zone amont du bassin dans le revenu global peut être exprimée en fonction des variations des prix, des dotations et des niveaux d'efficacité de la façon suivante :

$$dS_A = \begin{bmatrix} a_{AA} & a_{BA} & c_{A1} & c_{A2} & f_{A1} & f_{A2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dP_A/P_A \\ dP_B/P_B \\ dV_1/V_1 \\ dV_2/V_2 \\ dE_1/E_1 \\ dE_2/E_2 \end{bmatrix}$$

**Signification des paramètres :**  $a_{AA}$  : élasticité prix du produit 1 sur la part l'ERU A dans le revenu total ( $a_{AA} = \frac{dS_A}{d \ln P_A} \geq 0$  pour les produits et  $\frac{dS_A}{d \ln P_A} \leq 0$  pour les intrants) ;  $a_{AB}$  : élasticité croisée du prix de produit 2 sur la part de l'ERU A dans le revenu total ( $a_{AB} = \frac{dS_A}{d \ln P_B} \leq 0$ ) ;  $c_{A1}$  : élasticité de la dotation en eau de l'ERU A sur la part de cet ERU dans le revenu global ( $\frac{dS_A}{d \ln V_1}$  dépend de l'économie d'échelle par ERU,  $\frac{dS_A}{d \ln V_1} \geq 0$  pour une économie d'échelle croissante,  $\frac{dS_A}{d \ln V_1} \leq 0$  pour une économie d'échelle décroissante) ;  $c_{A2}$  : élasticité croisée de la dotation en eau de l'ERU B sur la part de l'ERU A dans le revenu global ( $\frac{dS_A}{d \ln V_2} \leq 0$ ) ;  $f_{A1}$  : élasticité du niveau d'efficacité de l'ERU A sur la part de cet ERU dans le revenu global ( $\frac{dS_A}{d \ln E_1} \geq 0$ ) ;  $f_{A2}$  : élasticité croisée du niveau d'efficacité de l'ERU B sur la part de l'ERU A dans le revenu global ( $\frac{dS_A}{d \ln E_2} \leq 0$ ).

L'approche adoptée consiste, à partir d'une situation observée que l'on suppose optimale, à étudier l'évolution de cette situation face aux changements (chocs) d'une ou de plusieurs variables de contrôle. L'analyse des élasticités prix et des élasticités prix croisés va nous permettre d'étudier respectivement la sensibilité du revenu global en réponse au changement des prix. L'étude des élasticités revenu par rapport aux dotations en eau va nous permettre d'identifier le coût d'opportunité de l'eau c'est-à-dire les ERUs qui maximisent le revenu global (localisation des aménagements futurs) et juger l'efficacité des aménagements déjà installés. Enfin, la mesure d'élasticité revenu par rapport au niveau d'efficacité par ERU va nous permettre de déterminer l'effet de l'efficacité sur le revenu donc de localiser les zones d'intervention. De même, nous pouvons poser le problème autrement pour une répartition des revenus données (équitable) qu'elle affectation de la ressource en eau correspondante entre les zones irriguées.

Selon la disponibilité des données, nous pouvons étudier une réallocation intra-ERU de l'eau. Sachant qu'un ERU regroupe différents modes de gestion de l'eau à savoir groupement d'intérêts communs (GIC), périmètre public irrigué (PPI) et irrigants individuels.

## Données

Cette étude s'appuie sur des données en panel ou encore coupes répétées, intègrent les deux dimensions, individuelles et temporelles, puisqu'elles correspondent à l'observation des ERUs suivis dans le temps. Sept délégations ont été concernées par la collecte de données dont cinq appartiennent au gouvernorat de Kairouan et deux au gouvernorat de Siliana. Les données collectées correspondent à la période 1994-2003. Ces données nécessaires pour nos estimations sont de deux catégories : des données observables directement tel que le prix et d'autres calculables à partir des observations tel que le revenu.

Par exemple, nous calculons le revenu par ERU à partir des fiches technico-économiques, des emblavures, de l'inventaire du cheptel par zone et des prix des intrants et des produits. Ces données sont récupérées auprès du Ministère, du CRDA de Kairouan et du CRDA de Siliana ainsi que les cellules locales propres à chaque CRDA (CTV et CRA). Les prix, sont en majeure partie des prix administrés (fixés par l'état), sont généralement disponibles au niveau du CRDA ou bien au niveau des marchés. En réalité, les prix correspondent à des indices de prix synthétiques (pondérés ou agrégés) qui relient le prix, la quantité et la nature des produits par zone. A titre d'illustration, pour une zone à trois types d'outputs (maraîchages, fruits et céréales), l'indice du prix serait le rapport de la somme des prix des trois produits divisée par la somme des quantités produites des trois. Les dotations en eau par zone sont déterminées grâce à la collaboration des responsables d'arrondissement ressource en eau du CRDA et de l'équipe "Ressource" au sein du projet Mergusie. Les niveaux d'efficacité sont à récupérer du modèle de frontière du coût stochastique déjà exposé ci-dessus.

## Conclusion et perspectives

Dans ce travail nous avons présenté quelques réflexions méthodologiques pour: i) l'estimation et l'explication du différentiel d'efficacité par zone sur le bassin de Merguellil en Tunisie Centrale selon la méthode de frontière du coût stochastique en utilisant le modèle Frontier 4.1 ; ii) l'estimation de la fonction du profit global au niveau du bassin. Elaboration des scénarios à simuler en fonction des politiques hydrauliques envisageables, orientations ou tendances des prix et déterminants de l'efficacité et calcul des effets de chocs sur les disponibilités en eau et les niveaux d'efficacité tout en tenant compte des propriétés de la fonction du profit. Ces modèles sont de plus en plus utilisés pour fonder la prise de décision, notamment en matière de politique publique. Son intérêt majeur est qu'il est fondé sur une démonstration mathématique, qui permet de généraliser et d'extrapoler les résultats. Il est possible donc, d'étudier la réallocation de la ressource inter-bassin (transfert de l'eau entre bassins) suite aux possibilités de rechargement artificiel des nappes et d'interconnexion des zones irriguées<sup>14</sup>. Ceci, peut résoudre le problème de l'irrégularité de la répartition de la ressource en eau en Tunisie et assurera une meilleure valorisation de l'eau au niveau national. Ce type de modèle, doit être conçu donc, comme un outil de décision et de dialogue avec les usagers, dans le cadre d'une gestion concertée de la ressource en eau. En effet, si l'avenir à long terme réserve des décisions de réallocation et d'arbitrage entre différents types d'usages et entre différents territoires, les règles et les critères de cette réallocation devront être les plus transparents possibles : Pourquoi cet arbitrage permet-il d'augmenter le bien-être collectif ? Qui y gagne quoi ? Quelles sont les compensations ?

## Bibliographie

AIGNER D., LOVELL C.A.K., SCHMIDT P., 1977. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics*, 6 : 21-37.

BACHTA M.S., CHEBIL A., 2002. Efficacité technique des exploitations céréalières de la plaine du Sers (Tunisie). *Série NEW MEDIT: Mediterranean Journal of Economics, Agriculture and Environment*, 1 (2) : 41-45.

BATTESE G.E., COELLI T.J., 1993. A Stochastic Frontier Production Function Incorporating a Model for Technical Inefficiency Effects. *Working Papers in Econometrics and Applied Statistics*, 69, Department of Econometrics, University of New England, Australia.

BATTESE G.E., COELLI T.J., 1995. A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. *Empirical Economics*, 20 : 325-332.

BOISSON J.M., 1988. Formation et signification Economique du prix de l'eau. *Revue de l'Economie Méridionale*, 36 (141) : 3-11.

BONNIEUX F., 1988. Spécialisation régionale et efficacité de l'agriculture. *Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales*, 8 : 5-26.

---

<sup>14</sup> Interconnexion des barrages du Nord : une nouvelle orientation en Tunisie afin de former un réseau national.

- BREWER D., SAKTHIVADIVEL R., RAJU K.V., 1997. Water distribution rules and water distribution performance: a case study in the Tambraparani irrigation system. Research report n°12, International Irrigation Management Institute.
- CHAFFAI M., 1997. Estimation de frontières d'efficacité : un survol des développements récents de la littérature. *Revue d'économie du développement*, 3 : 33-67.
- CHRISTENSEN L., JORGENSON D., LAU L.J., 1975. Transcendental Logarithmic Utility Functions. *American Economic Review*, 65 : 367-383.
- COELLI T., 1995. Estimators and Hypothesis Tests for a Stochastic Frontier Function: A Monte Carlo Analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 6 : 247-268.
- COELLI T.J., 1996. A Guide to Frontier Version 4.1 : A Computer Program for Frontier Production Function Estimation. Centre for Efficiency and Productivity Analysis Working Paper 96/07, Department of Econometrics, University of New England, Armidale.
- COELLI T.J., BATTESE G.E., 1996. Identification of Factors which Influence the Technical Inefficiency of Indian Farmers. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 40 : 103-128.
- COPINATH M., KENNEDY P.L., 2000. Agricultural trade and productivity growth: a state level analysis. *American Journal Agricultural Economics*, 82 (5) : 1213- 1218.
- CORNES R., 1992. *Duality and Modern Economics*. Cambridge University Press.
- DIEWERT E., 1973. Functional Forms for Profit and transformation Functions. *Journal of Economic Theory*, 79.
- FARREL M.J., 1957. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120 (III) : 253-290.
- GUILKEY D.K., LOVELL C.A.K., SICKLES R.C., 1980. A comparison of the performance of three flexible functional forms. *International Economic Review*, 21 (1) : 137-147.
- HORCHANI A., 1995. Gestion des ressources en eau en Tunisie. *Agriculture de Tunisie*, 8 : 9-14.
- JACQUET F., FLICHTMAN G., 1988. Intensification et efficacité en agriculture. *Economie Rurale*, 183 : 49-54.
- JAMISON D.T., LAU L.J., 1982. Farmer Education and Farm Efficiency, Chapitre 6. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- KUMBHAKAR S.C., 1997. Modeling Allocative Inefficiency in a Translog Cost Function and Cost Share Equations: An Exact Relationship. *Journal of Econometrics*, January/February : 51-56.
- KUMBHAKAR S.C., 2001. Estimation of profit functions when profit is not maximum. *American Journal of Agricultural Economics*, 83 (1) : 1-19.
- KUMBHAKAR S.C., LOVELL C.A., 2000. *Stochastic frontier analysis*. New York: Cambridge University Press.
- LAU L.J., 1972. Profit functions of technologies with multiple inputs and outputs. *Review of Economics and Statistics*, 54 (3) : 281-289.
- LEIBENSTEIN H., 1966. Allocative Efficiency versus 'X-efficiency'. *American Economic Review*, 56 : 392-415.
- MULLER J., 1974. On source of measured technical efficiency: the impact of information. *American Journal of Agricultural Economics*, 56 : 730-738.
- Murillo-ZAMORANO L. R. 2004. Economic Efficiency and Frontier Techniques. *Journal of Economic Survey*, 18 (1).
- TARDIEU H., 1999. La valeur de l'eau en agriculture irriguée : une information économique nécessaire pour mieux réguler la gestion de l'eau et des productions agricoles dans un marché ouvert. Congrès CIID de Grenade – Symposium.
- VERGES J.C., 2000. "Le juste prix de l'eau en Espagne", *Revue d'Economie Méridionale*, Vol. 48, n°191, pp. 271-233.

# Co-construction d'un outil de gestion intégrée sur le bassin du Merguellil (Tunisie)

## Articulation et cohérence de modèles

Jean-Christophe POUGET\*, Christophe CUDENNEC\*\*, Christian LEDUC\*\*\*, Patrick LE GOULVEN\*, Philippe LE GRUSSE\*\*\*\*, Jean-Christophe POUSSIN\*\*

\* IRD, US DIVHA, Montpellier, France

\*\* IRD, US DIVHA, Tunis, Tunisie

\*\*\* IRD, UMR Hydrosociétés Montpellier, France

\*\*\*\* IAMM, Montpellier, France

**Résumé — Co-construction d'un outil de gestion intégrée sur le bassin du Merguellil.** Il est proposé de concevoir un environnement de modélisation permettant d'envisager différentes alternatives de gestion du bassin correspondant à divers objectifs : valorisation, équité, durabilité. Cet environnement est fondé sur un système d'information à référence spatiale et temporelle, et propose une interface conviviale pour définir et activer différents modèles. Pour répondre à des questions concrètes de gestion, les thématiques et acteurs du projet auront à définir les liaisons entre modèles de natures différentes, en assurant la cohérence des échelles d'étude spatiale et temporelle. Par exemple, sur la nappe de Kairouan il est intéressant de tester l'impact de politiques de taxation ou d'évolution du marché sur les dynamiques d'extension des exploitations agricoles privées et publiques en liaison avec l'état des réserves en eau. Afin de capitaliser les travaux effectués, il est proposé de développer un modèle de demande basé sur une représentation technico-économique des exploitations agricoles. Sur le bassin amont, il convient de développer des modèles hydrologiques afin d'évaluer l'impact d'aménagements du territoire comme les banquettes, les lacs collinaires. Des modèles d'allocation, basés sur une représentation de type arcs-noeuds, vont être utilisés afin d'explorer les limites des aménagements. Il est ainsi possible de simuler l'évolution de l'occupation du territoire, en activant le modèle d'allocation couplé au modèle hydrologique et au modèle de demande, et de tester la faisabilité de réallocations de l'eau au sein du bassin, issues d'une modélisation économétrique. Les tests des scénarios d'évolution nécessitent de nombreuses simulations, pertinentes en terme d'évolutions socio-économiques et représentatives de l'aléa hydrologique.

**Abstract — Co-construction of an integrated management tool for the Merguellil basin.** We propose the construction of a modelling environment in order to discuss different basin management alternatives corresponding to various objectives such as valorization, equity, sustainability. This tool is based on an information system with space and temporal references and proposes a user friendly interface to define and activate various models. The work of the thematicians and actors of the project aims at defining the connections between models of different natures, by ensuring the coherence of the space and temporal scales of the studies. For instance, with the Kairouan water table, it is interesting to test the impact of tax policies or market trends on the extension dynamics of private and public farms in relation with the available water stock. We propose to develop the demand model based on a technico-economic representation of the farms. On the upper part of the basin, it is advisable to develop hydrological models in order to evaluate the impact of local projects such as the erosion banks or the small lakes. Allocation models, based on a arcs-nodes representation, will be used in order to explore the usefulness of these projects. It is possible to simulate the evolution of the land use, by activating the allocation model coupled with