

# EVALUATION DES EFFETS DU DEVELOPPEMENT DE L'IRRIGATION SUR LES EXPLOITATIONS AGRICOLES DE L'ALENTEJO. LE CAS DU PERIMETRE IRRIGUE D'ODIVELAS

RUI M. DE SOUSA FRAGOSO (\*) - CARLOS MARQUES (\*) - GUILLERMO FLICHTMAN (\*\*)

**L'**Alentejo est une région au climat méditerranéen.

La précipitation annuelle se situe entre 400 et 600 mm et elle est concentrée pendant les mois d'hiver.

L'été est chaud et très sec, les températures moyennes varient entre 21 et 25 degrés, mais quelques fois atteignent plus que 40 degrés (CPRS, 1979, vol I).

Les principales contraintes du climat à l'agriculture sont dues au manque de pluviométrie pendant l'été, ce qui limite le choix des cultures aux variétés de cycle court (Cary, 1985).

C'est-à-dire que les cultures d'hiver sont les seules qu'on puisse faire en Alentejo. Les cultures d'été seules peuvent être développées dans des sols profonds avec une bonne rétention d'eau, ou dans les zones irriguées.

Les sols présentent aussi des contraintes au niveau des surfaces de drainage et/ou de profondeur (World Bank Survey, 1984).

L'Alentejo est une région en risque de désertification humaine. Les gens en l'absence de conditions recherchent les grandes villes, le littoral et l'étranger. Selon une étude de la Hidrotécnica Portuguesa (1992), la dégradation physique qu'on voit aujourd'hui dans la région est due, notamment au bilan global de l'eau qui présente des situations de pénurie. L'eau emmagasinée pendant l'hiver ne compense pas les besoins de consommation pendant le printemps et l'été, surtout s'il y a plusieurs années de sécheresse. Les principales sources d'eau sont les fleuves Guadiana, Mi-

## ABSTRACT

The present project of Alqueva in Alentejo region foresees an increase in water availability and irrigation surface of 110.000 ha. In this article, the socio-economic impact of irrigation in Alentejo farms is assessed, considering the case of Odivelas irrigation scheme.

The methodological approach focuses on the combination of an agronomic plant growth model with a mathematical model of aggregated stochastic linear programming. The model was applied to representative farms of Odivelas irrigation scheme, considering different scenarios of allocation of pumping costs of water and of the amortization of a secondary conveyance water network. It was concluded that irrigation development produces positive socio-economic impacts on farms of Alentejo. More regular water availability makes irrigated surface and income during the water scarcity years more stable, almost the same as water rich years. These effects, on average, lead to an increase in irrigated surface, farmers' income, investments and farm labour.

## RÉSUMÉ

*Le projet actuel de l'Alqueva prévoit pour la région de l'Alentejo l'augmentation de la disponibilité en eau et de la surface d'irrigation de 110.000 ha. Dans cet article on essaye d'évaluer l'impact socio-économique du développement de l'irrigation dans les exploitations agricoles de l'Alentejo, en considérant le cas du périmètre irrigué d'Odivelas.*

*L'approche méthodologique utilisée est centrée sur la combinaison d'un modèle agronomique de croissance de plantes avec un modèle mathématique de programmation linéaire stochastique agrégé. Le modèle a été appliqué aux exploitations agricoles représentatives de zone du périmètre irrigué d'Odivelas, en considérant différents scénarios d'affectation de charges du pompage de le eau et de l'amortissement du réseau secondaire du transport de l'eau.*

*On a conclu que le développement de l'irrigation entraîne des impacts socio-économiques positifs dans les exploitations agricoles de l'Alentejo. La régularisation de la disponibilité en eau permet la stabilisation des surfaces irriguées et du revenu dans les années de pénurie d'eau, presque au niveau des années d'abondance. Ces effets en termes moyens se traduisent par l'augmentation de la surface irriguée, du revenu des exploitants, des investissements et de l'emploi agricole.*

ra, Sorraia et Caia. Les périmètres irrigués couvrent une surface d'irrigation qui atteint 70 mille hectares. Il y a encore 15 mille hectares, qui sont des petites irrigations privées (Cary, 1985). Le projet actuel de l'Alqueva, issu de la dernière étude d'impact sur l'environnement (1994) prévoit la construction et l'approvisionnement de divers barrages dans la région, qui permettront d'augmenter la surface d'irrigation d'environ 110.000 ha. Ce projet comprend trois grands systèmes d'irrigation qui seront localisés: au sud d'Évora; dans la région de Beja; et sur la rive gauche du Guadiana au sud de la ville de Moura. Ce projet a un caractère multiple puisqu'il prévoit des utilisations hydroagricole, hydroélectrique et d'approvisionnement en eau aux populations. Comme principales infrastructures du projet, on remarque: le barrage de l'Alqueva, la centrale hydroélectrique et le réseau de transport d'eau pour l'irrigation.

Selon Marques *et al.*, (1994) dans le cadre de négociations de la réforme de la PAC et du GATT, à long terme l'harmonisation des prix des produits agricoles portugais avec ceux de la CEE devra aboutir à une chute assez importante du revenu dans les systèmes agricoles traditionnels en sec. Aujourd'hui la problématique du développement de l'irrigation en Alentejo concerne la possibilité d'inverser les tendances de l'évolution négative du revenu des agriculteurs à long terme et l'exploitation des ressources naturelles de la région de façon efficace face aux politiques contraignantes comme celle de la réforme de la PAC e du GATT. Cet article a par objet d'évaluer l'impact socio-économique du déve-

(\*) Université d'Evora.

(\*\*) CIHEAM - Institut de Montpellier.

loppement de l'irrigation dans les exploitations agricoles de l'Alentejo. L'étude est effectuée au niveau du périmètre irrigué d'Odivelas. Le choix de ce périmètre est justifié par sa représentativité dans le contexte actuel de l'irrigation en Alentejo et aussi dû à son intégration dans les circuits hydrauliques de l'Alqueva dans un future proche. L'approche méthodologique utilisée est centrée sur la combinaison d'un modèle agronomique de croissance de plantes avec un modèle mathématique de programmation linéaire stochastique agrégé. L'utilisation des modèles de croissance de plants permet la prédiction des coefficients techniques concernant la productivité des cultures. Cette approche considère à la fois des aspects socio-économiques et écologiques de la production agricole ainsi que de fournir des éléments pour l'élaboration de politiques cohérentes (Boussard *et al.*, 1994). La méthode d'agrégation suivie combine plusieurs modèles d'exploitation dans un cadre d'équilibre partiel. De la même manière que le paradigme néoclassique possède une représentation idéale de l'exploitation, nous avons construit un idéal type au niveau agrégé. Cet idéal-type comprend à la fois des exploitations représentatives et les caractérisations de leurs interactions. Dans ce type d'approche, les effets des interventions peuvent être estimés au niveau global, certaines externalités peuvent être considérées, l'optimisation de ressources communes devient endogène (l'eau d'irrigation) et l'on peut tenir compte des objectifs et des contraintes individuels de chaque producteur (Deybe, 1992).

#### LE MODÈLE BIO-ÉCONOMIQUE

Le développement des structures d'irrigation conduit en général à un changement des techniques de production. Les agriculteurs vont essayer de combiner leurs facteurs de production de différentes manières, de façon à trouver les meilleurs ajustements face aux nouvelles conditions de production. Les cadres traditionnels d'analyse sont trop rigides pour pouvoir simuler une réponse satisfaisante. Une voie différente consiste à estimer les fonctions de production en utilisant les modèles de programmation linéaire. Cette démarche permet de mettre en évidence que l'élasticité de substitution n'est pas une valeur constante au niveau des différents points et repose sur la construction d'une matrice technologique (Boussemart *et al.*). Cette approche représente le comportement agronomique des exploitations représentatives d'une région étudiée. L'utilisation de la programmation linéaire se base sur la représentation de la réalité à partir de l'information technique disponible a priori (Vicien, 1989). Cette méthodologie est récente, mais en Europe il y a déjà quelques travaux qui font appel à la combinaison des modèles de croissance des plantes avec les modèles de programmation linéaire, c'est le cas du projet européen POLEN (1994) et de recherche de Fonseca (1995). Ce qui est nouveau dans

notre recherche par rapport aux travaux cités c'est l'utilisation d'un modèle de programmation linéaire agrégé au niveau de la méso-économie. L'approche méso-économique concerne une analyse au-dessus du niveau individuel des exploitations agricoles mais au-dessous du niveau global de l'économie agrégée. Un modèle méso-économique peut nous aider à visualiser les effets de la croissance du secteur au niveau régional, la répartition de la production entre les différentes fermes et sur l'environnement.

#### Les modèles de croissance de plantes

Il existe depuis quelques années des méthodes purement agronomiques pour établir des rapports input output en ce qui concerne la production végétale: ce sont les modèles de croissance de plantes. Ces modèles, dans la mesure où ils peuvent fournir à l'économiste les résultats, en termes de production, des différentes combinaisons de facteurs de production, constituent un moyen très intéressant pour la construction de fonctions de production d'ingénieur (Boussard, Jacquet et Flichman, 1987). Les modèles agronomiques permettent d'élargir le choix des cultures, les rotations et les techniques de culture sans qu'il faille attendre les résultats de la recherche agronomique. On peut simuler de nouvelles techniques de production et obtenir les résultats, sans qu'il faille avoir des données réelles. Bien sûr, il faut comme point de départ les données réelles de la recherche, elles sont très importantes pour donner toute sa valeur au modèle agronomique (Blaskovic, 1992). Après la validation du modèle agronomique, nous pouvons établir plusieurs fonctions de production basées sur différentes techniques de culture. Comme le souligne Vicien, (1989) "ce type de modèle de simulation peut être employé pour l'évaluation de différents systèmes de production agricole, pour l'estimation des résultats des diverses techniques de culture, pour la prédiction des rendements dans différentes régions, pour l'ajustement de certaines techniques comme l'irrigation ou la fertilisation et, enfin, pour l'évaluation de la dégradation du sol dû à l'érosion et des systèmes de culture qui supposent une utilisation trop intensive du sol". Il y a divers types de modèles agronomiques, EPIC<sup>(1)</sup> a été le modèle que nous avons pris comme référence pour faire notre étude. C'est un modèle américain mis en place depuis 1981 par l'équipe du Blaklands Research Station à Temple (Texas). Ce simulateur propose une vision plus globale des systèmes agronomiques par rapport aux modèles traditionnels (CERES - Maize, CERES - Wheat,...). EPIC a été créé d'abord pour représenter les processus liées à l'érosion du sol et mettre en évidence l'influence de celle-ci sur la productivité du sol (J. Williams *et al.*, 1984). EPIC simule l'in-

(<sup>1</sup>) Erosion Productivity Impact Calculator.

teraction entre les processus du sol, du climat, de la plante et la conduite des cultures. Etant donné une série d'intrants et de contraintes physiques, ce modèle optimise le rendement agronomique de près de 70 cultures différentes (J. Williams *et al.*, 1990). Il nous permet de mesurer les conséquences de changements dans les techniques de production sur les rendements et sur certains paramètres de l'environnement (percolation de nitrates...).

### Le modèle de programmation mathématique

L'élaboration d'un modèle économique de programmation mathématique au niveau de l'exploitation agricole fait appel à un grand nombre de données, qui définissent les environnements agronomique et économique. Il faut avoir des coefficients biologiques et des techniques de culture, des activités d'élevage et les ressources des exploitations (quantité et qualité de terre disponible, eau d'irrigation, ressources financières, main-d'œuvre, équipements, etc.). Les caractéristiques de l'environnement économique sont introduites dans le modèle par des prix et des subventions des produits agricoles et des coûts de production. Les coefficients techniques concernant la productivité des cultures et la variabilité ont été simulés avec le modèle EPIC, ainsi que les paramètres de l'environnement relatifs aux pertes de nitrates. Pour compléter l'information, nous avons utilisé l'information récoltée sur le terrain auprès des agriculteurs et des agronomes de la région ainsi que des publications du Ministère de l'Agriculture du service du R.I.C.A. Le modèle développé dans cette étude est un modèle stochastique de programmation linéaire agrégé au niveau des exploitations représentatives de la zone du périmètre irrigué d'Odivelas à l'Alentejo. La structure stochastique utilisée est centrée sur la variabilité de la disponibilité d'eau dans le barrage d'Odivelas. Elle se base sur la méthode utilisée par Marques (1988) et par Pluvinage (1995). Ceci permet d'introduire dans un modèle statique de long terme le caractère des décisions individuelles de court terme, par rapport aux variations des réserves d'eau. La structure de long terme des entreprises agricoles est fixe (le matériel, la main-d'œuvre permanente, les troupeaux, ...), mais tout ce qui concerne les décisions de court terme sera pensé en fonction des réserves d'eau (le type de cultures annuelles à mettre en place, les superficies à irriguer, les techniques, l'embauche de la main-d'œuvre saisonnière, le crédit à court terme, ...). Le risque dans ce modèle prend en compte l'incertitude d'avoir de l'eau pour l'irrigation, les effets de la variabilité climatique sur le rendement des cultures et le jeu des anticipations sur le marché des produits agricoles. Pour modéliser le risque sur la quantité disponible d'eau chaque année nous avons utilisé une structure stochastique concernant trois états de nature de disponibilité d'eau au barrage d'Odivelas (année humide, moyenne et de pénurie). La va-

riabilité sur le rendement des cultures et les prix de produits agricoles a été modélisée moyennant l'utilisation de la méthode connue sur l'appellation "Mean-Variance (E, V) Analysis" proposée par Hazell (1986) et adaptée par Flichman et al dans le projet POLEN (1994). Cette méthode est centrée sur la minimisation des déviations négatives moyennes par rapport à un revenu minimum qui est exogène. Chaque activité végétale est définie en fonction des sorties d'EPIC (rendements, méthode d'irrigation et la quantité de fertilisant et d'eau appliquée) et des années type considérées pour la disponibilité d'eau dans le barrage d'Odivelas. La variabilité de la production des cultures a été simulée avec EPIC. Les simulations ont permis d'établir trois états de nature (bon, moyen et mauvais) pour la production végétale. Dans le domaine des productions fourragères, les variations dans la production de l'alimentation pour l'élevage sont ajustées dans une structure stochastique en fonction des états de nature de production végétale par de l'achat de aliments de bétail dans le marché de facteurs de production. Pour la variation des prix, nous avons considéré une expectative de variation sur les prix moyens des produits agricoles avec deux états de nature (bon et mauvais). Les états de nature concernant la variabilité de la production des cultures sont indépendants des états de nature d'eau disponible. Le rendement des cultures dépend plus de l'occasion des apports d'eau que de la quantité disponible d'eau dans le barrage. Le modèle par chaque état de nature de disponibilité d'eau inclut les trois états de nature de production végétale dans une structure stochastique et aussi les deux états de nature concernant la variation des prix. Dans l'agrégation, nous avons considéré les transferts entre les exploitations concernant la terre, les biens d'équipement et l'eau d'irrigation. Il faut remarquer qu'en ce qui concerne le partage de l'eau entre les exploitations, ce n'est pas vraiment un transfert de ressources mais la gestion communale d'une ressource. Les coûts des transferts de la terre et des équipements entre les exploitations ont été évalués aux prix du marché. Dans la formulation de notre modèle la fonction objectif est la maximisation d'une utilité espérée  $U$  telle que:

$$\begin{aligned} \text{MAX } U &= E - \theta \lambda \text{ avec:} \\ E &= \text{PROB}_n * (\sum_{\text{ex}} \sum_j C_j X_{j,\text{ex},n} + \sum_{\text{ex}} \sum_j C_j T_{j,\text{ex}} - \sum_{\text{ex}} F_{\text{ex}} \\ &\quad - \sum_{\text{ex}} \sum_{\text{im}} C_{\text{ex,im}} * \text{INVE}_{\text{ex,im}} - p_t \text{BETAIL}_{t,n}) \\ \theta &= \sum_{\text{ex}} \theta_{\text{ex}} \\ \lambda &= \sum_{\text{ex}} \lambda_{\text{ex}} \end{aligned}$$

où,  
 $\text{PROB}_n$  – la probabilité d'occurrence des états de nature (n) de disponibilité d'eau;  $C_j$  – la marge brute par activité;  $X_{j,\text{ex},n}$  – les activités végétales par type d'exploitation et état de nature de disponibilité d'eau;  $T_{j,\text{ex}}$  – les activités d'élevage par exploitation;  $F_{\text{ex}}$  – les coûts fixes

par exploitation;  $INVE_{ex,im}$  – investissement par type d'équipement d'irrigation et exploitation; CI – coût de l'investissement de l'équipement d'irrigation par hectare;  $t$  – états de nature définis pour la variabilité des rendements des cultures et d'anticipation sur la variabilité des prix;  $p_t$  – probabilité d'occurrence des états de nature ( $t$ ); BETAAIL – achat des aliments de bétail dans le marché de facteurs de production par état de nature ( $t$ ) et ( $n$ );  $\theta$  – la somme des coefficients d'aversion au risque dans les différentes exploitations;  $\lambda$  – la somme des déviations moyennes négatives des différents fermes pour le rendement des cultures et la fluctuation des prix;

sous l'ensemble des contraintes techniques et financières du modèle dont nous allons présenter les principales seulement.

Les contraintes de risque:

$$DISP_n - \sum_{ex} \sum_i X_{i,ex,n} B_{i,ex} \geq 0$$

$$Y0_{ex} - \sum_{ex} \sum_j C_{j,t} X_{j,ex,n} + \sum_{ex} \sum_j T_{j,ex} - Z_{t,n,ex} \leq 0$$

$$\sum_t p_t Z_{t,n,ex} \leq \lambda_{ex}$$

où

$DISP_n$  – disponibilité totale d'eau d'irrigation par état de nature;  $B_i$  – besoins individuels des cultures en  $m^3$  d'eau par hectare;  $Y0_{ex}$  – le revenu minimum par ferme et  $Z$  – les déviations négatives par état de nature ( $t$ ) et ( $n$ ) et par exploitation ( $ex$ ).

Les principales contraintes techniques:

$$\sum_j X_{j,exp,n} \leq RESS_{exp} - RESS_{exl}$$

$$\sum_j X_{j,exl,n} \leq RESS_{exl}$$

$$X_{im,ex,n} \leq INVE_{ex,im}$$

$$\sum_{ex} Y_{f,t} X_{j,ex,n} + BETAAIL_{f,n} - N_f T_{j,ex} \geq 0$$

où

$RESS_{exp}$  – ressources propres (terre sur le mode faire valoir direct et équipements propres);  $RESS_{exl}$  – ressources en location (terre en fermage et location d'équipement);  $Y$  – la production fourragère;  $f$  – les nutriments des aliments, énergie (MJ); protéine brute (kg) et capacité maximale d'encombrement (kg de MS);  $N$  – Besoin de nutriments du troupeau.

#### L'APPLICATION DES MODÈLES

##### BIO-ÉCONOMIQUES:

##### UNE ANALYSE PROSPECTIVE DES EFFETS DU DÉVELOPPEMENT DE L'IRRIGATION DANS LES EXPLOITATIONS AGRICOLES DU PÉRIMÈTRE D'ODIVELAS

Les simulations sont basées sur l'augmentation et la régularisation de la quantité d'eau disponible dans le barrage d'Odivelas, grâce à des

possibilités d'affectation des charges concernant le pompage et l'amortissement du réseau secondaire de transport de l'eau. Nous avons considéré cinq scénarios (voir **tableau 1**), un de base qui concerne l'actuelle situation de disponibilité d'eau dans le périmètre d'Odivelas et quatre scénarios alternatifs avec le projet de l'Alqueva:

**Scénario 1:** C'est le scénario de base. Dans ce scénario, nous avons considéré les disponibilités d'eau du barrage d'Odivelas sans le projet de l'Alqueva et les niveaux actuels des prix pour l'eau et les taux d'irrigation à l'hectare.

**Scénario 2:** Dans ce scénario on considère la régularisation des disponibilités d'eau au barrage d'Odivelas entraîné par le projet d'Alqueva, mais par rapport au scénario de base, il n'y a pas de changement dans les charges d'entretien des structures d'irrigation. C'est l'état qui supporte toutes les charges du pompage de l'eau et l'amortissement des investissements dans la construction du réseau secondaire de transport de l'eau.

**Scénario 3:** Dans ce scénario on considère la régularisation des disponibilités d'eau au barrage d'Odivelas entraîné par le projet d'Alqueva, mais par rapport au scénario de base, les agriculteurs supportent le coût de fonctionnement des structures actuelles d'irrigation et 70 % du coût du pompage de l'eau. L'état supporte 15% des charges du pompage de l'eau et l'amortissement des investissements dans la construction du réseau secondaire de transport de l'eau.

**Scénario 4:** Dans ce scénario on considère la régularisation des disponibilités d'eau au barrage d'Odivelas entraîné par le projet d'Alqueva, mais par rapport au scénario de base, les agriculteurs supportent le coût de fonctionnement des structures actuelles d'irrigation et la totalité du coût du pompage de l'eau. L'état supporte l'amortissement des investissements dans la construction du réseau secondaire de transport de l'eau.

**Scénario 5:** Dans ce scénario on considère la régularisation des disponibilités d'eau au barrage d'Odivelas entraîné par le projet d'Alqueva, mais par rapport au scénario de base, les agriculteurs supportent le coût de fonctionnement des structures actuelles d'irrigation, les coûts du projet concernent le pompage de l'eau et 15 % de l'amortissement des réseaux secondaires du trans-

**Tableau 1 Les principales caractéristiques des scénarios considérés.**

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
Eau disponible année N1 ( $m^3$ )	1115200	1115200	1115200	1115200	1115200
Eau disponible année N2 ( $m^3$ )	656000	656000	656000	656000	656000
Eau disponible année N3 ( $m^3$ )	94220	656000	656000	656000	656000
Prix de l'eau année N1 (esc./ $m^3$ )	1	1	2.1	2.7	2.7
Prix de l'eau année N2 (esc./ $m^3$ )	1.5	1.5	2.8	3.6	3.6
Prix de l'eau année N3 (esc./ $m^3$ )	3.5	3.5	4.5	6.2	6.2
Taux d'irrigation (milliers d'esc./ha)	2	2	2	2	3.8

Note: N1 année bonne, N2 année moyenne et N3 année de pénurie d'eau.  
Source: Fragoso, 1996.

port de l'eau. L'État participe avec 85% de l'investissement du réseau secondaire du transport de l'eau.

La structure considérée pour les prix des produits agricoles est celle qui a été prévue pour l'année 2003/04 (Ministère de l'agriculture, 1992) et les simulations ont été réalisées sur des exploitations représentatives de la zone du périmètre irrigué d'Odivelas.

### Les principales caractéristiques des exploitations modélisées

Selon les critères considérés, la taille des exploitations, le mode de faire-valoir et l'accès aux biens de production (main-d'œuvre et capital), on trouve trois types d'entreprises agricoles régionales représentatives (voir **tableau 2**), qui sont: les entreprises agricoles du type familial marchand, les cultivateurs "os seareiros" et les grandes entreprises agricoles de type capitaliste.

**Type 1** - Les exploitations agricoles de type familial marchand sont des entreprises de taille inférieure à 50 ha, le mode de faire-valoir prédominant est le fermage fixe de longue durée, la main-d'œuvre est presque entièrement familiale et la production a par but le marché. Les systèmes de production sont orientés vers les grandes cultures de rente (le blé et le tournesol), le melon et la tomate. Ces exploitations ont leur propre machinerie agricole, mais quelquefois elles font la location de matériel agricole lourd à l'extérieur. La surface irriguée est dans la majorité des cas supérieure à 20 % de la SAU. Le système d'irrigation par gravité est le plus courant. L'irrigation goutte-à-goutte commence à se développer pour les cultures du melon et de la tomate. Ces exploitations représentent plus que 50 % des exploitations et moins d'un quart de la SAU de la zone du périmètre irrigué d'Odivelas.

**Type 2** - Les cultivateurs "os seareiros", sont des producteurs sans terre qui louent la terre seulement pendant le cycle de la campagne de la tomate. En général,

ce sont aussi des fournisseurs de services de location d'équipement agricole aux autres exploitations. Les techniques d'irrigation sont dans la plupart des cas rudimentaires. Le système d'irrigation par gravité est le plus utilisé.

**Type 3** - Les grandes entreprises agricoles de type capitaliste ont une taille moyenne supérieure à 200 ha, le mode de faire-valoir prédominant est le mode direct. La plupart utilise la main-d'œuvre salariée. Dans certains cas, le degré de mécanisation est assez élevé. Les systèmes agricoles sont basés sur les grandes cultures de rente et sur la production de pâturages et fourrages pour l'alimentation du troupeau. L'élevage de bovins et d'ovins sont les plus fréquents. En général, le poids de la surface irrigable dans la SAU est faible (en moyenne, elle ne dépasse pas 10 %), mais il y a certains cas de spécialisation en cultures irriguées où la surface irrigable est bien supérieure. Les cultures irriguées les plus importantes dans ces exploitations sont le tournesol, le maïs, le riz et la tomate. Comme dans les autres types d'exploitations, c'est le système d'irrigation par gravité qui prédomine, par contre on assiste aujourd'hui à un développement assez important des systèmes d'irrigation par aspersion. Ces exploitations représentent 6 % des exploitations et 55 % de la SAU dans la zone d'étude.

Les fermes du type 1 et 2 ont un statut de fermage qui leur permet d'utiliser une partie de la terre qui appartient à l'exploitation du type 3. L'exploitation du type 2 est spécialisée dans la production de la tomate. C'est aussi une entreprise de location de matériel agricole qui loue des machines agricoles aux autres exploitations des types 1 et 3 (Fragoso, 1996).

### Les résultats

La mise en place du projet de l'Alqueva dans la zone du périmètre d'Odivelas entraîne l'augmentation de la surface irriguée, qui passe de 18% à 24%. Dans la situation initiale, le rapport surface irriguée/surface irrigable était de 46 %, ce qui dans les situations de projet remonte à 60 %. Par contre même avec l'Alqueva il reste encore 40 % de la surface irrigable qui n'est pas irriguée. La surface irriguée augmente dans toutes les exploitations. Pour le scénario 1, le poids de la surface irriguée dans les exploitations du type 1 et 2 était environ 90% et 15 % dans exploitation du type 3. Avec le projet, le poids de la surface irriguée dans les exploitations du type 1 et 2 remonte jusqu'à 100 % et dans l'exploitation du type 3 à 20 %

**Tableau 2 Les exploitations représentatives.**

Facteurs de production disponibles	Exploitations		
	Type 1	Type 2	Type 3
Terre (ha)	28	25	600
Terre en fermage %	100	100	0
Surface irrigable %	100	100	40
Surface irriguée %	54	100	16
Céréales d'hiver %	32	0	0
Céréales d'été %	0	0	11
Oléagineux %	43	0	9
Pâturages + fourrages %	0	0	69
Fruits et légumes %	7	100	0
Irrigation aspersion enrouleur (ha)	0	0	100
Travail familiale (UTA)	2	1	0
Travail salarié (UTA)	0	1	4
Travail saisonnier (h)	0	20000	0
Tracteurs (no.)	1	2	3
Vaches allaitants (no.)	0	0	150

Source: Fragoso, 1996.

de la surface totale. Au niveau de l'assolement il y a une croissance dans les surfaces des oléagineux irrigués (2-3%), des fruits et légumes (1%), des fourrages irrigués (2-3%) et des pâturages en sec (5%). Cependant on constate la diminution de la surface des céréales en sec (1-2%) et le modèle ne fait plus en sec ni d'oléagineux ni de fourrages (voir **tableau 3**). Dans les situations du projet, l'augmentation de la surface des fourrages irrigués permet d'augmenter les sources fourragères, la surface de fourrage en sec du scénario 1 étant remplacée dans les scénarios alternatifs par l'augmentation de la surface en pâturage. Au niveau de la politique agricole l'augmentation de la surface des fruits et légumes est conditionnée par le régime de quotas de la tomate. Les méthodes d'irrigation utilisées concernent la gravité dans les grandes cultures (tournesol) et la goutte-à-goutte dans les fruits et légumes.

Pour les scénarios alternatifs, on peut constater une croissance des surfaces irriguées par gravité (4%) et goutte-à-goutte (1%), par rapport au scénario de base. La rentabilité des systèmes d'irrigation par aspersion dépend des économies d'échelle. Quand on fait tourner le modèle en considérant des économies d'échelle pour les investissements des équipements d'irrigation pivot et enrouleur au niveau minimum de 30 ha, ces systèmes ne sont plus une alternative. Si on considère un niveau d'économie d'échelle plus bas (20 ha) la méthode d'irrigation par pivot apparaît comme la solution optimale alternative à l'irrigation par gravité. On vérifie aussi une certaine intensification technique qui entraîne les niveaux de pollution par les pertes de nitrates dans le sol. Cela passe de 23.54 kg/ha dans le scénario de base vers 25-28 kg/ha dans les autres scénarios alternatifs (voir **tableau 4**).

L'augmentation de la surface irriguée préconisée par le projet de l'Alqueva dans la zone actuelle du périmètre d'Odivelas permet la croissance du revenu des exploitants. C'est dans le scénario 2, que ce profit est le plus élevé (40 %). Pour les autres scénarios l'augmentation du revenu se situe entre 26 et 33%. On vérifie aussi la croissance de l'emploi agricole, des investisse-

ments et de la consommation d'eau. Le niveau de l'emploi et de la consommation d'eau remontent, respectivement, 31% et 37% dans le scénario 2 et 26% et 19% dans les autres scénarios. L'investissement croît 17% dans tous les scénarios alternatifs de la situation de projet (voir **tableau 5**).

La croissance de la surface irriguée entraîne l'augmentation de charges de production et de la recette totale dans toutes les exploitations agricoles. Dans celles du type 1 et 2 les charges remontent de 6% pour le scénario 2 jusqu'à 12% pour le scénario 5. La croissance de la recette totale est d'environ 10%. Dans ces exploitations la recette totale est indépendante des subventions de la PAC. Dans l'exploitation du type 3, les charges ont aug-

**Tableau 3 L'utilisation du sol en % de la surface totale.**

Surface	Scénario 1	Scénario 2	Scénarios 3, 4 et 5
Totale en sec	81.5	76	76
Totale irriguée	18.5	24	24
Céréales d'hiver en sec	13.10	12.08	12.68
Oléagineux en sec	3.8	0.00	0.00
Oléagineux irrigués	10.02	12.08	12.68
Fruits et légumes	6.68	7.73	7.73
Fourrages en sec	6.36	0.00	0.00
Fourrages irrigués	1.80	4.49	3.10
Pâturages	55.03	60.00	60.00
Gel de terres	3.93	3.62	3.80

Source: Résultats du modèle.

**Tableau 4 La méthode d'irrigation, les techniques et les pertes de nitrates.**

Méthode d'irrigation (%)	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3, 4 et 5
Gravité	11.82	16.57	15.78
Goutte-à-goutte	6.68	7.73	7.73
Techniques (%)	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 5
T1	80.04	78.56	72.93
T2	9.90	9.36	14.39
T3	0.00	5.37	12.68
T4	0.03	0.00	0.00
T5	10.02	6.71	0.00
Pertes d'azote (kg/ha)	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 5
Nitrates	23.54	27.93	25.00

Source: Résultats du modèle.

**Tableau 5 Les indices des principaux indicateurs socio-économiques.**

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
Revenu net total	100	140	133	128	126
Emploi agricole	100	131	126	126	126
Investissements	100	117	117	117	117
Consommation d'eau	100	137	119	119	119

Source: Résultats du modèle.

menté de 20% pour le scénario 2 et de 13-15% pour les autres, l'évolution de la recette totale, étant respectivement, de 30% et de 20%. Les subventions remontent à 19% pour le scénario 2 et à 15% dans les autres et son poids dans la recette totale se maintient à 40%. Cette évolution de la recette totale et des charges de production a permis l'augmentation du revenu net.

Dans les exploitations du type 1 et 2 la croissance a varié entre 5% (scénario 5) et 10% (scénario 2).

Pour l'exploitation du type 3, le revenu a remonté de 124 milliers d'escudos dans le scénario 1 à 3171 milliers d'escudos dans le scénario 2. Pour les autres scénarios, dans les quels les charges d'irrigation sont supérieures, le revenu net a été toujours au dessus de 2000 milliers d'escudos, mais dans un niveau inférieur à ceux du scénario 2 (voir **tableau 6**).

La quantité réduite d'eau disponible dans l'année de pénurie du scénario 1 oblige à utiliser une surface d'irrigation beaucoup plus petite que celle des années humides et moyennes. L'assolement de l'année de pénurie est plus diversifié, les cultures en sec ayant un poids supérieur à celui des années humides et moyennes. Selon le **tableau 7**, le pourcentage du rapport surface irriguée/surface totale dans l'année de pénurie est 67%, 50% et 0.4% pour les exploitations du type 1, 2 et 3, respectivement.

Par contre dans les années humides et moyennes toutefois ces chiffres sont de 100% pour les exploitations du type 1 et 2 et de 19% pour l'exploitation du type 3.

La régularisation des disponibilités d'eau entraînée par le projet d'Alqueva à Odivelas permet d'augmenter la surface irriguée dans l'année de pénurie d'eau jusqu'au niveau des années humides et moyennes. La stabilisation de la surface irriguée dans l'année de pénurie d'eau jusqu'au niveau des années humides et moyennes permet de dégager aussi la régularisation du revenu des exploitations agricoles. Pour la situation actuelle

(scénario 1) on constate que le revenu net des exploitations du type 1 et 2 dans l'année de pénurie est inférieur de presque 50% par rapport à celui des années humides et moyennes.

**Tableau 6 Le revenu et les charges par exploitation (milliers d'escudos).**

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
<b>Exploitation 1</b>					
Total de charges	3855	4090	4108	4123	4134
Recette totale	4645	5002	5002	5002	5002
Subventions	13	0	0	0	0
Revenu net	823	912	894	879	868
<b>Exploitation 2</b>					
Total de charges	17291	19061	19239	19383	19428
Recette totale	27401	30463	30463	30463	30463
Revenu net	10110	11402	11224	11080	11035
<b>Exploitation 3</b>					
Total de charges	34427	41315	38891	39278	39477
Recette totale	34551	44486	41523	41523	41523
Subventions	13272	15855	15318	15318	15318
Revenu net	124	3171	2632	2245	2046

Source: Résultats du modèle

**Tableau 7 La surface irriguée par type d'exploitation agricole et d'année de disponibilité d'eau (%).**

Surface irriguée	Scénario 1	Scénario 2	Scénarios 3, 4 et 5
<b>Exploitation 1</b>			
Année humide (n1)	100	100	100
Année moyenne (n2)	100	100	100
Année de pénurie (n3)	67	100	100
<b>Exploitation 2</b>			
Année humide (n1)	100	100	100
Année moyenne (n2)	100	100	100
Année de pénurie (n3)	50	100	100
<b>Exploitation 3</b>			
Année humide (n1)	19	20	19
Année moyenne (n2)	19	20	19
Année de pénurie (n3)	0.4	20	19

Source: Résultats du modèle.

**Tableau 8 Le revenu net des exploitations par type d'année de disponibilité d'eau (milliers d'escudos).**

Type de année	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
<b>Exploitation 1</b>					
Humide n1	925	925	908	898	888
Moyenne n2	917	917	897	884	874
Pénurie n3	438	886	870	844	833
<b>Exploitation 2</b>					
Humide n1	11529	11529	11364	11274	11229
Moyenne n2	11454	11454	11259	11139	11094
Pénurie n3	5532	11154	11004	10749	10704
<b>Exploitation 3</b>					
Humide n1	3079	3585	3006	2765	2566
Moyenne n2	2867	3323	2724	2405	2204
Pénurie n3	-9271	2393	2040	1355	1156

Source: Résultats du modèle.



Dans le cas de l'exploitation du type 3, le revenu net a même une valeur négative (-9271 milliers d'escudos). Quand on considère les situations de projet le revenu net des exploitations du type 1 et 2, dans les années de pénurie d'eau remonte presque aux niveaux de l'année moyenne.

Pour l'exploitation du type 3, le revenu net devient positif, celui-ci étant de 25-50% au dessous de celui de l'année moyenne (voir **tableau 8**).

## CONCLUSION

La mise en place du projet d'Alqueva va permettre augmenter la disponibilité en eau dans la région de l'Alentejo et la surface d'irrigation de 110.000 ha. Au niveau de l'actuelle structure du périmètre irrigué d'Odivelas, les effets du projet seront d'abord la régularisation des disponibilités en eau pour l'irrigation dans les années de pénurie.

L'application du modèle bio-économique aux exploitations agricoles représentatives de zone du périmètre irrigué d'Odivelas, si on considère différents scénarios d'affectation de charges du pompage d'eau et de l'amortissement du réseau secondaire du transport d'eau, nous permet de conclure que le développement de l'irrigation entraîne en générale des impacts socio-économiques positifs dans les exploitations agricoles de l'Alentejo. La régularisation des disponibilités en eau permet la stabilisation des surfaces irriguées et du revenu dans les années de pénurie d'eau presque au niveau des années d'abondance. Ces effets en termes moyens se traduisent par l'augmentation de la surface irriguée et du revenu des exploitants. Ceci permet, en partie, d'inverser les tendances de perte de revenu des exploitants et l'exploitation efficace des ressources naturelles de la région.

Le développement de l'irrigation dans les exploitations agricoles de l'Alentejo peut entraîner une certaine intensification technique, qui dynamisera le marché de facteurs de production, une puisque l'on constate la croissance des charges de production, de l'investissement et de l'emploi agricole et de la consommation d'eau.

Cependant le développement d'un modèle agricole plus intensif a des conséquences négatives sur l'environnement, notamment au niveau de la pollution par les pertes de nitrates dans le sol.

En ce qui concerne l'assolement de cultures, les fruits et légumes ont un rôle décisif dans l'utilisation des nouvelles surfaces irriguées.

Les fourrages et les oléagineux d'irrigation sont aussi des cultures à prendre en considération. Mais les céréales d'hiver en sec et les pâturages naturels continuent à avoir une place importante dans les systèmes agricoles de l'Alentejo.

Les principaux obstacles au développement de l'irrigation sont la politique agricole actuelle issue des ac-

cords de la réforme de la PAC et du GATT, le régime de quotas de production pour certains produits de la branche des fruits et légumes comme c'est le cas de la tomate et l'absence d'une agro-industrie et de circuits de commercialisation efficaces. ●

## RÉFÉRENCES

Blaskovic H. (1992) - Une analyse des systèmes de production agricole socialisé dans la région continentale de Croatie et des possibilités de réorganisation. Tentative d'utilisation des modèles, Montpellier: Institut Agronomique Méditerranéen. Thèses et Masters n. 17.

Boussemart J. Ph., Flichman G., Jacquet Florence, Lefer H. B. (1995) - L'apport des modèles bio-économiques à l'analyse des politiques agricoles. *Journées I.F.R.E.S.I.*, Janvier.

Cary Francisco (1985) - Enquadramento e Perfis do Investimento Agrícola no Continente Português. Lisboa: Banco de Fomento Nacional. Estudos 22, Vol. 2.

Deybe Daniel (1992) - Politiques pour une agriculture durable. Essai sur la gestion de ressources naturelles renouvelables. Paris: Université de Paris -I- Pantheon-Sorbonne. Thèse de Doctorat en Science Économique.

Fonseca Maria B. (1995) - Analyse des impacts socio-économiques et des effets sur l'environnement des politiques agricoles: Modélisation de l'utilisation agricole des ressources en eau dans la région espagnole de Castilla-León. Montpellier: C.I.H.E.A.M. - I.A.M., Janvier. Master of Science.

Fragoso Rui M. S. (1996) - évaluation des impacts socio-économiques du développement de l'irrigation: Le cas de l'agriculture dans la région de l'Alentejo. Montpellier: C.I.H.E.A.M. - I.A.M., Mai. Master of Science.

Hazell P. B. R., Norton R. (1986) - *Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture*. New York: Mac Millan Publishing Company.

Hidrotécnica Portuguesa (1992) - Empreendimentos de Fins Múltiplos de Alqueva: Estudo de Avaliação Global Síntese, Hidrotécnica Portuguesa.

Jacquet F., Pluvinage J. (1995) - Les effets de l'incertitude climatique sur la prise de décision des agriculteurs en zone semi - aride méditerranéenne. Un modèle de programmation stochastique discrète, appliqué aux exploitations céréales-élevage de la région de Sidi Bel Abbés en Algérie. article à paraître février.

Marques Carlos A. F. (1988) - Portuguese Entrance into the European Community: Implications for Dry Land Agriculture in the Alentejo Region. West Lafayette, Indiana: Purdue University. Ph. D. Dissertation.

Ministério da Agricultura (1992) - Reforma da PAC - Síntese dos Principais Aspectos. Gabinete do Ministro, Maio.

Ministério da Agricultura, Projecto Nacional de Desenvolvimento Agrícola Parte I: O Alentejo. Ministério da Agricultura.

Sociedade de Engenharia e Inovação Ambiental (S.E.I.A.), Estudo de Impacto Ambiental do Empreendimento do Alqueva. S.E.I.A., 1995.

Universidade de Évora (1994) - Analysis of the Socio-Economics Impacts of Agricultural Policy Reform in Certain European Regions: Competitiveness and Environmental Protection. Evora: Universidade de Evora. POLEN, Final Report for ECC Contract no. 8001-CT91-0306.

World Bank (1984) - Portugal Agricultural Sector Survey. A Near-Term Action Program for Agriculture. Washington: World Bank Regional Projects Department. Report n. 5007-PO, Vol. 4, D.C.

Williams J. R., Jones C. A., Dyke, P. T. (1984) - The EPIC Model and its applications. in Proceedings of International Symposium on Minimum Data Sets For Agrotechnology Transfer, International Crops Research Institut for the Semi-Arid Tropics, Patancheru: 111-121.

Williams J. R., Dyke P. I., Fuchs W. W., Benson V. W., Rice O. W. et Taylor E. D. (0000) - EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator - User Manual. USDA, 2,1-13.

Vicien Carmen (1989) - Les modèles de simulation comme outil pour la construction des fonctions de production: une application à la mesure de l'efficacité de la production agricole. Montpellier: C.I.H.E.A.M.-I.A.M., Septembre. Master of Science.