

Un modèle bio-économique pour analyser l'impact de la politique de conservation des eaux et du sol.

In: Économie rurale. N°252, 1999. pp. 55-64.

Abstract

A bio-economic model for analysing the impact of soil and water conservation policies applied to a tunisian farm
The present study applied on a big farm in Tunisia, based on a double observation relative to the gravity of the erosion and, on the other hand, the importance of public expenditures for water and soil conservation aiming to lessen this phenomenon. The divergence of results obtained by the adoption of conservation techniques constitutes the principal reason for questioning of this public intervention. The quantitative evaluation of the impact of these conservation on yield, the farming system and on the profitability of capital invested as well as on the erosion constitutes, there fore, the essential objective of this study. The bio-economic approach combining the use of a biophysical simulator and an economic optimization model is proposed as method to judge this efficiency.

Résumé

Le présent travail appliqué à la Tunisie, part d'un double constat relatif, d'une part, à la gravité de l'érosion et, d'autre part, à l'importance des dépenses publiques en matière de conservation des eaux et du sol visant à atténuer ce phénomène. La contradiction de ce double constat et la divergence des résultats obtenus par l'adoption de ces aménagements de conservation constituent le déterminant principal pour la remise en cause de l'efficacité de cette intervention publique. L'évaluation quantitative de l'impact de ces aménagements sur le rendement, le système de production et par là sur la rentabilité des capitaux investis ainsi que sur l'érosion constituent, donc, l'objectif primordial de ce travail. L'approche bio-économique qui couple l'emploi d'un simulateur biophysique à un modèle d'optimisation économique est avancée comme une meilleure méthode pour juger cette efficacité.

Citer ce document / Cite this document :

Louhichi Kamel, Flichman Guillermo, Zekri Slim. Un modèle bio-économique pour analyser l'impact de la politique de conservation des eaux et du sol. In: Économie rurale. N°252, 1999. pp. 55-64.

doi : 10.3406/ecoru.1999.5101

http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/ecoru_0013-0559_1999_num_252_1_5101

Un modèle bio-économique pour analyser l'impact de la politique de conservation des eaux et du sol

Le cas d'une exploitation agricole tunisienne

Partout dans le monde, les questions environnementales sont devenues une préoccupation majeure affichée par de multiples agents dans leurs comportements sociaux, politiques, et de plus en plus économiques et ce, afin de conserver ou de reconstituer de meilleures conditions de vie pour les populations, et d'assurer un développement économique et social durable.

Les dégradations environnementales occasionnées par l'urbanisation, l'industrialisation, l'agriculture, les activités croissantes de transport, créent des limitations dans l'utilisation des ressources de l'environnement, susceptibles de freiner, voire de bloquer le rythme de développement.

Ces problèmes se sont posés dans tous les pays avec plus ou moins d'acuité selon le niveau de développement. Les affronter n'est pas seulement une nécessité dans les pays riches. Dans les pays pauvres, de telles mesures permettraient d'éviter, par exemple, deux millions de décès chaque année, avec un minimum d'assainissement de l'eau (FAO/PNUD, 1991).

De manière plus spécifique à l'agriculture, préserver l'environnement signifie essentiellement la sauvegarde des terres, la conservation de l'eau et l'utilisation des moyens sans danger pour l'environnement naturel, techniquement bien adaptés, économiquement viables et socialement acceptables.

Une agriculture durable ne peut être assurée que par une utilisation efficace des ressources et par une distribution équitable des revenus aussi bien intragénérationnelle qu'intergénérationnelle.

Cependant, les convergences et les préoccupations universelles pour la protection de l'environnement et des ressources naturelles en vue de les rendre plus durables, sont suivies généralement d'une divergence au sujet du prix à payer ou du coût à envisager pour réaliser cette protection. Protéger l'environnement peut se traduire, du moins à court ou à moyen terme, par un ralentissement de la croissance économique. Il est donc important d'estimer le coût en termes de croissance de tout programme de protection de l'environnement et inversement, le coût en termes de dégradation environnementale de toute croissance économique.

Dans le cas de la Tunisie, étant donné la priorité accordée au secteur agricole dans sa politique de développement économique et social, l'État ne cesse de déployer des efforts considérables pour protéger, mobiliser et conserver les ressources eau et sol afin d'assurer la durabilité de son agriculture. Les dépenses engagées dans le domaine de conservation des eaux et du sol (CES), sont devenues au fil des années, de plus en plus élevées atteignant des niveaux sans précédent. Les interprétations concernant les résultats obtenus sont divergentes. Ainsi, ils sont jugés peu convaincants pour certains et acceptables pour d'autres, divergence qui justifie une réflexion et une analyse économique.

Le présent travail, appliqué à une échelle micro-économique et plus particulièrement à une exploitation agricole témoin, consiste à évaluer quantitativement l'impact des aménagements de conservation des eaux et du sol sur le rendement des cultures, sur le système de production et sur l'érosion, ainsi que sur les résultats économiques obtenus.

Les techniques de conservation des eaux et du sol et le choix d'un terrain

1. L'environnement naturel tunisien: un espace menacé

En dépit des performances réalisées par l'économie tunisienne depuis l'indépendance, la Tunisie se trouve confrontée à un défi environnemental majeur dont l'agriculture est à la fois responsable et victime. En effet, les pratiques agricoles notamment l'utilisation des eaux, des engrais et des pesticides, en liaison avec l'agressivité du climat, le relief souvent caractérisé par de fortes pentes, la nature du sol, contribuent à une dégradation des ressources eau et sol du pays.

Le risque permanent d'un appauvrissement du patrimoine sol très menacé par l'érosion sur les terres en pente, consécutif à l'agressivité des précipitations orageuses fréquentes en climat méditerranéen ainsi que l'évolution rapide de l'environnement socio-économique qu'a connu le monde rural ces dernières décennies, est devenu de plus en plus inquiétant.

Si l'érosion n'est pas un phénomène nouveau en Tunisie, elle revêt, cependant, d'une année à l'autre, une intensité de plus en plus inquiétante. Actuellement, elle menace plus de 3 millions d'hectares de terres dont la moitié est gravement touchée¹.

2. Politique tunisienne de conservation des ressources naturelles

Conscient de la fragilité de son environnement et de l'altération continue de son potentiel de ressources renouvelables, l'État tunisien s'est engagé depuis les années soixante dans une politique de maîtrise des eaux de surface et de sauvegarde des terres en pente.

Cette politique publique vise essentiellement la protection des terres, l'amélioration de la productivité, la reconstitution de la fertilité, la maîtrise correcte des ressources agricoles et le maintien de l'équilibre régional afin de satisfaire les besoins humains au fur et à mesure qu'ils évoluent. D'un point de vue économique, elle cherche à remplir les trois fonctions de l'État, c'est-à-dire l'allocation optimale des ressources rares, la distribution des patrimoines et la stabilisation des conjonctures et des revenus. La justification de cette intervention publique est expliquée par le fait que le seul mécanisme de marché devient insuffisant et inadéquat pour l'assignation optimale des ressources rares. En effet, les agents économiques privés agissent en fonction de leurs propres intérêts immédiats indépendamment des considérations relatives aux générations futures, à l'utilisation de ces ressources et à la capacité de récupération et de conservation des moyens naturels de production.

Pour atteindre ces objectifs, la direction générale de la CES a mis en place, au cours de la décennie 1990-2000, une stratégie qui intéresse en priorité les zones du pays les plus menacées par la dégradation des sols et privilégie deux dimensions essentielles, c'est-à-dire :

- La conservation des ressources naturelles, en luttant contre toute forme de dégradation quantitative et en promouvant les pratiques de gestion rationnelle et d'utilisation durable de ces ressources.
- La préservation de la qualité de ces ressources considérées comme élément de compétitivité économique et sociale en luttant contre toute forme de détérioration et de contamination.

À la fin de l'année 1996, les réalisations de cette stratégie se manifestent essentiellement par :

- l'aménagement de 517 000 ha de terres à vocation céréalière par des techniques douces de CES ;
- la construction de 409 lacs collinaires et de 1 368 ouvrages d'épandage des eaux de crues et de recharge des nappes ;
- la sauvegarde des terres déjà aménagées sur 223 000 hectares.

1. Ministère de l'Agriculture, IX^e Plan du Développement économique et social (1997-2001), Développement agricole et sécurité alimentaire, juillet 1997.

Les dépenses inhérentes à ces réalisations sont évaluées, au prix de 1990, à 241,4 millions de dinars soit une augmentation de l'ordre de 37,3 % par rapport à celle de la dernière stratégie (1987-1992) qui est de 175,8 millions de dinars, au prix de 1990².

L'évolution spectaculaire de ces dépenses ouvre la voie à une série de questions qui sont les suivantes :

Les aménagements de CES sont-ils en mesure de répondre aux trois objectifs principaux : l'amélioration de la productivité, la protection des terres et la reconstitution de la fertilité ? Quels sont leurs degrés d'efficacité notamment sur les rendements et sur les pertes du sol ?

Quels sont les effets des aménagements notamment sur les systèmes de production, sur la vie économique et sur les ressources naturelles de l'exploitation ? Permettent-ils la rémunération et la rentabilisation du capital investi ?

Quels sont les produits, les pratiques culturelles et les itinéraires techniques à choisir afin de parvenir à un système de production qui soit, à la fois, bénéfique à l'environnement et capable de valoriser les mesures de conservation ?

Nous avons abordé ces différentes questions dans le cadre d'une exploitation significative du point de vue agronomique, de taille importante, et sur laquelle nous disposons de l'ensemble des données nécessaires.

Cette exploitation est la ferme «Sawaf», d'une superficie de 1 600 ha, qui relève territorialement du gouvernorat de Zaghouan. Cette ferme a été choisie par le Ministère de l'Agriculture dans le cadre du développement et de l'amélioration de la productivité des zones semi-arides par les travaux de CES comme site d'expérimentation et de démonstration des mesures anti-érosives.

Options méthodologiques

Notre recherche s'inscrivait dans une perspective d'économie publique puisqu'il s'agissait d'évaluer l'efficacité des mesures de conservation des eaux et du sol initiées par l'État dans le cadre d'un projet public d'expérimentation.

Dans la perspective traditionnelle des instruments de l'économie de l'environnement, cela consistait à évaluer les externalités positives résultant des modifications des pratiques culturelles et des mesures préconisées. L'approche coût-avantage se serait cependant heurtée à la prise en compte de l'impact agronomique et écologique des modifications techniques. Nous avons donc voulu profiter de l'existence de modèles biophysiques désormais bien adaptés pour pratiquer une modélisation bio-économique fondée sur le couplage d'un modèle biophysique et d'un modèle économique³. Nous voudrions tout d'abord en

2. Ministère de l'Agriculture, Direction nationale de conservation des eaux et du sol (CES). *Les réalisations de la stratégie nationale pour la conservation des eaux et du sol (1990-1996)*. Tunis : D/CES, 1997.

3. Ces approches sont désormais très développées. On pourra se référer dans cette revue, aux articles de Vicien, Deybe, Boussemart, Flichman, etc.

évoquer rapidement le positionnement théorique avant d'en donner très brièvement les principaux éléments.

1. La modélisation bio-économique

La modélisation bio-économique dans la mesure où elle permet de tenir compte à la fois des aspects économiques et écologiques de la production agricole, s'inscrit dans les démarches récentes de l'économie écologique⁴.

Cette approche, en mettant l'accent sur l'interdépendance simultanée entre économie et écologie, privilégie les démarches pluridisciplinaires, et conduit à situer les activités humaines dans une perspective de co évolution des systèmes naturels et socio-économiques, clé de la compréhension du développement durable. Ce faisant, cette approche participe, selon l'expression de R. Passet (1996), « d'un paradigme de la destruction créatrice ».

Cependant cette approche, même si elle rassemble désormais une communauté scientifique identifiée, n'est pas encore parvenue au stade de fournir des instruments d'analyse éprouvés et complètement normalisés. Tout positionnement donc par rapport à cette approche doit être pris d'une manière prudente (J.-M. Boisson, 1984).

Pour notre recherche, notre principale référence à cette approche tient à ce que notre fonction de production est exprimée en termes agronomiques et, de ce fait n'introduit pas l'extrême latitude de substitution entre capital naturel et capital manufacturé propres aux fonctions de production économiques habituelles⁵.

En revanche le problème économique lui-même obéit à la problématique habituelle de maximisation sous contraintes.

2. Le modèle de simulation biophysique

Les modèles de simulation biophysiques permettent d'établir les rapports inputs outputs en ce qui concerne la production végétale. Ils simulent la croissance des plantes et ces rapports avec l'état du sol, le mouvement de l'eau et les interventions humaines (labours, fertilisation, irrigation, etc.).

Ces modèles, dans la mesure où ils peuvent fournir à l'économiste les résultats, en termes de rendements, des différentes combinaisons de facteurs de production, constituent un moyen très intéressant pour la construction d'une fonction de production d'ingénieur (Deybe, 1993).

Dans le cadre général des travaux de notre équipe de recherche, nous avons choisi le modèle EPIC⁶, Érosion Productivity Impact Calculator, développé par l'USDA-ARS de Temple (USA), pour simuler les effets du sol, du climat, des

pratiques et des rotations culturales sur l'érosion du sol, puis l'effet à long terme de celui-ci sur le rendement des cultures (Cabelguenne, 1995). Le modèle EPIC permet d'intégrer divers aspects en même temps. C'est un modèle pluri-espèce et pluriannuel, à pas de temps journalier.

Dans le cadre de cette recherche, l'application du modèle EPIC a pour objectif d'une part, d'évaluer les effets à long terme des travaux de conservation des eaux et du sol introduits dans l'exploitation sur l'érosion et sur les rendements des cultures et d'autre part, de fournir des coefficients techniques destinés à être incorporés dans la matrice du modèle de programmation mathématique.

Avant toute utilisation du modèle, il faut s'assurer évidemment qu'il est bien calibré et validé afin qu'il se rapproche le plus possible de la réalité.

La calibration consiste à trouver les bons paramètres de la zone étudiée, indispensables pour le fonctionnement du modèle, et la validation consiste à simuler les pratiques culturales courantes et à comparer les résultats émanant de ces simulations à ceux réellement obtenus sur l'exploitation.

Pour commencer, nous avons introduit dans le modèle des itinéraires techniques réels relatifs à la culture de blé dur dont on connaissait les rendements. Ensuite, nous avons fait tourner le modèle pour observer l'évolution des rendements tout au long des dix années climatiques considérées. La comparaison entre les données simulées et les données réelles nous a permis de constater que le modèle représentait assez fidèlement les conditions pédoclimatiques de la zone considérée.

Une fois la validation du modèle pour le blé dur effectuée, on procède à celle des autres cultures. Les résultats obtenus, comme on peut le constater dans le tableau ci-après, sont très satisfaisants.

Tableau 1. Validation du modèle EPIC

	Moyenne		Écart type	
	Simulée	Réelle	Simulé	Réel
Orge	10,5	12,75	8,10	9,11
Blé dur	11	12,5	8,17	8,50
Avoine	13	15	12,99	14,07
Foin d'avoine	30	34	9,10	10,12
Orge en vert	22	23,5	7,10	8,60

Source : Résultats du modèle EPIC.

Toutefois, bien qu'EPIC simule la croissance de la plupart des cultures herbacées (et notamment des céréales), il n'est pas adapté pour simuler les arbustes fourragers. Étant donné le rôle remarquable de ces arbustes dans la zone étudiée et pour ne pas les exclure de notre analyse, nous avons décidé d'utiliser les données issues des expérimentations agronomiques pour les coefficients de rendements et d'attribuer une valeur nulle pour les coefficients d'érosion puisque ces arbustes sont utilisés pour fixer le sol et lutter contre l'érosion.

4. Voir Passet (1996), Fabre (1996), Latouche (1994).

5. Contrairement aux économistes néo-classiques, tenant de la soutenabilité faible, postulant le maintien d'un stock de capital global et la substituabilité illimitée entre les deux formes de capitaux, les tenants de l'approche d'Économie écologique considèrent la dépendance de l'économie vis-à-vis de l'environnement et refusent l'hypothèse de substituabilité illimitée pour adopter une substituabilité limitée qui tendrait plutôt vers la complémentarité des deux formes de capitaux (Latouche, 1994).

6. Le modèle EPIC a déjà été présenté dans cette revue.

3. Le modèle de programmation économique

Caractéristiques du modèle

Nous avons choisi un modèle de programmation mathématique non linéaire, tant dans la fonction objectif que dans les contraintes (maximisation d'une utilité espérée sous des contraintes techniques, financières, environnementales et de risque).

La programmation, comme instrument d'optimisation est une approche apparemment normative. En réalité, elle peut être aussi considérée comme une simple hypothèse de comportement à partir de laquelle on peut faire varier différents paramètres et décrire de façon positive les résultats qui en découlent, en utilisant le modèle comme modèle de simulation.

Pour notre travail, cette utilisation descriptive (positive) nous semble la plus appropriée. L'objectif de ce modèle descriptif est de reproduire la situation réelle de l'exploitation en incorporant tous les outils analytiques, puis de multiplier les simulations afin d'estimer l'importance de l'impact des travaux de conservation des eaux et du sol, sur le système de production et par conséquent sur l'avenir de l'exploitation étudiée.

En outre, étant donné que notre travail ne cherche pas à classer et à ordonner les solutions alternatives en fonction d'un critère unique, mais plutôt de trouver un compromis entre différents objectifs, nous utiliserons une méthode de programmation mathématique qui permet d'aborder ce problème à l'aide de critères multiples. Il s'agit d'une programmation multi-objectif ou multicritère. Ceci élargit évidemment la perspective par rapport à la simple maximisation des marges puisqu'on peut y ajouter des objectifs en termes d'impact sur l'environnement.

Par ailleurs, afin de mener une analyse qui puisse intégrer, d'une part, le changement des effectifs et de régime alimentaire qui se produit au fil des années et, d'autre part, l'évolution des investissements, nous proposons un modèle dynamique de type multipériodique récursif.

La dimension multipériodique signifie que, chaque année, on optimise le revenu des trois années à venir (on a appelé ces trois ans l'horizon de planification)⁷. On définit une situation initiale et on choisit des plans de production pour les années à venir en tenant compte de toute l'information disponible sur le futur, à savoir les anticipations sur les prix et sur les rendements.

La dimension récursive très classiquement prend en compte les résultats de la première année de l'horizon de planification comme données de départ de la première année du nouvel horizon de planification. L'application de ce type de modèles permet de prendre en compte divers types «d'équations de récursivité», autres que celles utilisées pour faire le transfert d'un horizon à un autre, à savoir l'équation des investissements. Sur la base des résultats du précédent horizon, le modèle permet d'appréhender les possibilités d'investissement tout en fixant le type et le montant.

7. Cet horizon a été choisi en fonction de la période de renouvellement des brebis à partir de l'agnelage, soit 36 mois.

Les équations du modèle

La fonction objectif

La fonction objectif retenue dans le modèle est une utilité espérée U qui prend en considération un double objectif auquel correspondent respectivement deux coefficients de pondération ($W1$, $W2$). Le premier objectif, d'ordre économique, consiste à maximiser l'espérance du revenu net actualisé $E(RNA)$ en minimisant sa déviation en fonction des états de la nature et de prix (voir Hazell et Norton, 1986). Le second objectif, d'ordre environnemental, consiste à minimiser les pertes du sol causées par l'érosion (ERO). L'optimisation de cette fonction d'utilité se fait sur une durée allant de 1992 à 2000, obtenue par la translation des horizons de planification (HP) dont la durée est de trois ans chacun, comme on l'a vu.

$$\text{Max } U = W1 * [E(RNA) - \phi \cdot \sigma] - W2 * (ERO)$$

Avec :

$$E(RNA) = \sum_{HP} [E(Z_{HP})] / (1+ta)^{n-1}$$

$$* E(Z_{HP}) = \sum_{HPC, T, P, PC} [X_{C, T, P, PC, HP} * E(Y_{C, T, P, N}) * P_{C, HP} - X_{C, T, P, PC, HP} * COV_{C, T, P, HP}]$$

$$+ [\sum_{An, P} V_{An, P, HP} * P_{An, P, HP} - EFF_{An, P, HP} * COA_{An, P, HP}]$$

$$- [NMP * CUP_{HP} + CF_{HP}]$$

$$+ \sum_P [PLA_{P, HP} * TPP_{HP} - EMPCT_{P, HP} * TIC_{HP}]$$

$$- [EMPLT_{HP} * (TIL_{HP}) / 2]$$

$E(Z_{HP})$: Revenu net annuel espéré

$E(Y_{C, T, P, N})$: Espérance des rendements par activité sur les états de nature

$P_{C, HP}$: Prix des activités par horizon de planification

$COV_{C, T, P, HP}$: Charges opérationnelles par activité et par HP

$V_{An, P, HP}$: Nombre d'animaux vendus par période et par HP

$EFF_{An, P, HP}$: Effectif des animaux par période et par HP

$COA_{An, P, HP}$: Charges opérationnelles par animal et par HP

NMP : Nombre de main-d'œuvre permanente

CUP_{HP} : Coût unitaire de main-d'œuvre permanente par HP

CF_{HP} : Coût fixe par HP (dotations aux amortissements)

$EMPCT_{P, HP}$: Niveau des emprunts à court terme par période et par HP

$EMPLT_{HP}$: Niveau des emprunts à long terme par HP

$PLA_{P, HP}$: Niveau des placements par HP

TIC_{HP} : Taux d'intérêt à court terme

TIL_{HP} : Taux d'intérêt à long terme

TPP_{HP} : Taux de placement

ta : Taux d'actualisation

σ : Écart type par rapport à l'espérance du revenu

ϕ : Coefficient d'aversion au risque

L'écart type (σ) est calculé d'une façon endogène à partir des déviations par rapport à la valeur actualisée nette du revenu espéré, exprimé par:

$$\sigma = \left[\left(\sum_{N, PI, HP} DEV_{N, PI, HP} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Avec:

$$*DEV_{N, PI, HP} = (E(Z_{HP}) - Z_{N, PI, HP}) / (1+ta)^{t-1}$$

$$*Z_{N, PI, HP} = \sum_{C, T, P, PC} [X_{C, T, P, PC, HP} * Y_{C, T, P, N} * P_{C, HP} * VP_{C, PI}$$

$$- X_{C, T, P, PC, HP} * COV_{C, T, P, HP}]$$

$$+ \sum_{An, P} [V_{An, P, HP} * P_{An, P, HP} * VP_{An, PI}$$

$$- EFF_{An, P, HP} * COA_{An, P, HP}]$$

$$- [NMP * CUP_{HP} + CF_{HP}]$$

$$+ \sum_P [PLA_{P, HP} * TPP_{HP} - EMPCT_{P, HP} * TIC_{HP}]$$

$$- [EMPLT_{HP} * TIL_{HP}]$$

$Z_{N, PI, HP}$: Revenu en fonction des états de la nature (N) et des variations des prix (PI)

$VP_{C, PI}$: Coefficient de variation des prix des cultures

$VP_{An, PI}$: Coefficient de variation des prix des animaux

$Y_{C, T, P, N}$: Rendement des cultures en fonction des états de la nature N

Les contraintes

Les contraintes de multipériodicité

- **Occupation du sol:** pour chaque horizon de planification, la somme des superficies consacrées aux différentes activités de production a une superficie inférieure ou égale à la surface agricole utile disponible pendant cet horizon.
- **Rotation culturale:** la superficie avec un précédent culturel (PC) pour l'horizon de planification (HP) ne peut pas dépasser la superficie consacrée à cette même culture au cours de l'horizon de planification (HP-1).
- **Main d'œuvre:** pour chaque période, la somme des besoins en main-d'œuvre de chaque activité ne devrait pas dépasser les ressources en main-d'œuvre disponibles pendant cette période.
- **Traction mécanique:** la somme des besoins en heures de traction pour chaque activité et par période doit être inférieure ou égale au nombre d'heures de traction disponibles pour chaque période.
- **Besoin énergétique:** la somme des besoins en unités fourragères de chaque catégorie d'animaux par période doit être inférieure ou égale au nombre d'unités fourragères disponibles par période.

- **Ration alimentaire:** 30 % des besoins alimentaires des animaux doivent être fournis par des cultures de grains et par des concentrés.

- **Capacité d'ingestion:** la quantité de matière sèche fournie par les aliments par période est limitée par la quantité maximale de matières sèches pouvant être ingérée.

- **Renouvellement du troupeau:** les effectifs se raisonnent période par période, ce qui permet de suivre très précisément leur évolution en fonction des naissances, des ventes et des changements de catégorie.

- **Emprunt:** il y a deux contraintes. La première concerne les emprunts à court terme, suppose que la banque fixe un montant maximum annuel d'engagement que l'exploitant ne peut dépasser. La deuxième, liée aux emprunts à long terme, indique que ces derniers sont empruntés seulement pour financer les investissements liés au projet et remboursables sur dix ans.

- **Trésorerie:** la trésorerie du début de l'année (mois) correspond à la trésorerie de la fin de l'année (mois) précédente majorée du montant de l'épargne annuelle (entrées mensuelles) et diminuée des annuités de remboursement des emprunts (déversements mensuels) de l'année précédente.

Les contraintes de récursivité

- **La trésorerie initiale:** La trésorerie du début de l'année correspond à la trésorerie de la fin de l'année précédente majorée du montant de l'épargne annuelle et diminuée des annuités de remboursement des emprunts de l'année précédente.

- **Les effectifs:** Les effectifs de fin d'année sont repris comme effectifs de début de l'année suivante.

Résultats et discussion

1. Résultats du modèle biophysique

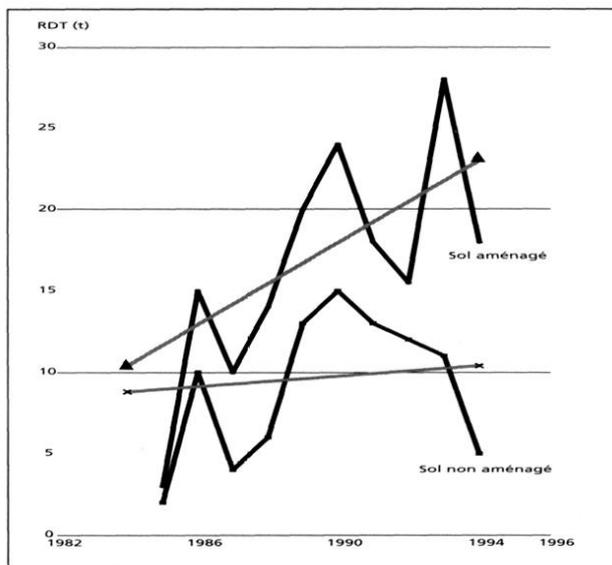
Après avoir validé le modèle et déterminé les techniques de production les plus adéquates, nous avons essayé de simuler, pour une même technique de production (T1), les effets des aménagements de conservation des eaux et du sol, tout d'abord sur les rendements et ensuite sur l'érosion.

Cependant, vu le caractère céréalière dominant de la présente exploitation, nous avons choisi de restreindre notre travail, pour la simulation des effets induits par les aménagements CES, uniquement au blé dur en prenant comme hypothèse que ces aménagements présentent presque le même effet sur la plupart des cultures céréalières pratiquées au niveau de l'exploitation.

Pour les rendements, les tendances préliminaires dégagées à partir des droites de régression linéaires ci-dessous conduisent à remarquer qu'il y a une amélioration assez importante de ceux-ci dans les soles aménagées, et une légère augmentation pour les soles non aménagées. En effet, pour les mêmes années climatiques et les mêmes techniques de production, ces rendements passent de 10,4 q/ha à 23 q/ha pour les soles aménagées et de 8,8 q/ha à 10,4 q/ha pour les soles non aménagées. Cette amélioration est très remarquable surtout pour les années de sécheresse. Ceci peut être expliqué par le fait que les

sols aménagés emmagasinent l'eau de pluie pendant les bonnes années afin d'être disponible pour la plante pendant les mauvaises années.

Graphique 1. Impact des aménagements CES sur le rendement (blé dur)



Source : Résultats du modèle EPIC

En outre, pour les premières années de simulation, on remarque que les rendements ainsi obtenus aussi bien dans les sols aménagés que dans les sols non aménagés sont presque identiques. Ils augmentent à peu près avec les mêmes proportions et ne divergent que vers la quatrième année de simulation. De là, on peut remarquer que les effets de ces travaux sur le rendement ne sont pas immédiats.

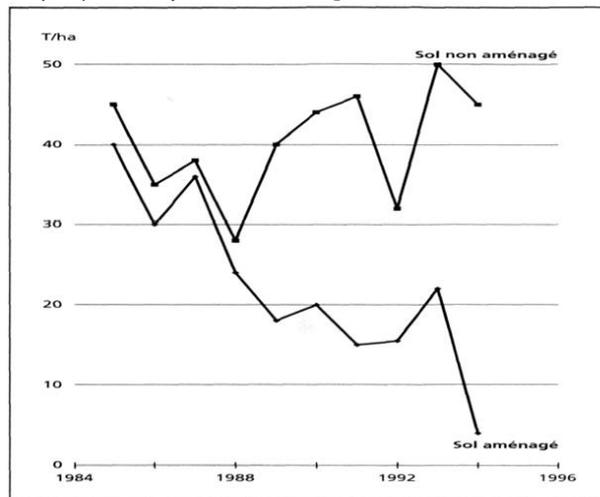
Concernant l'efficacité des travaux de CES sur l'érosion, elle suit la même logique que celle du rendement. En effet, pour un sol non aménagé, avec le temps et en fonction de la composition cristalline des minéraux qui forment la roche, la composante physique du sol se dessine. Ceci va induire une augmentation des particules libres facilement transportables par l'érosion aussi bien hydrique qu'éolienne. Pour les sols aménagés, par contre, le niveau d'érosion représenté par les tonnes de particules érodées diminue avec le temps. Cette baisse peut être remarquée seulement huit ans après la réalisation des travaux (graphique 2).

En outre, disposant des deux types de techniques de production (T1, T2), nous avons simulé, pour un sol aménagé (S1), l'effet de l'utilisation des techniques intensives de production sur l'érosion (graphique 3).

D'après ce graphique, nous constatons, comme il était prévisible, que l'érosion est d'autant plus forte que le système de production est plus intensif.

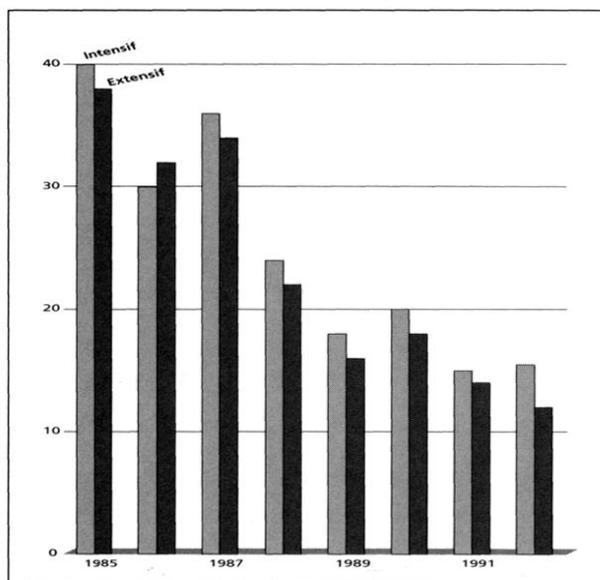
L'utilisation du modèle biophysique nous a permis d'évaluer les effets des techniques de CES aussi bien sur le rendement que sur l'érosion.

Graphique 2. Impact des aménagements CES sur l'érosion



Source : Résultats du modèle EPIC

Graphique 3. Érosion avec deux niveaux différents d'utilisation d'intrants



Source : Résultats du modèle EPIC

2. Résultats du modèle économique

Avant de nous pencher dans la présentation des résultats de notre modèle, nous voulons rappeler que sa validation a été basée sur l'utilisation d'une fonction objectif de type néo-classique – maximisation du revenu net d'exploitation –, étant donné qu'elle permet de représenter la fonction d'utilité réelle du producteur (modèle de base). Une fois que le modèle est validé, nous introduisons le deuxième objectif (modèle multicritère).

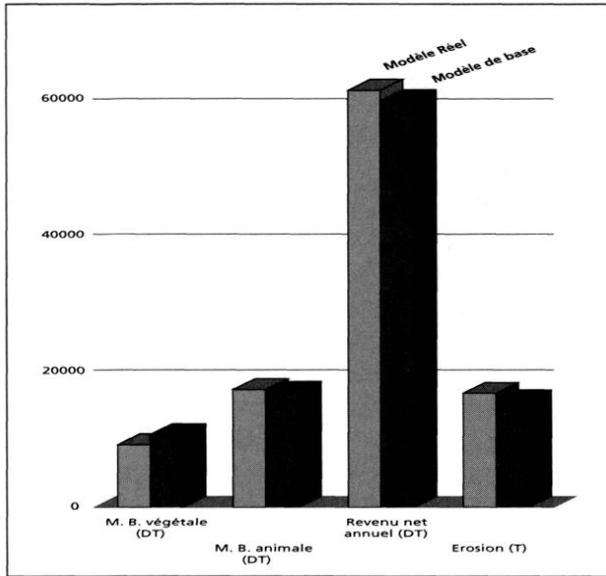
Résultats du modèle de base

L'emploi d'une fonction de genre néo-classique (maximisation de l'utilité espérée), nous a permis de reproduire un plan de production voisin de celui effectivement réalisé dans la situation initiale connue (1992).

La solution optimale ainsi obtenue dégage un revenu brut d'environ 91 000 dinars tunisiens (DT)⁸ pour une superficie labourable de 800 ha, soit une productivité moyenne

du facteur terre de 115DT/ha et un revenu net espéré de l'ordre de 60 000 DT

Graphique 4. Comparaison entre le modèle de base et le modèle réel



*M.B. : marge brute
Source : Résultats du modèle

Après avoir validé le modèle de base, nous débuterons la simulation par la recherche du revenu net actuel espéré de l'exploitation, sur une durée allant de 1992 à 2000, obtenue par la translation des horizons de planification dont la durée est de trois ans chacun.

Les résultats obtenus montrent une augmentation du revenu net annuel de 3 201 DT au cours des trois premières années. Cette augmentation est suivie d'une diminution assez remarquable de l'ordre de 25 % entre 1994 et 2000 en raison de la diminution des marges brutes animales et végétales (graphique 5).

Cependant, est-ce que ce système de production est capable de valoriser les investissements de conservation des eaux et du sol ? Est-il en mesure de rentabiliser le capital investi ?

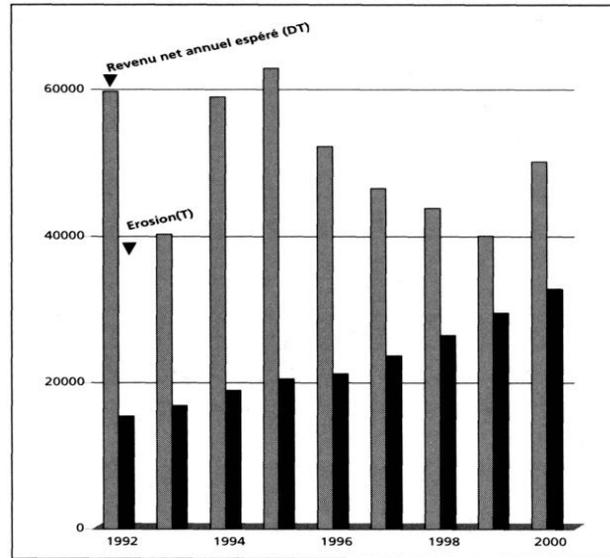
Les résultats de l'évaluation financière montrent que le projet dégage un taux de rentabilité interne de 8,42 % et une valeur actualisée nette de 31 000 DT. Donc avec un taux d'actualisation de 7 % et selon les éléments pris en considération dans le calcul de ces deux critères de rentabilité (RBE sans projet constant et pas de subvention à l'investissement), le projet est a priori acceptable, rentable et finançable. En effet, le caractère positif, d'une part, de la valeur actualisée nette, et d'autre part, de la différence entre le taux de rentabilité interne et le taux d'actualisation choisi, indique que le projet est intéressant. Cette rentabilité peut même atteindre des niveaux plus importants surtout quand on sait que les effets externes positifs aussi bien quantitatifs que qualitatifs (recharge de la nappe, protection des barrages contre l'envasement, amélioration de

8. 1dinar tunisien (DT) = 5,40 francs français.

la faune et de la flore...) induits par le projet ne sont pas prises en compte ici.

Cependant, le niveau acceptable de rentabilité est suivi d'une évolution spectaculaire de l'érosion passant de 15 500 tonnes (t) en 1992 à 33 000 t en 2000, soit une augmentation de l'ordre de 52 %, ce qui explique bien que la recherche d'un système de production permettant la valorisation de ces investissements de CES, peut conduire de nouveau à une détérioration de la ressource sol. Il serait judicieux de trouver une solution acceptable aussi bien du point de vue économique qu'environnemental, c'est-à-dire une solution moins érosive et qui dégage en même temps un niveau de rentabilité acceptable. Ceci fait l'objet de la section suivante.

Graphique 5. Évolution du revenu net espéré et de l'érosion



Source : Résultats du modèle

Résultats du modèle multicritère

L'approche multi-objectif consiste à combiner les objectifs en une seule fonction objectif et à associer chacun avec un coefficient de pondération. Son utilisation, dans la présente étude, est basée essentiellement sur la méthode NISE (No Inferior Set Estimation) complétée par la méthode des compromis.

Cependant, afin de déterminer ces coefficients de pondération, nous avons appliqué cette méthode uniquement pour la situation initiale (1992). Ensuite, nous lancerons la simulation pour le reste des années.

La détermination de la matrice des gains ou de «pay-off» constitue le point de départ de toute analyse multiobjectif. Cette matrice consiste à optimiser chacun des objectifs séparément tout en calculant la valeur que prend l'autre objectif dans chacune des solutions optimales. Elle nous indique le point idéal et le point anti-idéal («nadir») de chaque objectif ainsi que leurs intervalles de variation. (Zekri, Dridi et Lara, 1994) (tableau 2).

La première lecture de cette matrice de «pay-off», nous a permis de remarquer le grand conflit existant entre les deux objectifs. La solution idéale qu'il est impossible de réaliser est déterminée par la diagonale de la présente

Tableau 2. Matrice de « pay-off » de la situation initiale (1992)

Objectifs	Maximiser le revenu net espéré	Minimiser l'érosion
Revenu net espéré (D.T.)	59799	-31758
Érosion (T)	14087	2921

Source : Résultats du modèle

matrice, c'est-à-dire environ 60 000 DT, avec un niveau d'érosion de l'ordre de 3 000 tonnes de terres arables.

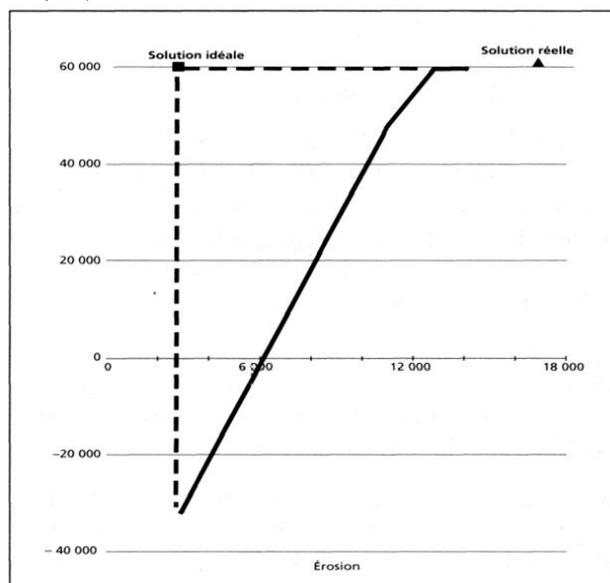
L'existence de ces conflits nous a conduits à appliquer l'approche multicritère, afin de déterminer la solution optimale au sens de Pareto, une solution pour laquelle il n'est plus possible d'améliorer la valeur d'un objectif sans être obligé de réduire celle de l'autre.

Résultat de la méthode NISE

Afin d'éviter l'inconvénient de la méthode de pondération qui se base sur un choix au hasard des coefficients de pondération relatif aux objectifs à optimiser, nous avons utilisé la méthode NISE. Cette méthode se base dans son choix des coefficients sur une relation qui unit le rapport de ces coefficients à la pente de la droite qui relie les points extrêmes efficients.

L'application de cette méthode nous a permis en partant des deux solutions extrêmes efficients d'obtenir huit autres points extrêmes efficients. Ces nouveaux points extrêmes efficients sont caractérisés essentiellement par un niveau d'érosion élevé. Ceci peut être expliqué par le nombre réduit des techniques que nous avons simulé.

Graphique 6. NISE revenu net-érosion



Source : Résultats du modèle

Cependant, vu la multitude de solutions extrêmes efficients, une sélection s'impose afin de restreindre l'espace des

solutions possibles et de faciliter la tâche dans la prise de décision. Pour cela, nous avons adopté la méthode du compromis qui permet de réduire l'espace de solutions et de ne considérer que l'intervalle le plus proche du point idéal, en supposant que c'est vers ce choix que le centre de décision va s'orienter.

Résultats de la méthode de compromis

Introduite par Zeleny en 1982 afin d'aider le décideur dans le choix entre les multiples solutions optimales obtenues par la méthode NISE, cette méthode se base essentiellement sur le concept de la fonction distance (Théorème de distance ou de Pythagore).

$$\text{Min } L_p(Z) = [\sum W_j |A_j|^p]^{1/p}$$

$$A_j = (Z_j^* - Z_j(x)) / (Z_j^* - Z_{j_0})$$

soit $x \in F$

Avec :

W_j : Le poids affecté au j ième objectif.

Z_j^* : La valeur de la solution idéale pour le j ième objectif.

Z_{j_0} : La valeur de la solution nadir pour le j ième objectif.

P : Paramètre variant de $[1, \infty[$

$x \in F$: Les contraintes du problème considéré.

Cependant, si on calcule uniquement L_1 et L_∞ , on peut déterminer l'ensemble des points efficaces les plus proches de l'idéal (Romero et Rehman, 1989).

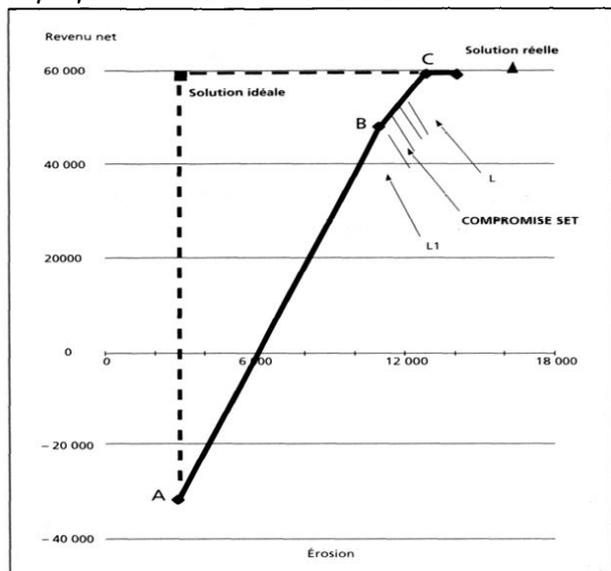
L'utilisation de ce type de programmation nous a permis, suite aux multiples simulations effectuées, de déterminer un intervalle de solutions «compromis set» qui nous semble le plus proche de la solution idéale. Ces simulations sont basées essentiellement sur l'objectif économique, étant donné qu'avec n'importe quel coefficient de pondération, le modèle nous donne une limite inférieure de cet intervalle située au point B, ce qui explique bien qu'avec ces techniques de production, il est très difficile de se rapprocher du niveau minimal d'érosion.

Ainsi, l'intervalle retenu est obtenu en affectant à l'objectif économique un coefficient quatre fois plus important que celui du second objectif.

Cet intervalle est compris entre L_1 (12 651 ; 59 709,86) et L_∞ (12 824 ; 59 729,78), ce qui correspond à une variation relative au revenu net par rapport à la solution idéale de -0,15 % à -0,11 % et d'une variation relative à l'érosion de 76 % à 78 %.

Dans cet intervalle, le coût d'une unité d'érosion réduite est de 0,11 DT. Le passage du point L_1 à L_∞ implique une réduction du revenu net par 20 DT et une diminution de l'érosion par 173 tonnes.

Graphique 7. Trade off revenu net-érosion

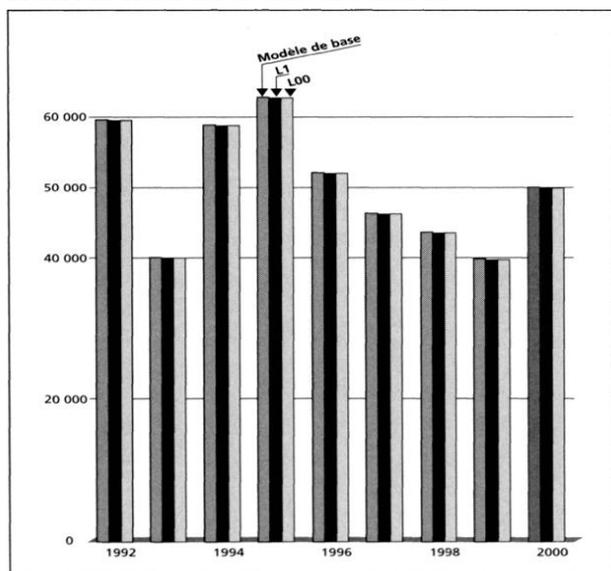


Source : Résultats du modèle

Le système de production ainsi généré par la méthode de compromis se caractérise essentiellement par une orientation vers la plantation d'arbustes fourragers sur une superficie de l'ordre de 700 ha pour L_1 et 580 ha pour L_∞ , et la culture des céréales en particulier le blé dur (400 ha pour L_1 et 520 ha pour L_∞) en extensif.

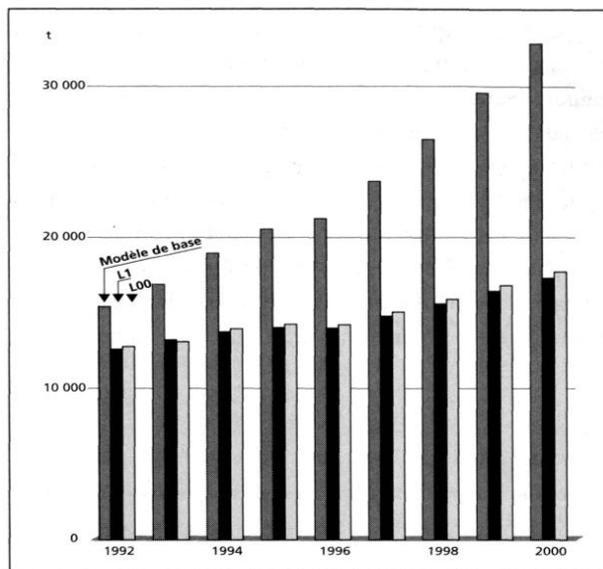
Après avoir déterminé les coefficients de pondération déterminés, nous débiterons la simulation par la recherche des deux objectifs simultanément sur l'ensemble des horizons de planification. Les résultats obtenus sont regroupés dans les graphiques suivants.

Graphique 8. Variabilité de L_1 et L_∞ par rapport à la solution de base en terme des revenus nets annuels



Source : Résultats du modèle

Graphique 9. Variabilité de L_1 et L_∞ par rapport à la solution de base en terme d'érosion



Source : Résultats du modèle

Le principal aspect à remarquer, à partir de la lecture de ces deux graphiques, est la forte convergence des différentes solutions en terme du revenu net, suivie d'une variabilité assez importante du côté érosion. Ce qui explique bien que les systèmes de production et en particulier les systèmes de culture ainsi obtenus par L_1 et L_∞ sont capables de restreindre considérablement l'atteinte à l'environnement pour des faibles baisses des revenus nets.

En outre, avec un taux d'actualisation de 7 % et selon les mêmes conditions appliquées pour évaluer la rentabilité du projet, les solutions L_1 et L_∞ arrivent à dégager un niveau de rentabilité très proche de celui engendré par la solution de base, mais avec un niveau d'érosion beaucoup plus bas. Ceci indique qu'avec ces systèmes de production l'entrepreneur arrive à valoriser et rentabiliser le capital investi tout en tenant compte de la future atteinte à l'environnement qui peut être causée par celui-ci.

Tableau 3. Variabilité de L_1 et L_∞ par rapport à la solution de base en terme du TRI et VAN

Unité : DT

	Solution de base	L_1	L_∞
Taux de rentabilité interne (TRI)	8,42 %	8,38 %	8,39 %
Valeur actualisée nette (VAN)	31.555,96	30.439,86	30.646,49

Source : Élaboration personnelle

Cette étude permet d'apprécier qu'il est possible d'améliorer les impacts environnementaux avec une perte très faible de revenu, mais ne nous indique quelle serait la politique nécessaire pour aboutir à ce résultat.

Conclusions

L'expérience acquise par la présente étude nous a permis de montrer l'intérêt de la démarche bio-économique pour évaluer l'efficacité des aménagements de conservation des eaux et du sol malgré la présence de certaines limites à savoir: d'une part, l'échelle de la modélisation — l'exploitation agricole — restreint considérablement l'utilisation de cette étude pour l'analyse et la formulation des politiques et, d'autre part, les prix sont définis d'une manière exogène, il n'existe pas d'interactions explicites à l'intérieur du secteur agricole et, encore moins entre le

secteur agricole et le reste de l'économie. Cependant, ces limites peuvent être surmontées dans des futures recherches et ceci en essayant de développer soit des modèles régionaux d'équilibre partiel à l'échelle du bassin versant soit des modèles bio-économiques d'équilibre général calculable.

Kamel LOUHICHI • Faculté de Droit et de Science économique de Montpellier

Guillermo FLICHMAN • Institut agronomique méditerranéen de Montpellier

Slim ZEKRI • École supérieure d'agriculture de Mognane, Tunisie

Les auteurs remercient J.-M. Boisson pour ses observations

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boisson J.-M. *Économie, écologie, environnement: le point de vue d'un économiste*. Économie Méridionale, 1^{er}-2^e trim. 1984, n° 125-126, pp. 43-52.
- Cabelguenne M., Debaeke PH. *Manuel d'utilisation du modèle EWQTPR (EPIC-PHASE temps réel)*. INRA, Toulouse, 1995.
- Deybe D., 1993. *Vers une agriculture durable: un modèle bio-économique*. CIRAD, Paris, 1993, 193 p.
- Fabre M., Manstetten R., Proops J. *Ecological economics: concepts and methods*. Hartnolls Limited, Bodmin, Cornwall, Great Britain, 1996, 342 p.
- FAO/PNUD. *Rapport d'évaluation sur les techniques de CES en Tunisie*. Tunis, 1991.
- Hazell P.B.R., Norton R.D. *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. Macmillan Publishing Company, New York, 1986, 399 p.
- Latouche S. *Développement durable, un concept alibi*. Revue tiers-monde. PUF, Paris, 1994, n° 137, pp. 77-94.
- Passet R. *L'économie et le vivant*. Economica, Paris, 1996, 291 p.
- Romero C., Rehmant T. *Multiple criteria analysis for agricultural decisions*. Elsevier Amsterdam, 1989.
- Tunisie, Ministère de l'Agriculture. *IX^e Plan du Développement Économique et Social (1997-2001)*. Développement Agricole et Sécurité Alimentaire, juillet 1997.
- Tunisie, Ministère de l'Agriculture. Direction nationale de Conservation des eaux et du sol (CES). *Les réalisations de la stratégie nationale pour la conservation des eaux et du sol (1990-1996)*. Tunis, D/CES, 1997.
- Zekri S., Dridi N., Lara P. *Intégration de l'élevage dans les petites exploitations irriguées: une approche multicritère en deux étapes*. MEDIT, 1994, p. 36-41.