

C. I. H. E. A. M.

Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes



COMPARAISON DE DIFFERENTES POLITIQUES DE TARIFICATION DE L'EAU. Dans la région de Karapinar en Turquie

par **ERUYGUR Ozan**
Sous la direction de M. G.FLICHMAN

Jury

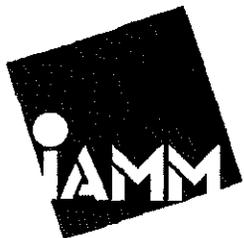
M. E. CAKMAK
M. P. STEDUTO
M. G.FLICHMAN

Professeur METU (Turquie) Président
Enseignant-Chercheur CIHEAM- IAM Bari (Italie) Membre
Enseignant-Chercheur CIHEAM -IAM Montpellier France Membre

**THESE PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE HAUTES ETUDES DU CIHEAM**

MASTER OF SCIENCE

MARS 2001



Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier

3191, route de Mende,

34093- MONTPELLIER CEDEX 5 (FRANCE)

Tel. : 04.67.04.60.00 - Téléfax : 04.67.54.25.27 - Internet : <http://www.iamm.fr>

**L'INSTITUT AGRONOMIQUE MEDITERRANEEN DE MONTPELLIER N'ENTEND DONNER AUCUNE
APPROBATION NI IMPROBATION AUX OPINIONS EMISES DANS CETTE THESE.**

CES OPINIONS N'ENGAGENT QUE LEUR AUTEUR

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	3
RESUME	4
ABSTRACT	5
INTRODUCTION	7
CHAPITRE I. PROBLEMATIQUE	7
I.A. INTRODUCTION	7
I.B. OBJECTIF DU TRAVAIL	9
I.C. EAU COMME UN BIEN ECONOMIQUE.....	9
I.D. L'EFFICACITE DE DIFFERENTES POLITIQUES	13
I.E. CADRE D'ETUDE.....	16
I. E. 1. PRESENTATION DE TURQUIE	16
I. E. 3. PRESENTATION DE KARAPINAR.....	20
I. E. 4. ANALYSES ECONOMIQUE DES EXPLOITATIONS DANS LA REGION DE KARAPINAR	21
CHAPITRE II. METHODOLOGIE	26
II.A. APPROCHE METHODOLOGIQUE.....	26
II.B. MODEL DE SIMULATION BIOPHYSIQUE.....	26
II.B. MODEL DE SIMULATION ECONOMIQUE	28
CHAPITRE III. MODELE BIOPHYSIQUE	29
III. A. LE MODELE DE SIMULATION CROPSYST	29
III. B. LE CALIBRAGE DU MODELE CROPSYST	31
III. B.1. CALIBRAGE DE PHENOLOGIE.....	32
III. B.2. CALIBRAGE DE RENDEMENT	44
III. C. ANALYSE DES RESULTATS DES SIMULATIONS	46
CHAPITRE IV. VARIABLES ET CONTRAINTES DU MODELE ECONOMIQUE	49
IV. A. LES ACTIVITES PRODUCTIVES	49
IV. A.1. LES ACTIVITES VEGETALES.....	49
IV. A.2. LES ACTIVITES ANIMALES	50
IV. A.3. LES ACTIVITES DE SERVICE	51
IV. B. FORMULATION DES CONTRAINTES.....	51
IV. B.1. LES CONTRAINTES.....	51
IV. C. MODEL DE PROGRAMMATION LINEAIRE	54
CHAPITRE V. ANALYSES DES RESULTATS	56
V. A. TARIFICATION VOLUMETRIQUE	56
V. B. TARIFICATION PAR REGION	62
V. C. TARIFICATION BINOME	63
V. D. ANALYSE ECONOMIQUE DES POLITIQUES	67
V. E. IMPORTANCE DES EQUATIONS DU COUT TOTAL ET MARGINAL	71
V. F. ESTIMATION DE DEMANDE	74
CONCLUSION	76
ANNEXES	79
GLOSSAIRE DES TERMES DE LA SCIENCE DES SOLS	117
BIBLIOGRAPHIE	130

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur G. Flichman, Monsieur H. Kasnaçođlu et Monsieur E. akmak pour l'attention et les conseils précieux qu'ils m'ont prodigués. Je désire également adresser mes remerciements :

 mes amis qui m'ont supporté tout au long de cette recherche. De plus, ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'assistance des beaucoup de Turques qui généreusement ont accepté de partager leurs informations et compétences. J'aimerais aussi accorder mes remerciements les plus chaleureux à ma famille pour leur soutien et leur amour.

A ma mère et mon grand frère !

RESUME

Dans cette étude, nous avons examiné et comparé les résultats possibles de différentes politiques de tarification d'eau en terme d'efficacité, de la génération du bénéfice social et des systèmes culturaux. Les politiques examinées dans notre étude sont les politiques de tarification volumétrique, binôme, d'échelon et par région. La tarification par région est la méthode courante en Turquie. La région d'étude est Karapinar. Notre étude comprend deux différents modèles mais complémentaires. Le premier est le modèle biophysique alors que le second est le modèle d'économique. Ces types de modèles combinés se sont appelés les modèles bio-économiques. Comme modèle biophysique, nous avons utilisé le modèle de CropSyst. En utilisant les simulations de CropSyst nous avons obtenu les rendements des cultures respectives pour différents niveaux d'irrigation. Nos cultures sont le blé, l'orge, la betterave à sucre et le pois chiche. Nous avons utilisé ces rendements dans notre modèle d'économique d'un fermier représentatif. Le modèle économique est un modèle de programmation linéaire. Le modèle de la programmation linéaire a été résolu en utilisant le logiciel de GAMS. Dans la dernière partie de notre étude, nous avons réalisé des simulations pour les différentes méthodes de tarification d'eau afin de comparer les résultats dégagés. En terme d'efficacité nous avons conseillé les méthodes de tarification d'eau selon les résultats de notre étude. Nous avons estimé la demande d'eau pour la région de Karapinar en Turquie. Enfin nous avons constaté que la tarification volumétrique et ses variantes comme la tarification binôme et d'échelon donnent les résultats les meilleures en terme d'efficacité et de bénéfice social par rapport aux résultats de la tarification par région.

Mots clés: Eau, modèle biophysique, modèle de simulation, calibrage, CropSyst, GAMS, tarification d'eau, tarification volumétrique, tarification binôme, tarification d'échelon, tarification par région, efficacité, modèle agricole, modèles de programmation linéaire.

ABSTRACT

The results of different water pricing methods are examined and compared in terms of efficiency, social welfare generation and agricultural production patterns. The investigated methods are the volumetric, tiered, two-parties and per area pricing. Per area pricing is the method currently used in Turkey in the pricing of irrigation water. The application region is Karapinar in Turkey. Our study consists of two different but complementary models: biophysical and economic model. They are called bio-economic models. CropSyst is the biophysical model used in this study. The yields of the crops for different levels of irrigation are obtained through the simulations of CropSyst. The crops included in the model are wheat, rye, sugar beet and chickpeas. The estimated yields are used in the mathematical programming model of a representative farmer. The programming model is solved by using the GAMS software. Simulations for different types of water pricing methods are conducted to compare their efficiency. The demand for water of Karapinar has also been estimated. The results of simulations indicate that the volumetric pricing method, and its variants like tiered and two-parties pricing methods give better results in terms of efficiency and social welfare compared to the results of per area pricing.

Keywords: Water, biophysical models, simulation models, calibration, CropSyst, GAMS, water pricing, volumetric pricing, tiered pricing, two-parties pricing, per area pricing, efficiency, agricultural modeling, linear programming models.

« Il faut reconnaître que, sur bien des points, les
paysans savent mieux l'économie politique que les
économistes et les gouvernants... »

Walras (L.)

INTRODUCTION

Les problèmes de gestion de l'eau dans l'agriculture gagnent une importance croissante suite à l'accroissement démographique. Dans ce contexte, la tarification de l'eau comme un outil de politique devient importante. Jusqu'à récemment, l'approche préférée pour satisfaire les besoins en eau croissantes des communautés consistait à développer de nouvelles réserves inexploitées. Comme les nouvelles ressources de réserve de l'eau deviennent moins accessibles, et comme les développer devient plus cher et moins acceptable écologiquement, diriger la demande et permettre la réallocation de l'eau a gagné une importance croissante. L'objectif de gestion de demande est l'utilisation plus efficace du facteur d'eau.

CHAPITRE I. PROBLEMATIQUE

I.A. INTRODUCTION

En Turquie il n'y a presque aucune tarification volumétrique de l'eau dans le système d'irrigation¹. Les fermiers ne sont pas chargés des prix basés sur la valeur réelle de la ressource de l'eau qu'ils utilisent pour l'irrigation. Ils paient un prix annuel fixé par région pour les opérations de l'irrigation de DSI (Organisation chargé de l'irrigation de Turquie). Il y a deux composantes de ce prix. La première composante est projeté pour récupérer les coûts de l'opération et les dépenses de la maintenance qui sont contactés par DSI, pendant l'année antérieure, et sans un ajustement de l'inflation (En Turquie le taux d'inflation est 80-90 % par an). Ces prix varient par culture et par région. La deuxième composante de la charge de l'eau

¹ Cakmak. E., *Water Resources in Turkey: Availability, Use, and Management*, Decentralization and Coordination of Water Resource Management, Kluwer Academics Publishers, pp. 33-44, 1997.

est projeté pour récupérer le coût capital d'un projet de d'irrigation. Par contre, la DSI ne permet pas de charger un coût de récupération de capitale pendant les dix années qui succèdent l'achèvement du projet. Pour finir, en dépit de ces termes favorables dans la détermination des prix, il existe un intervalle énorme entre les estimations et la collection des charges de l'eau dû aux amendes négligeables pour les paiements tardifs.

La Turquie elle a des ressources en eau abondantes. Mais si on continue de faire le gaspillage suite à une politique de tarification de l'eau qui n'est pas bien définie comme maintenant, il y aura des problèmes très important concernant le facteur eau. Pour l'année 2010, la disponibilité d'eau par personne en Turquie sera légèrement inférieure à 2500 mètres cubes par année. Généralement, les pays avec une disponibilité annuelle d'eau entre 1000 et 3000 mètres cubiques ont des problèmes majeurs pendant les années sèches. Par conséquent, des conflits dans l'allocation sectorielle de l'eau surviendront certainement.

Le fardeau d'ajustement tombera sur le secteur agricole comme le majeur consommateur. L'accroissement dans l'efficacité de l'usage de l'eau dans les systèmes de l'irrigation n'économisera pas seulement de l'eau, mais il améliorera aussi les rendements. Le système d'irrigation en Turquie exige une effective tarification de l'eau.

C'est pourquoi, nous voulons examiner les résultats des différentes méthodes pour la tarification de l'eau. En utilisant l'outil de tarification on peut arrêter ce gaspillage en eau en Turquie. Nous pouvons **résumer la problématique** de notre étude comme suit : ***En Turquie l'allocation de l'eau n'est pas efficace. Parce que le prix est inférieur à la valeur réelle de cette ressource.*** Maintenant ce n'est pas un grand problème pour la Turquie, parce que les ressources en eau en Turquie sont relativement abondantes. Mais ça ne veut pas dire qu'on permet le gaspillage d'une ressource aussi importante pour la vie. Comme on a mentionné auparavant, pour l'année 2010, la disponibilité d'eau par personne en Turquie sera légèrement

inférieure à 2500 mètres cubiques par année. Généralement, les pays avec une disponibilité annuelle de l'eau entre 1000 et 3000 mètres cubiques ont des problèmes majeurs pendant les années de sécheresse. Par conséquent, des conflits dans l'allocation sectorielle de l'eau surviendront certainement.

I.B. OBJECTIF DU TRAVAIL

Notre hypothèse est que l'allocation de l'eau en Turquie peut être efficace avec la tarification de l'eau qui reflète la valeur réelle de cette ressource. On peut utiliser des différents types de tarification pour l'efficacité d'usage de l'eau. Dans notre étude nous évaluerons différentes politiques de tarification de l'eau pour l'efficacité. En plus, les effets des différentes politiques seront examinés selon les changements de revenus des agriculteurs et de l'Etat. A la fin de notre étude nous conseillerons les méthodes de tarification pour un usage efficace d'eau. En utilisant l'outil de tarification, la Turquie peut distribuer ses ressources en eau d'irrigation efficacement.

I.C. EAU COMME UN BIEN ECONOMIQUE

L'idée de "l'eau comme un bien économique" est simple. Comme tous les autres biens, l'eau a une valeur que les utilisateurs veulent payer. Les consommateurs (demandeurs) demanderaient de l'eau jusqu'au point où le montant qu'ils sont disposés à payer pour une unité (m^3) supplémentaires d'eau (bénéfice marginal) égale le prix auquel les producteurs (offreurs) sont disposés à offrir une unité additionnelle d'eau (coût marginal). En autres termes, les consommateurs utiliseraient de l'eau tant que les bénéfices qu'ils obtiennent de l'usage d'un mètre cube supplémentaire dépasse les coûts qu'ils paient. Cela est illustré dans la figure suivante. La consommation optimale est X^* . Si le prix est P^1 , qui est inférieur au coût marginal de l'offre, alors que le consommateur ne consommera pas X^* mais X^1 . En ce

cas, la hausse de coûts (la partie dessous de la courbe de coût) dépasse la hausse de bénéfices et il y a une perte de bénéfices nets qui s'appelle la « charge morte ».

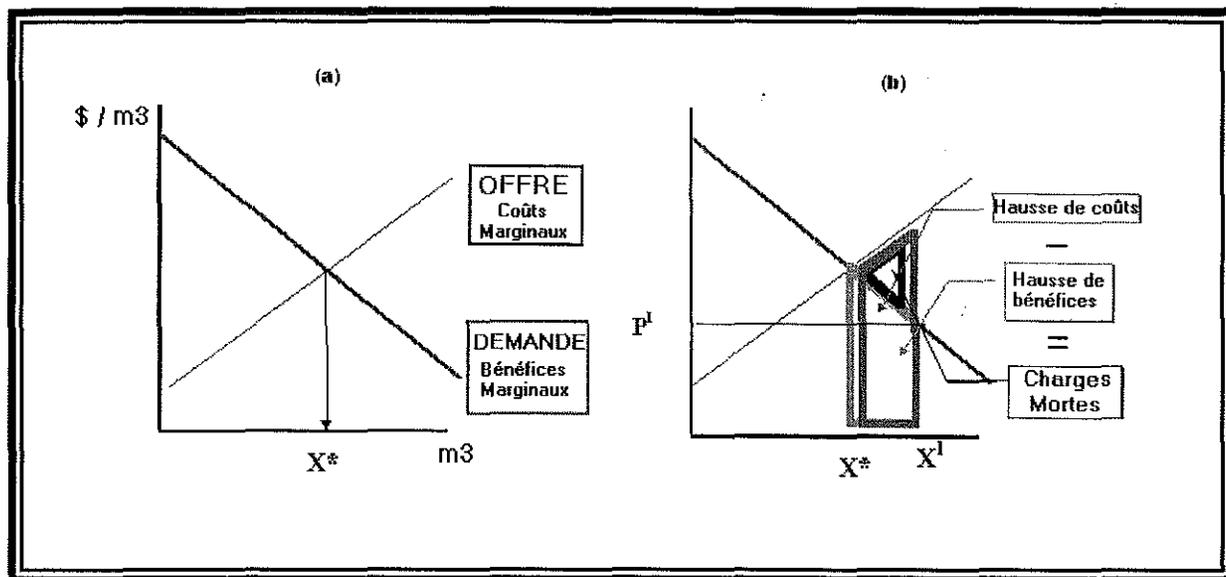


Figure 1. Consommation optimale et la "charge morte" si le prix d'eau est inférieur au coût marginal.

Un consommateur qui a besoin d'un bien valorise fortement les premières unités et beaucoup moins les unités suivantes. Il achète sur le marché toutes les unités de bien à un même prix, alors qu'il était prêt à payer un prix plus élevé pour certaines d'entre elles (pour toutes les unités sauf la dernière). Le surplus de consommateur représente cet avantage que l'acheteur tire de sa consommation au prix fixé par le marché. L'existence de surplus est liée à la pente décroissante de la courbe de demande. Le surplus est égal à la différence entre la somme de monnaie maximale que le consommateur est disposé à payer pour obtenir une certaine quantité d'un bien et la dépense totale qu'il supporte effectivement compte tenu du niveau auquel se fixe le prix du marché. Il faut faire attention que, ici, le prix de marché est le coût marginal de l'offre.

La figure suivante permet de voir ces deux régions : la partie de dépenses totales et la partie de surplus du consommateur.

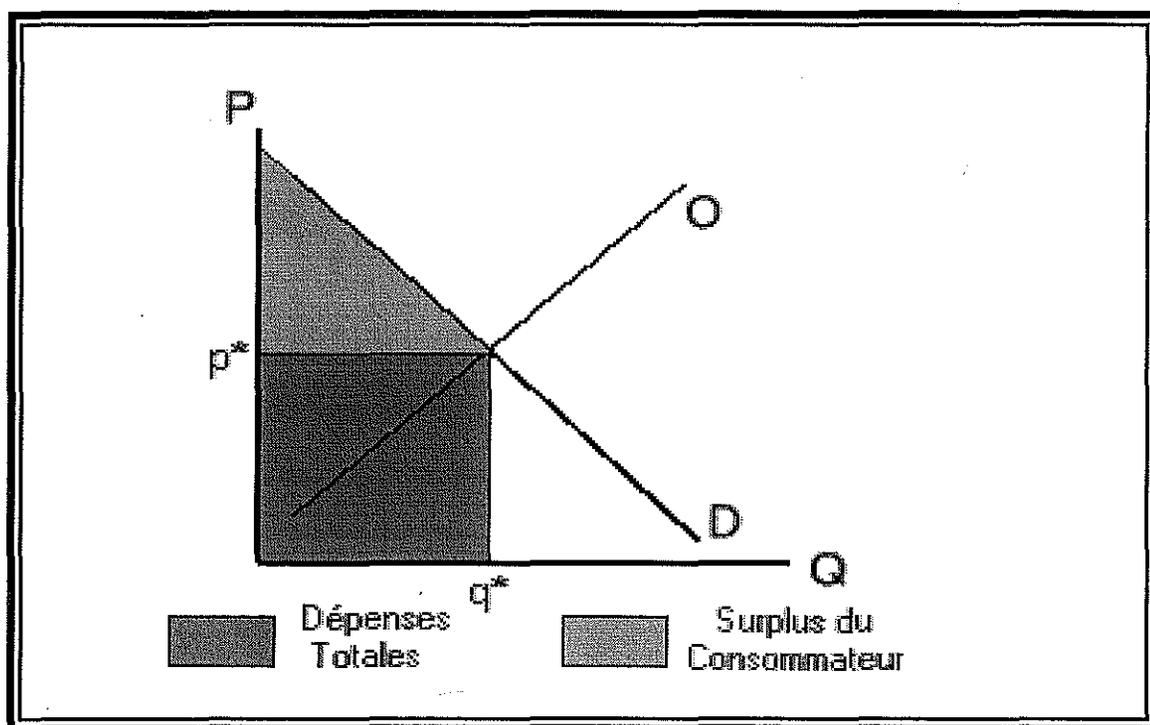


Figure 2. Surplus du consommateur

Avec le même raisonnement, dans le cas d'un comportement d'offre, nous pouvons définir un surplus du producteur qui mesure les bénéfices nets pour l'offreur découlant de la production d'une quantité donnée d'output. La figure suivante permet de voir deux régions : la partie de surplus du consommateur (SP) et la partie de surplus du consommateur (SC).

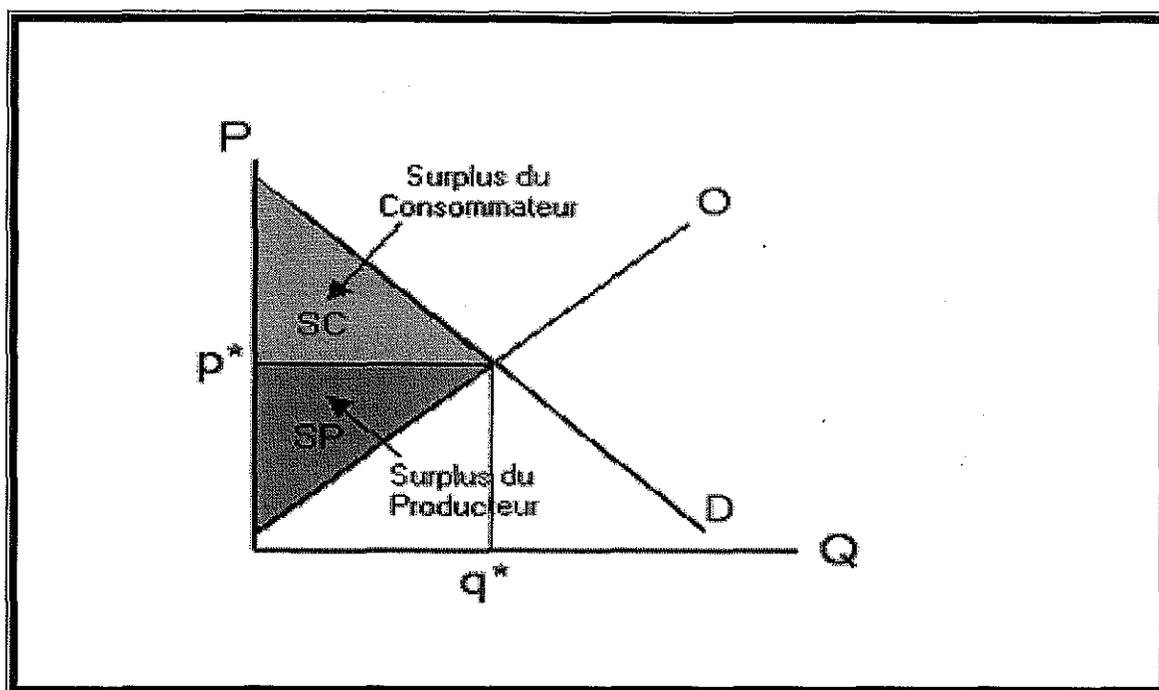


Figure 3. Surplus du consommateur et surplus du producteur à l'équilibre.

A l'équilibre de marché, les consommateurs et producteurs partagent les gains de commerce. Le gain total de commerce égale le surplus du consommateur plus le surplus du producteur. Pour maximiser le bénéfice de société il faut maximiser la somme de surplus du consommateur et producteur, c'est-à-dire il faut maximiser le gain de commerce. En concurrence pure et parfait, le prix de marché est le prix qui maximise la somme de surplus du consommateur et producteur, parce qu'à l'équilibre, le coût marginale d'une entreprise et l'utilité marginale d'un consommateur est égale au prix de marché.

Une allocation effective de l'eau est une allocation qui maximise le surplus total qui peut être produit par la quantité disponible de cette ressource.

Le prix est très important pour la réalisation de l'allocation efficace des ressources. Si le prix n'est pas le coût marginal de cette ressource, on ne peut pas obtenir une allocation efficace.

Pour une allocation efficace de l'eau, le prix de l'eau doit être égal au prix marginal de l'offre et en tenant compte ce prix les demandeurs décideraient combien ils utiliseraient pour

maximiser leurs utilités. Ils utiliseraient de l'eau jusqu'à ce qu'ils égalisent la valeur de productivité marginale de l'eau au prix. Donc, pour une allocation efficace de l'eau, le prix devrait être égal au coût marginal de l'offre et les agriculteurs utiliseraient de l'eau jusqu'au point où ils égalisent la valeur de productivité marginale de l'eau à ce prix.

I.D. L'EFFICACITE² DE DIFFERENTES POLITIQUES

Comme on a vu au-dessus, une allocation effective des ressources de l'eau est une allocation qui maximise le *bénéfice net total* qui peut être produit par la quantité disponible de ressource. Si le bénéfice net qui sera maximisé implique seulement des coûts variables, c'est une efficacité à court terme³. Dans l'absence des impôts ou d'autres contraintes distordantes, une allocation effective est *first-best* (Pareto effectif)⁴. Dans la présence des contraintes distordantes, une allocation qui maximise le bénéfice net total sous ces contraintes est appelée *second-best* effectif⁵. Telle est la situation, par exemple, quand les impôts qui déforment des décisions de l'input-output existent.

Yacov Tsur et Ariel Dinar dans leur article de "Efficiency and Equity Considerations in Pricing and Allocating Irrigation Water" construisent une modélisation pour évaluer des différentes méthodes de tarification de l'eau concernant l'efficacité de l'allocation de l'eau. Cette partie de notre étude repose sur leur modélisation.

Les coûts de l'eau d'irrigation sont des coûts variables de traitement, des coûts variables de livraison aux utilisateurs et des coûts fixes d'opérations et de maintenance de capitale (O&M).

² Tsur Y. et Dinar A., 1995, Efficiency and Equity Considerations in Pricing and Allocating Irrigation Water, Banque Mondiale, Policy Research Working Paper no :1460.

³ Idem.

⁴ Idem.

Les coûts variables dépendent du montant de l'eau délivré, alors que les coûts fixes ne changent pas.

Les méthodes de tarification de l'eau sont les suivantes ;

1. **Tarification volumétrique** : L'eau est payée directement en fonction des unités d'eau consommée. Les variations de l'approche volumétrique incluent (a) le calcul indirect basé sur la mesure de minutes de courant connu (comme d'un réservoir) ou minutes de courant incertain (proportions d'un courant d'une rivière), et (b) une charge pour un volume minimal même s'il n'a pas été consommé.
2. **Tarification d'Output** : Les irrigateurs paient un certain frais de l'eau pour chaque unité de production qu'ils produisent.
3. **Tarification d'Input** : Les irrigateurs paient un frais de l'eau pour chaque unité d'un certain input utilisé.
4. **Par unité de région** : L'eau est chargée par région irriguée selon le genre et l'ampleur de la culture irriguée, méthode de l'irrigation, la saison de l'année, etc.
5. **Tarification d'échelon**⁶ : C'est une méthode volumétrique à plusieurs taux, dans laquelle le prix d'eau change après certain point ou bien selon les saisons.
6. **Tarification Binôme** : Ces méthodes impliquent une charge pour les irrigateurs équivalent à un prix marginal fixe par unité de l'eau achetée (tarification volumétrique de coût marginal) et une charge annuelle fixée (ou un frais de l'admission) pour le droit d'acheter de l'eau. Ce frais d'admission est le même pour tous les fermiers. Ce type de tarification a été conseillé et pratiqué dans les situations où une utilité publique se produit avec un coût marginal qui est inférieur au coût moyen.

⁵ Idem.

⁶ Tiered pricing.

Une *tarification volumétrique* qui utilise le coût marginal comme le prix de l'eau, quand l'information n'a pas un coût, est first-best effectif à court terme⁷. Les méthodes de tarification d'input et output peuvent accomplir le second-best efficacité à court terme car les impôts de l'output/input peuvent déformer des décisions de l'output/input; ils sont cependant facile à exécuter et n'exigent pas des données sur l'eau utilisée par les fermiers. *La tarification par bloc taux* peut accomplir le first-best efficacité à court terme⁸, et la *tarification binôme* peut accomplir first-best efficacité à long terme⁹. *La tarification par région* peut affecter l'input de l'eau à travers son effet sur les choix de la culture mais est inefficace. Parce que une fois que la culture a été choisie, le prix de l'eau n'a aucun effet sur la demande de l'eau. Il est cependant facile d'exécution et d'administration et exige de l'information minimale.

Méthode	Exécution	Efficacité	Horizon de temps pour l'efficacité	Compétence de contrôler la demande
<i>Tarification Volumétrique</i>	Complicé	1 ^{er} best	A Court terme	Facile
<i>Tarification d'Output</i>	Relativement facile	2 nd best	A Court terme	Relativement facile
<i>Tarification d'Input</i>	Facile	2 nd best	A Court terme	Relativement facile
<i>Par unité de région</i>	Le plus facile	-	-	Difficile
<i>Tarification d'échelon</i>	Relativement compliqué	1 ^{er} best	A Court terme	Relativement facile
<i>Tarification Binôme</i>	Relativement compliqué	1 ^{er} best	A Long terme	Relativement facile

Tableau 1. Comparaison de différentes méthodes de tarification de l'eau¹⁰.

⁷ Idem.

⁸ Idem.

⁹ Idem.

¹⁰ Tsur Y. et Dinar A., 1995, Efficiency and Equity Considerations in Pricing and Allocating Irrigation Water, Banque Mondiale, Policy Research Working Paper no :1460.

I.E. CADRE D'ETUDE

I. E. 1. PRESENTATION DE TURQUIE

La Turquie est un vaste pays qui s'étend sur une superficie totale de $777\,971\text{ km}^2$. Il est partagé entre l'Europe et l'Asie. La partie européenne se nomme la Thrace et la partie asiatique qui est une longue péninsule délimitée au nord par la Mer Noire et au sud par la Méditerranée, et qui représente 97 % de l'ensemble des terres du pays, s'appelle l'Anatolie. Ce sont les mers Egée et Marmara qui viennent délimiter les côtes occidentales de la Turquie. La longueur totale du littoral de la Turquie est de 8 210 km.

La Turquie est un haut plateau ondulé qui s'étend de la Mer Egée à l'ouest, au mont Ararat à l'est. Les chaînes pontiques au nord, les chaînes taurides au sud, les montagnes transversales des côtés ainsi que des horsts parsemés tout au long de l'Anatolie culminent au dessus du plateau dont l'altitude moyenne est de 1 000 m.

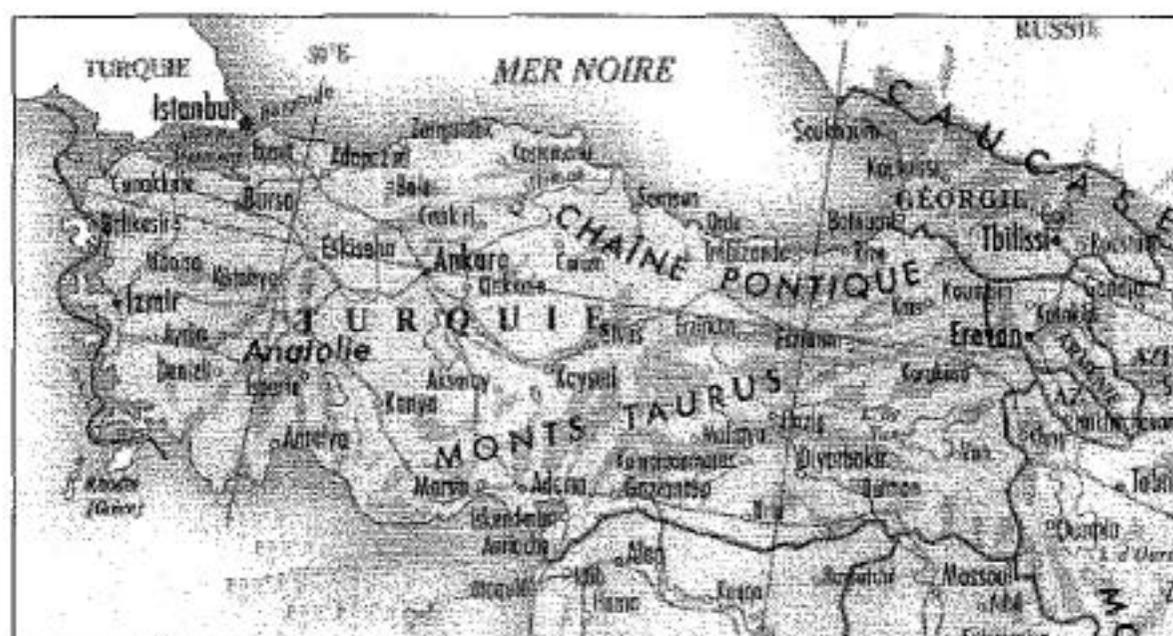


Figure 4. La Turquie

Ce paysage, présentant une grande variété de relief et de nombreux cours d'eau et lacs, peut être divisé en *six zones*, aux caractéristiques différentes selon leur relief, leur climat et leur sol. Ce sont :

1. La Région de Marmara
2. La Région Egéenne
3. Les Chaînes montagneuses côtières
4. *L'Anatolie centrale (Zone de Konya-Karapinar)*
5. L'Anatolie orientale
6. Le Sud-Est de l'Anatolie

Notre région d'étude *Konya-Karapinar* se trouve dans la région de l'Anatolie centrale. L'Anatolie centrale est un haut plateau ondulé d'une *altitude moyenne de 1 000 m*. Quelques hauts sommets isolés émergent çà et là sur vaste étendue qui couvre environ un tiers du territoire turc. Au sud du plateau, la plate-forme qui s'étend du Tuz Golu (Grand lac Salé) à l'est de **Konya** est un des principaux centres agricoles du pays mais on y rencontre certaines problèmes de *drainage et de salinité* dans les cuvettes. Le plateau s'élève au nord au fur à mesure que l'on se rapproche de la chaîne pontiques et au sud et à l'ouest avec apparition des premiers reliefs des chaînes taurides et dinariques.

La Turquie se situe, selon une certaine classification, dans une *ceinture climatique subtropicale*, et comprend plusieurs sous-climats. Une première classification grossière donne deux grands ensembles climatiques : 1) *le climat des zones littorales* et 2) *le climat continental du plateau central*. Pour des raisons principalement liées au relief, ces deux ensembles sont découpés en cinq ceintures climatiques. Ce sont ; 1) *La ceinture méridionale*

2) La ceinture septentrionale 3) La ceinture steppique centrale 4) La ceinture orientale 5) Les climats de transition. Konya se trouve dans la région de la ceinture steppique centrale. Dans cette région séparée des zones littorales par d'imposant massif montagneux, des étés chauds et arides alternent avec des hivers froids et pluvieux. Les précipitations, comprises entre 300 et 400 mm par an, sont insuffisantes et irrégulières. Sur cet immense plateau pierreux et dénudé, les récoltes sont souvent à la merci de ce climat continental sec.

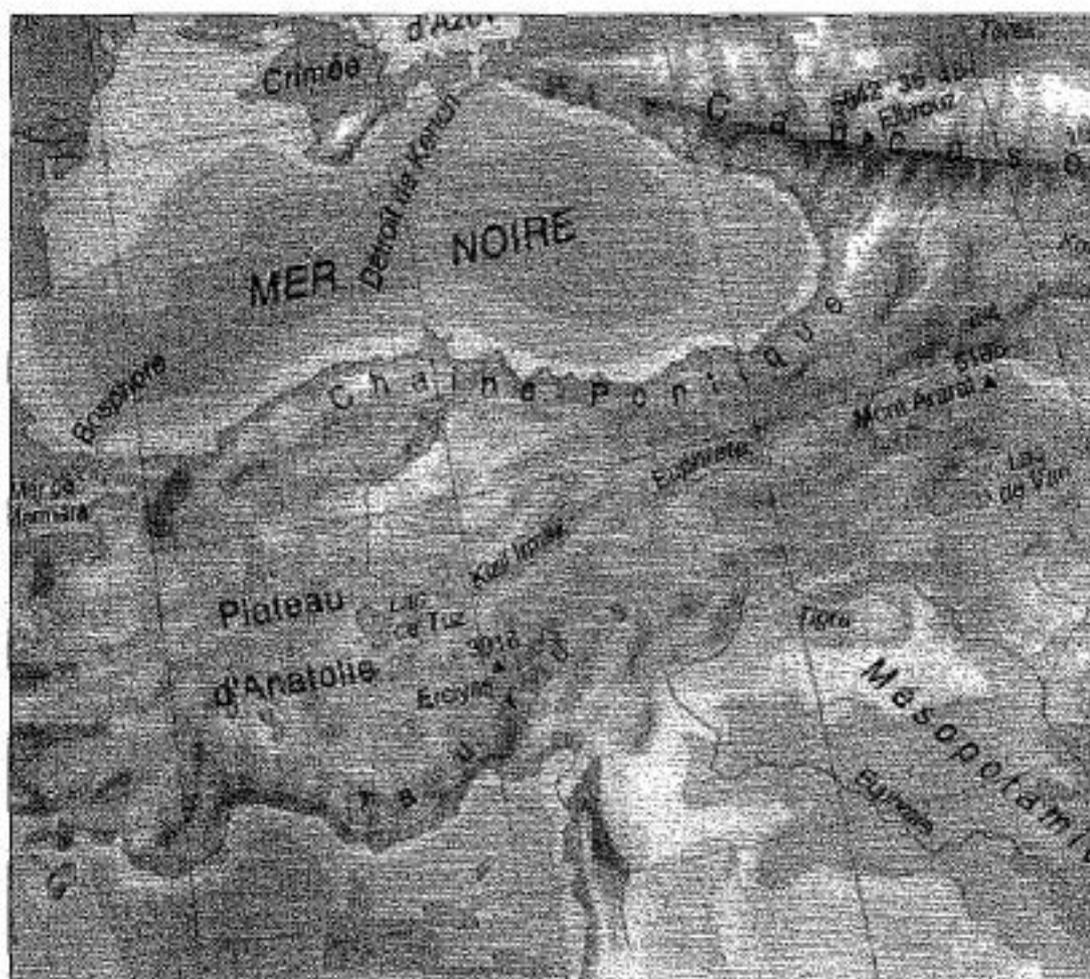


Figure 5. La Turquie et le Plateau d'Anatolie

LES RESSOURCES EN EAU

La Turquie est un pays riche en ressources fluviales et lacustres. Les fleuves septentrionaux et méridionaux reçoivent de grandes quantités d'eau grâce à un régime de précipitation abondant. Ceux qui sont situés sur les plateaux central et oriental sont nourris par les eaux issues de la fonte des neiges ou sont alimentés par des sources ou des lacs.

Les lacs de Turquie sont d'origine tectonique, volcanique, glaciaire ou karstique. Le plus grand d'entre eux est le lac de Van couvrant une superficie totale de 3 713 km². On rencontre également quelques lacs de barrages dont le plus grand est le lac du barrage de Keban (675 km²).

La pluviométrie moyenne annuelle est de 652,5 mm. Donc le potentiel en eau correspond à 509 milliards de m³. La quantité écoulée de ce potentiel est de 186,5 milliards de m³, ce qui donne un coefficient d'écoulement moyen de 0,38 pour la Turquie. Les 62% de ces précipitations annuelles ne rejoignent pas les cours d'eau à cause de l'évaporation ou de la transpiration végétale. Une entière utilisation des 186,5 milliards de m³ d'eau fluviale est techniquement impossible. On estime que la quantité d'eau non consommée est de 91,5 milliards de m³ et donc que la quantité d'eau utilisée annuellement est de 95 milliards de m³. Dans le tableau suivant, on voit les ressources en terre et en eau de la Turquie.

Ressources en terre (million ha)		
Superficie totale	77,95	
Surface totale labourable	28,05	
Surface cultivée	20,8	
Superficie irrigable	25,75	
Superficie économiquement irrigable	8,50	
Superficie irriguée	4,543	
Superficie irriguée par DSI	2,072	
Ressources en eau		
Pluviométrie moyenne annuelle	652,5	mm
potentiel en eau	501,0	km ³
Eaux terrestres		
quantité écoulée	186,05	km ³
coefficient d'écoulement	0,37	
Quantité d'eau utilisable	95,00	km ³
consommation actuelle	29,55	km ³
Eaux souterraines		
réserve souterrain en eau exploitable	12,3	km ³
quantité fournis par DSI	8,8	km ³
consommation annuelle	6,0	km ³
Irrigation totale	23,1	km³

Tableau 2. Ressources de la Turquie

I. E. 3. PRESENTATION DE KARAPINAR

Pour cette recherche, nous avons choisit **KARAPINAR**, sous-préfecture à 95 km à l'Est de **Konya**. La région a une superficie de 2 669 km² et une population de 44 254 dont 39.33% (17 405) rurale. Le climat est continental ; les étés sont chauds et secs, les hivers sont froids et humides. Pour les donnés climatiques, voir annexe 3.

La région de Karapinar a une superficie agricole utile de 1 214 775 da¹¹ sur un total de 1 556 315 da. Le pourcentage des terres arides est de 21.95% (341 540 da). Les cultures importantes sont le blé, l'orge, la betterave à sucre, le pois chiche, le seigle.

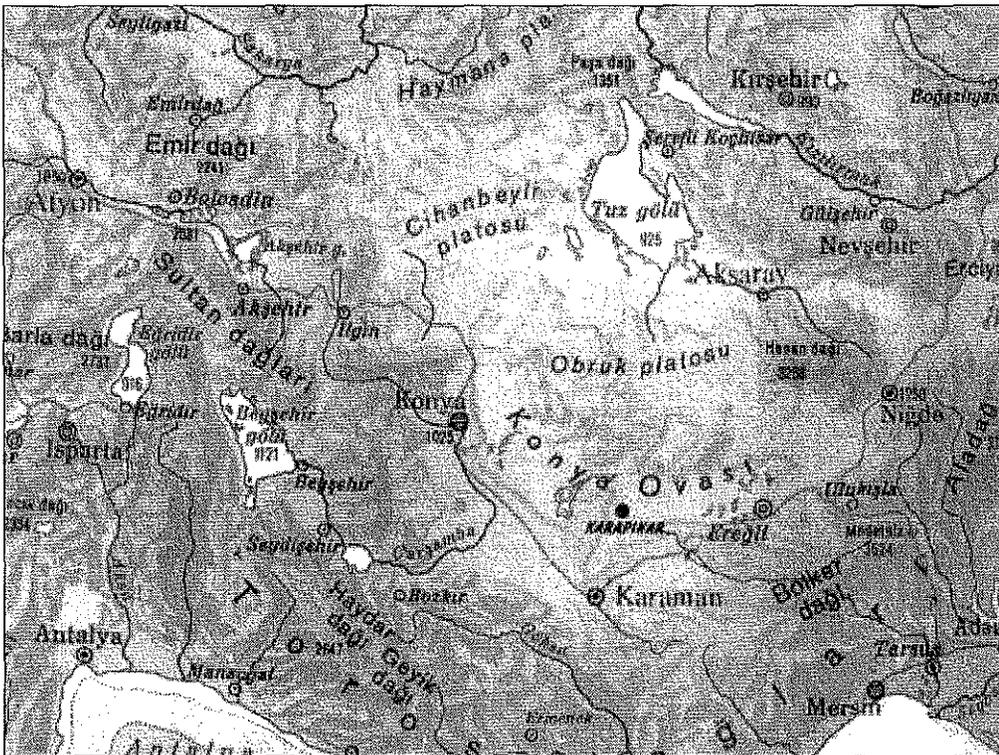


Figure 6. Konya et KARAPINAR

¹¹ 1 Ha. = 10 da.

Dans le tableau suivant (Tableau 3), on voit les équipements agricole dans la région de Karapinar.

Equipement	
Tracteur	1140
Remorque	1145
Charrue	1120
Planteuse	611
Pulvérisateur	18
Batteuse	688
Moissonneuse-Batteuse	50

Tableau 3. Nombre des équipements agricoles dans la région de Karapinar

Dans le tableau suivant (Tableau 4), on voit la distribution des terres selon la production agricole dans la région de Karapinar.

Terres Cultivables	1 214 775 da	% 78.05
<i>Terre irriguée</i>	31 450 da	% 2.75
<i>Terre non - irriguée</i>	603 240 da	% 49.66
<i>Fourrage / Pâturage</i>	360 077 da	% 29.64
<i>Vignoble</i>	650 da	% 0.05
<i>Forêts</i>	53 188 da	% 4.38
<i>Arbres Fruitiers</i>	-	-
<i>Terre non-utilisée</i>	16 415 da	% 13
Terre Non-Cultivable	341 540 da	% 21.95
Total	1 556 315 da	% 100

Tableau 4. Distribution des terres dans la région de Karapinar

I. E. 4. ANALYSES ECONOMIQUE DES EXPLOITATIONS DANS LA REGION DE KARAPINAR

Le tableau suivant (Tableau 5) présente les différentes postes de charges variables pour la production animale et végétale, prise en compte dans notre calcul du coût variable de production et par conséquent dans le calcul de la marge brute. Comme on peut le constater, ces postes de charges sont similaires entre la production végétale et animale dans le sens où ils sont des charges effectivement générées par l'activité de production, alors que la différence

réside dans le coût du remplacement du troupeau qui représente une charge calculée, prise en compte par le fermier pour permettre le renouvellement de son cheptel.

Production végétale	Production animale
semence	coût de remplacement du troupeau
engrais acheté	nourriture
coût du pesticide	coût du pesticide
coûts variables de machine	coût de vétérinaire
coût de main-d'œuvre (salaire)	coût du vaccin
coût de machine	assurance des animaux
coût de l'eau	coût de gardien de troupeau
assurance de la culture	coût de tondre
coût de marketing	coût de marketing
Intérêt du capital variable	coût du capital variable

Tableau 5. Postes de charges variables des exploitations.

	1-50 (da)	51-100 (da)	101-200 (da)	201-400(da)	400- + (da)	Total (da)
Tracteur	2	2	11	10	7	32
Remorque	2	2	11	9	7	31
Charrue	2	4	11	12	7	36
Chisel	1	-	10	7	4	22
Diskharrow- Râteau	1	-	11	5	5	22
Planteuse	2	2	10	8	6	28
Epandeur d'engrais	-	-	9	3	2	15
Pulvérisateur	-	-	9	3	2	15
Batteuse	2	-	9	6	5	22
Moissonneuse -Batteuse	-	-	-	-	-	-

Tableau 6. Quantification des équipements agricoles disponibles sur les exploitations enquêtées.

Genre de Bâtiment	Superficie de l'Exploitation (da)					Moyenne
	1-50	51-100	101-200	201-400	400- +	
Maison	71.54	71.07	70.88	76.09	70.00	71.67
Etable	52.15	55.27	65.38	38.18	82.78	61.60
Bergerie	33.85	41.33	42.50	78.18	91.67	47.40
Entrepôt	26.00	31.90	55.50	64.91	76.67	43.14
Hangar	7.23	7.73	8.00	9.01	8.78	7.84
Fenil	29.15	36.73	39.71	44.27	48.89	36.41
Autres	4.13	4.07	4.64	6.00	6.78	4.70

Tableau 7. Dimension des bâtiments sur les exploitations enquêtées (m²)

Dans le tableau au-dessus (Tableau 7), on constate que pour les fermiers qui appartiennent à la strate de 201 à 400 da ont les étales les plus petits.

Superficie de l'exploitation (da)	Sol irrigué (da)	Sol non-irrigué (da)	Jachère (da)	Totale (da)
1-50	2.94	18.56	7.09	28.59
51-100	7.03	44.20	22.47	73.67
101-200	9.48	100.00	36.79	146.26
201-400	42.04	139.36	127.27	308.64
401- +	21.10	372.00	97.22	390.33
Moyenne	11.22	88.44	38.48	138.15

Tableau 8. Distribution du sol de l'exploitation

Dans ce tableau (Tableau 8), on constate que le pourcentage de la superficie irriguée évolue dans une sens contraire à l'augmentation de la superficie et cela est totalement raisonnable, du moment où on peut démontrer que les équipements nécessaires pour l'irrigation sont trop chère.

Période	Jours de Travail disponible	Heure de Travail disponible	Superficie de l'entreprise (da)										Moyenne Tigs
			1-50		51-100		101-200		201-400		40-01-+		
			Ig ¹²	Tigs ¹³	ig	Tigs	ig	Tigs	ig	Tigs	ig	Tigs	
I. 15 march-31 mai	60	480	2.76	1325	2.23	1070	2.29	1088	3.07	1474	2.50	1238	1239
II. 1 june-31 août	87	696	3.48	2422	2.83	1970	3.10	2158	3.48	2422	3.08	2144	2263
III. 1 septembre - 30 novembre	84	672	2.86	1922	2.33	1566	2.42	1626	3.07	2063	2.92	1962	1864

Tableau 9. Capacité de la main d'œuvre selon les superficies des exploitations.

Cultures	Périodes de Travail		
	1. période	2. période	3. période
Blé (x)	0.42	0.42	0.66
Blé (xx)	3.31	0.39	0.99
Orge (x)	0.27	0.32	0.40
Orge (xx)	3.30	0.38	0.67
Seigle (x)	0.27	0.32	0.40
Betterave à sucre	29.14	28.08	40.16
Pois chiche (x)	0.59	17.80	5.02

x → non-irrigué xx → irrigué

Tableau 10. Besoins en main-d'œuvre de chaque culture selon les différentes périodes (heure/da)

¹² La main d'œuvre

Ce tableau (Tableau 10) montre que les cultures les plus exigeantes en main d'œuvre sont les cultures irriguées, telle que le blé irrigué et l'orge irrigué. Parmi ces cultures irriguées on constate aussi que la betterave à sucre consomme plus de main d'œuvre que les autres, cela est due à, ce que cette culture nécessite beaucoup d'opérations culturales qui sont faites manuellement ou aussi mécaniquement, mais ces opérations telle que le démariage ne sont pas réalisées pour les autres cultures.

Animal		Périodes de travail		
		1.période	2.période	3.période
		Main d'œuvre (heure/unité)	Main d'œuvre (heure/unité)	Main d'œuvre (heure/unité)
Vache	mêlé	59.68	72.25	71.44
	culture	59.68	72.25	71.44
Mouton		5.24	6.89	6.54

Tableau 11. Besoins en main-d'œuvre pour l'activité animale selon les différentes périodes (heure/da).

La présence des bovins la plus part du temps dans les étables fait que leurs consommations en main d'œuvre soit plus importante que les ovins qui sont la plus part du temps en pâturage.

Besoin d'aliment (ND)	Vache			Mouton
	Local	mêlé	culture	
<i>Aliment concentré</i>	315	503	916	60
<i>Aliment (du pâturage)</i>	809	403	415	196
<i>Aliment (de l'exploitation)</i>	475	604	1245	80
<i>paille minimum</i>	-	503	560	-
Besoin de Bâtiment (m²)				
<i>Ecurie</i>	8.5	11.98	13	-
<i>Bergerie</i>	-	-	-	1.57

Tableau 12. Besoin en aliment, l'écurie et la bergerie de la production animale.

Ce tableau (Tableau 12) nous donne une idée sur les besoins du cheptel vif, que ce soit en bâtiment ou en aliment qui doivent être satisfait par le fermier. Ce tableau montre aussi comment le fermier procède pour satisfaire les besoins alimentaires de son cheptel.

¹³ La capacité de main d'œuvre totale de l'exploitation par période (heures)

Superficie de l'entreprise (da)		cultures							
		blé (x)	blé (xx)	orge (x)	orge (xx)	seigle (x)	betterave à sucre	pois chiche (x)	
1-50	semence (kg/da)	24.70	25.60	26.80	26.40	22.16	-	12.7	
	engrais (kg/da)	N	9.28	14.22	6.72	13.62	6.28	34.15	-
		P ₂ O ₅	6.75	7.80	4.80	6.55	4.17	12.15	-
51-100	semence (kg/da)	24.20	25.30	26.71	27.32	21.18	-	15.4	
	engrais (kg/da)	N	9.42	16.67	8.62	14.12	5.49	31.67	-
		P ₂ O ₅	6.82	7.62	5.18	6.48	4.35	11.75	-
101-200	semence (kg/da)	23.60	24.22	26.45	26.84	20.45	-	-	
	engrais (kg/da)	N	9.16	12.18	7.49	14.75	6.24	-	-
		P ₂ O ₅	7.12	7.25	6.48	7.12	3.75	-	-
201-400	semence (kg/da)	23.80	24.75	26.75	-	-	-	-	
	engrais (kg/da)	N	8.24	11.48	7.58	-	-	-	-
		P ₂ O ₅	5.16	6.30	4.95	-	-	-	-
401-+	semence (kg/da)	23.90	24.12	24.18	-	19.28	-	-	
	engrais (kg/da)	N	8.70	12.65	7.10	-	5.18	29.72	-
		P ₂ O ₅	5.75	6.18	4.75	-	4.40	11.30	-
Moyenne	semence (kg/da)	24.18	24.98	26.45	26.71	21.22	-	13.45	
	engrais (kg/da)	N	9.10	13.49	7.36	14.06	6.02	32.92	-
		P ₂ O ₅	6.58	7.40	5.28	6.71	4.11	11.93	-

x → non-irrigué xx → irrigué

Tableau 13. Montant de semence et engrais dans la production végétale

Ce tableau (Tableau 13) montre que le montant des facteurs de production n'est pas significativement variables si on passe d'une strate à une autre. On constate par conséquent que les fermiers utilisent les mêmes techniques culturales, et les variations des rendements qui résultent ne sont pas due principalement à la quantité de facteurs mais cela peut être due au mode et au stade végétatif pendant le quel on fait l'épandage (plus technique que quantitatif).

CHAPITRE II. METHODOLOGIE

II.A. APPROCHE METHODOLOGIQUE

Pour notre modèle la zone d'application empirique est la région de Karapinar. Les cultures sont le blé en sec, le blé en irrigué, l'orge en sec, l'orge en irrigué, le pois chiche et la betterave à sucre. On a obtenu des données nécessaires pour le modèle concernant la région de Karapinar. Ces données ont été utilisées par le logiciel CropSyst. On a fait le calibrage du modèle biophysique (CropSyst). On a fait des simulations sur CropSyst afin d'obtenir des coefficients de base nécessaires pour le modèle économique. Notre modèle économique est un modèle de programmation linéaire pour une ferme représentative. Le terme pour le coût de l'application de l'eau dans le modèle nous a permis de faire les simulations pour évaluer les différentes politiques de la tarification de l'eau. Le modèle de programmation linéaire a été résolu en utilisant le logiciel GAMS.

II.B. MODEL DE SIMULATION BIOPHYSIQUE

Pour estimer des fonctions de production, il faut avoir un grand nombre de données, mais les données sont limitées. Les effets de différentes politiques de tarification de l'eau dans la région sont inconnues. C'est pourquoi, il faut *simuler* les données. Le logiciel CropSyst, est un modèle biophysique, qui simule la croissance des plantes a été utilisé pour la génération des données dont nous avons besoin.

On a obtenu des données pour la région de Konya-Karapinar. Ces données ont été utilisées par le logiciel CropSyst. En utilisant CropSyst, nous avons observé des effets de différents

niveaux d'irrigation sur la production agricole. Nous avons estimé les rendements des cultures. Après, on a fait le calibrage du modèle biophysique afin de pouvoir utiliser les données dans le modèle économique du projet.

Un modèle de simulation de la croissance d'une culture peut être défini comme une représentation simplifiée des mécanismes physiques, chimiques et biologique qui régissent le processus de croissance de la plante. Si les processus fondamentaux de la plante sont correctement compris et représentés par l'utilisation de modèles appropriés, la réponse complexe de la plante aux conditions de l'environnement peut être simulée.

Ces modèles essaient de reproduire les comportements de certaines cultures. De tels modèles peuvent fournir à l'économiste, les résultats en terme de production, des différentes combinaisons de facteurs de production. Ils constituent de ce fait, un moyen très intéressant pour construire des fonctions de production d'ingénieur. De plus, élaborés dans le but d'approfondir les connaissances des processus agronomiques, les modèles de simulation de croissance des plantes sont très utiles pour analyser les conséquences des pratiques agricoles.

Le modèle CropSyst (Cropping Systems Simulation Model) est un modèle développé par les chercheurs de département de l'ingénierie des systèmes biologiques de l'Université de Washington (Etats-Unis). C'est un modèle de simulation multi-annuelles et journalier qui a été développé pour servir comme un outil analytique afin d'étudier l'effet de gestion des systèmes végétaux sur la productivité et l'environnement. Le modèle est écrit dans Turbo Pascal 6.0 pour MS-DOS, maintenant il y a aussi la version de Windows 95 qui a une interface très facile à utiliser.

II.B. MODEL DE SIMULATION ECONOMIQUE

Notre modèle de simulation économique est un modèle de programmation linéaire pour un fermier représentatif dans la région de Karapinar. Afin de résoudre le modèle de programmation linéaire nous avons utilisé le logiciel de GAMS.

GAMS est l'acronyme pour "General Algebraic Modeling System". GAMS est un langage de programmation de haut niveau qui permet de résoudre des modèles avec une formulation d'énoncés algébriques concis qui peuvent être lus facilement autant par l'ordinateur que par le modélisateur. De plus, ce langage est facile à utiliser et peut être importé aisément d'un environnement informatique à un autre. Nous pouvons travailler dans un environnement DOS (PC) et ensuite transférer le programme écrit en caractères ASCII à un environnement UNIX et vice et versa. Tout genre d'éditeurs de texte peut être utilisé (e.g. VPLUS, Norton desktop, DOS editor, WP, Word). MINOS (Modular In-core Non-linear Optimization System) qui est l'algorithme de résolution utilisé, accepte des énoncés de programmation non linéaire très complexes en GAMS.

Le logiciel pour GAMS a été développé par un groupe d'économistes qui travaillaient à la Banque Mondiale en réponse à la complexité des logiciels disponibles pour la modélisation économique. GAMS a permis de rendre la modélisation accessible à un nombre plus important d'économistes.

CHAPITRE III. MODELE BIOPHYSIQUE

III. A. LE MODELE DE SIMULATION CROPSYST

CropSyst permet de réaliser les simulations suivantes :

- Développement des cultures (Rendement, phénologie, etc.)
- Balance de l'eau et l'azote
- Salinité
- Erosion
- Effet de CO₂
- Effet des pesticides

Afin de faire tourner une simulation avec CropSyst, on a besoin de quatre fichiers nécessaires :

1. fichier de l'Emplacement (Location File),
2. fichier du Sol (Soil File),
3. fichier de la Culture (Crop File)
4. fichier de la Gestion (Opérations) (Management File)

Pour la facilité CropSyst offre des valeurs paramétriques (Biologique, Phénologique, etc.) pour quelques cultures. En cas de méconnaissance des valeurs réelles pour la culture on peut facilement installer des valeurs paramétriques généraux de la menu de CropSyst.

Ce sont les cultures suivantes :

- Blé (hiver, printemps)
- Orge(hiver, printemps)
- Millet
- Maïs

- Tournesol
- Thé
- Pomme de terre
- Betterave à sucre
- Haricot
- Lentille
- Luzerne

En faisant les changements nécessaires, les valeurs fournis par CropSyst pour ces cultures peuvent être facilement utiliser.

Pour préparer le fichier de l'emplacement, on a besoin des données assez divers. Il faut fournir les données climatiques journalières relatives à la pluviométrie, la température maximale et minimale, la radiation solaire correspondante aux moins pendant les dix dernières années.

Afin de préparer le fichier du sol, on a besoin des données de la texture et composition du sol, les propriétés physiques et hydriques du sol correspondante au moins à deux mètres de profondeur.

Quant au fichier de la gestion (ou bien opérations), il faut munir CropSyst des dates et types de la rotation, la plantation, le tillage, l'irrigation, la moisson, etc.

Pour le fichier de la culture on a besoin des données phénologiques et biologique de cette culture.

CropSyst prend toutes ces données nécessaires sur l'état du sol, du climat, de la culture appliquée, des opérations sur les champs, et donne les impacts sur la production (le rendement, etc.) et l'environnement.

Comme on peut facilement comprendre, les données nécessaires pour faire tourner des simulations sur CropSyst ne sont pas faciles à trouver et assez diversifiées et compliquées. Cependant, une fois calibrée, CropSyst permet de réaliser un grand nombre de simulations qui nous autorisent à examiner les effets de possibles changements sur les variables de sortie (Rendement, pollution de nitrate, érosion).

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 culturales, pour la prédiction des rendements dans différentes régions, pour l'ajustement de certaines techniques comme l'irrigation ou la fertilisation.

Les résultats obtenus avec CropSyst comprennent, entre autres, les rendements des cultures, les stress (d'eau, de température, d'azote, de phosphore), subis par les végétaux. Les résultats peuvent être générés d'une façon journalière, mensuelle ou annuelle.

III. B. LE CALIBRAGE DU MODELE CROPSYST

Dans le modèle de CropSyst il y a deux types de calibrages qui sont :

1. Calibrage de Phénologie
2. Calibrage du Rendement

Premièrement on retiendra comme support un seul problème très simple qui servira de comprendre la logique du calibrage de phénologie du modèle de CropSyst. Deuxièmement on va faire le calibrage de phénologie pour les cultures de blé, orge et betterave à sucre.

III. B.1. CALIBRAGE DE PHENOLOGIE

Supposons que nous avons les dates réelles pour la production de la culture de maïs (mois ;jour) comme les suivantes :

date de semis ¹⁴	05.15
date d'émergence ¹⁵	05.23
Aire foliaire maximum ¹⁶	07.27
Date de floraison ¹⁷	08.04
Remplissage du grain ¹⁸	08.10
Date de Maturité ¹⁹	09.28

Nous faisons tourner notre fichier de simulation et nous obtenons les dates simulées :

date de semis	05.01
date d'émergence	06.02
Aire foliaire maximum	07.21
Date de floraison	07.15
Remplissage du grain	07.21
Date de Maturité	08.13

¹⁴ Planting date.

¹⁵ Emergence date.

¹⁶ Max LAI (maximum leaf area index)

¹⁷ Begin flowering.

¹⁸ Grain filling.

¹⁹ Maturity date.

Donc,

Dates	Dates réelles	Dates simulées	Compatibilité
date de semis	05.15	05.01	Non
date d'émergence	05.23	06.02	Non
aire foliaire maximum	07.27	07.21	Non
Date de floraison	08.04	07.15	Non
Remplissage du grain	08.10	07.21	Non
Date de Maturité	09.28	08.13	Non

Nous voulons calibrer notre modèle pour que les dates simulées coïncident avec les dates réelles de la production de maïs.

Premièrement, nous devrions changer la date de semis. Nous changeons la date de semis pour notre culture appliquée dans la menu de «Rotation» de CropSyst dans le fichier de simulation. Pour le calibrage les dates des autres pratiques agricoles, on a besoin d'utiliser le concept de GDD²⁰.

$$\text{GDD} = [(T_x + T_n) / 2] - T_b$$

où :

T_x = température maximale

T_n = température minimale

T_b = température de base de la culture sélectionnée (T_b pour maïs est de 8)

On va calculer les formules suivantes :

²⁰ Growing Degree Days

émergence

$$\sum_{i=Semis} GDD_i \rightarrow \text{GDD accumulé jusqu'à l'émergence}$$

floraison

$$\sum_{i=Semis} GDD_i \rightarrow \text{GDD accumulé jusqu'à la date de Floraison}$$

remplissage du grain

$$\sum_{i=Semis} GDD_i \rightarrow \text{GDD accumulé jusqu'au remplissage du grain}$$

maturité

$$\sum_{i=Semis} GDD_i \rightarrow \text{GDD accumulé jusqu'à la date de Maturité}$$

Nous créons un fichier sur Excel afin de calculer les GDD accumulés correspondante aux dates en utilisant le fichier de Temps (Weather file) dans la quelle il y a des données climatiques journalière comme la température maximale et minimale :

	A	B	C	D	E	F	G
1		Jour	Pluie	Tx	Tn	GDD	
2		1	0,3	-1,7	-5,8	0	
3		2	0	2,1	-6,3	0	
4		3	0,15	6,6	-5,9	0	

Nous écrivons la formule suivante dans la cellule de F2 afin de calculer GDD.

$$=SI(((D2+E2)/2-8^{21})>0; (D2+E2)/2-8;0)$$

Avec cette formule nous calculons GDD pour tous les jours de l'année.

Pour calculer GDD accumulé, nous écrivons maintenant la formule suivante dans la cellule de G138 et calculons GDD accumulé pour tous les jours de l'année :

$$=F138+G137$$

Nous regardons les valeurs de GDD accumulés pour les dates réelles de la culture et nous les notons :

A la date de l'émergence (05.23),	GDD accumulé est de 46 (cellule G144)
A la date de Aire foliaire maximum (07.27),	GDD accumulé est de 883 (cellule G208)
A la date de floraison (08.04),	GDD accumulé est de 1006 (cellule G217)
A la date de Remplissage du grain (08.10),	GDD accumulé est de 1056 (cellule G222)
A la date de Maturité (09.28),	GDD accumulé est de 1753 (cellule G271)

Maintenant nous ouvrons le fichier de Culture (Crop File) et nous choisissons l'option de « Phénologie (Phenology) »

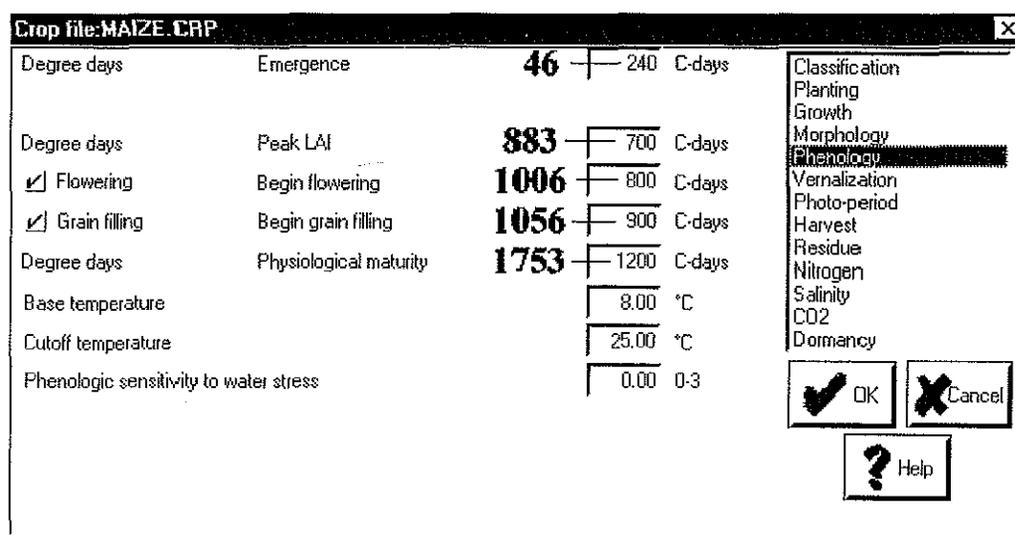


Figure 7. Menu de Phénologie (1)

Nous changeons des valeurs défauts avec les valeurs réelles de GDD accumulé et nous enregistrons le fichier de cultures (crop file) avec ces nouvelles valeurs.

Encore une fois nous faisons tourner la simulation, et nous obtenons :

²¹ température de base de maïs

Date	Date réelle	Modèle Simulé 1	Modèle Simulé 2
Date de semis	05.15	05.01	05.15
Date de l'émergence	05.23	06.02	05.23
Date d'aire foliaire maximum	08.10	07.21	08.10
Date de floraison	08.04	07.15	08.05
Date de Remplissage du grain	08.10	07.21	08.10
Date de Maturité	09.28	08.13	09.28

Donc, le modèle a été calibré comme la phénologie.

Dans les parties suivantes, nous allons calibrer les cultures de notre modèle ; le blé irrigué, l'orge irrigué et la betterave à sucre

A. Betterave à Sucre

Pour la betterave à sucre T_b (température de base) est de 1.

	Plantation	Moisson	Étapes de culture	Kc ²² (Penman)
Betterave à sucre	1 Avril	1 Octobre	30/45/60/45 (180 jours)	0.4/0.8/1.0/0.9

Nous avons les dates réelles pour la production de la culture de la betterave à sucre (mois.jour) comme suivantes :

date de la plantation	04.01
date de l'émergence	04.10
date de maturité	10.01

Nous faisons tourner notre fichier de simulation et nous obtenons les dates simulées :

date de la plantation	04.01
date de l'émergence	05.02
date de maturité	09.13

²² coefficient de culture

Donc,

Dates	Date réelle	Dates simulées	Correspondance
Date de semis	04.01	04.01	Oui
Date de l'émergence	04.10	05.02	Non
Date de Maturité	10.01	09.13	Non

Comme nous avons fait auparavant, nous voulons calibrer notre modèle pour que les dates simulées coïncident avec les dates réelles de la production de betterave à sucre.

Pour le calibrage des dates des autres pratiques agricoles, on a besoin d'utiliser le concept de GDD. Nous calculons les valeurs GDD accumulé comme nous l'avons exposé dans la première partie.

Les valeurs GDD accumulé pour la betterave à sucre sont comme suit :

A la date de l'émergence, GDD accumulé est de

A la date de Maturité, GDD accumulé est de

Nous ouvrons le fichier de Culture (Crop File) et nous choisissons l'option de « Phénologie (Phenology) »

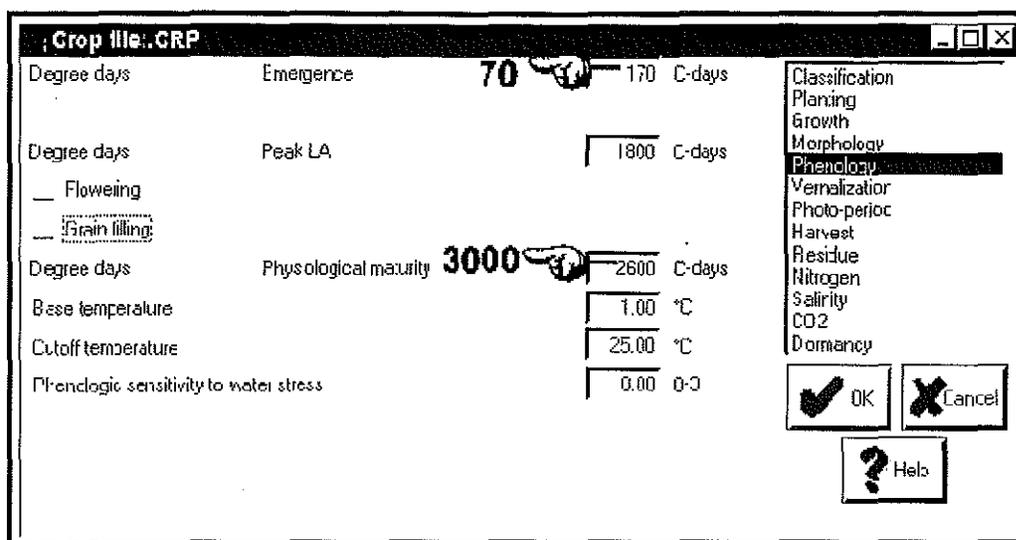


Figure 8. Menu de Phénologie (2)

Nous changeons des valeurs par défauts avec les valeurs réelles de GDD accumulé et nous enregistrons le fichier de cultures (crop file) avec ces nouvelles valeurs.

Encore une fois nous faisons tourner la simulation, et nous obtenons :

Date de semis	Date de l'émergence	Date de Maturité	Date de la moisson	Rendement
AA/MM/JJ ²³	AA/MM/JJ	AA/MM/JJ	AA/MM/JJ	(kg/ha)
1996/04/01	1996/04/10	1996/09/19	1996/10/01	42103,25

Donc,

Date	Date réelle	Modèle Simulé 1	Modèle Simulé 2
Date de semis	04.01	04.01	04.01
Date d'émergence	04.10	05.02	04.10
Date de Maturité	10.01	09.13	10.01

Donc, le modèle a été calibré comme la phénologie.

²³ Année/Mois/Jour

B. Blé Irrigué

Pour le blé Tb (température de base) est de 0.

	Plantation	Moisson	Etapas de culture	Kc ²⁴ (Penman)
Blé	7 octobre	8 juillet	45/75/105/45 (270 jours)	0.4/0.6/1.0/0.3

Nous avons les dates réelles pour la production de la culture du blé (mois.jour) comme suivantes :

Date de semis	10.07
Date d'émergence	10.30
Date de floraison	05.20
Aire foliaire maximum	06.01
Remplissage du grain	06.01
Date de Maturité	07.08

Nous faisons tourner notre fichier de simulation et nous obtenons les dates simulées :

Date de semis	10.07
Date d'émergence	10.15
Date de floraison	06.06
Aire foliaire maximum	06.16
Remplissage du grain	06.16
Date de Maturité	07.03

Donc,

²⁴ coefficient de culture

Dates	Dates réelles	Dates simulées	Correspondance
Date de semis	10.07	10.07	Oui
Date d'émergence	10.30	10.15	Non
Aire foliaire maximum	06.01	06.16	Non
Date de floraison	05.20	06.06	Non
Remplissage du grain	06.01	06.16	Non
Date de Maturité	07.08	07.03	Non

Nous voulons calibrer notre modèle pour que les dates simulées coïncident avec les dates réelles de la production du blé.

Pour le calibrage des dates des autres pratiques agricoles, on a besoin d'utiliser le concept de GDD. Nous calculons les valeurs GDD accumulés comme nous avons raconté dans la première partie.

Les valeurs GDD accumulés pour le blé sont comme les suivantes:

A la date de l'émergence,	GDD accumulés est de 240
A la date de Aire foliaire maximum,	GDD accumulés est de 1565
A la date de floraison,	GDD accumulés est de 1365
A la date de Remplissage du grain,	GDD accumulés est de 1565
A la date de Maturité,	GDD accumulés est de 2300

Nous ouvrons le fichier de Culture (Crop File) et nous choisissons l'option de « Phénologie (Phenology) »

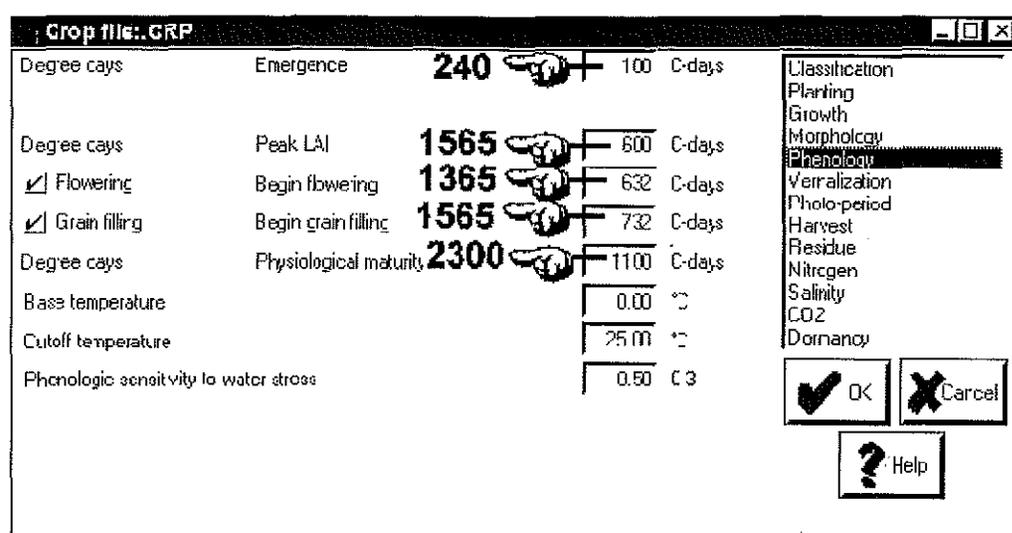


Figure 9. Menu de Phénologie (3)

Nous changeons des valeurs par défauts avec les valeurs réelles de GDD accumulé et nous enregistrons le fichier de cultures (crop file) avec ces nouvelles valeurs.

Encore une fois nous faisons tourner la simulation, et nous obtenons :

Date	Dates réelles	Modèle Simulé 1	Modèle Simulé 2
Date de semis	05.15	05.01	05.15
Date de l'émergence	05.23	06.02	05.23
Aire foliaire maximum	07.27	07.21	07.27
Date de floraison	08.04	07.15	08.04
Remplissage du grain	08.10	07.21	08.10
Date de Maturité	09.28	08.13	09.28

Donc, le modèle a été calibré comme la phénologie.

C. Orge Irrigué

Pour l'orge Tb (température de base) est de 0.

	Plantation	Moisson	Etapes de culture	Kc (Penman)
Orge	7 Octobre	28 juin	45/75/90/30 (240 jours)	0.4/0.6/1.0/0.25

Nous avons les dates réelles pour la production de la culture de l'orge (mois.jour) comme suit:

date de semis	10.07
date d'émergence	10.28
Date de floraison	04.30
Aire foliaire maximum	05.12
Remplissage du grain	05.12
Date de Maturité	06.28

Nous faisons tourner notre fichier de simulation et nous obtenons les dates simulées :

date de semis	10.07
date d'émergence	10.15
Date de floraison	06.06
Aire foliaire maximum	06.16
Remplissage du grain	06.16
Date de Maturité	07.03

Donc,

Dates	Dates réelles	Dates simulées	Compatibilité
date de semis	10.07	10.07	Oui
date d'émergence	10.28	10.15	No
Aire foliaire maximum	05.12	06.16	No
Date de floraison	04.30	06.06	No
Remplissage du grain	05.12	06.16	No
Date de Maturité	06.28	07.03	No

Nous voulons calibrer notre modèle pour que les dates simulées coïncident avec les dates réelles de la production de l'orge.

Pour le calibrage des dates des autres pratiques agricoles, on a besoin d'utiliser le concept de GDD. Nous calculons les valeurs GDD accumulés comme nous l'avons exposé dans la première partie. Les valeurs GDD accumulés pour l'orge sont comme suit :

A la date de l'émergence,	GDD accumulés est de 227
A la date de Aire foliaire maximum,	GDD accumulés est de 530
A la date de floraison,	GDD accumulés est de 440
A la date de Remplissage du grain,	GDD accumulés est de 530
A la date de Maturité,	GDD accumulés est de 1385

Nous ouvrons le fichier de Culture (Crop File) et nous choisissons l'option de « Phénologie (Phenology) »

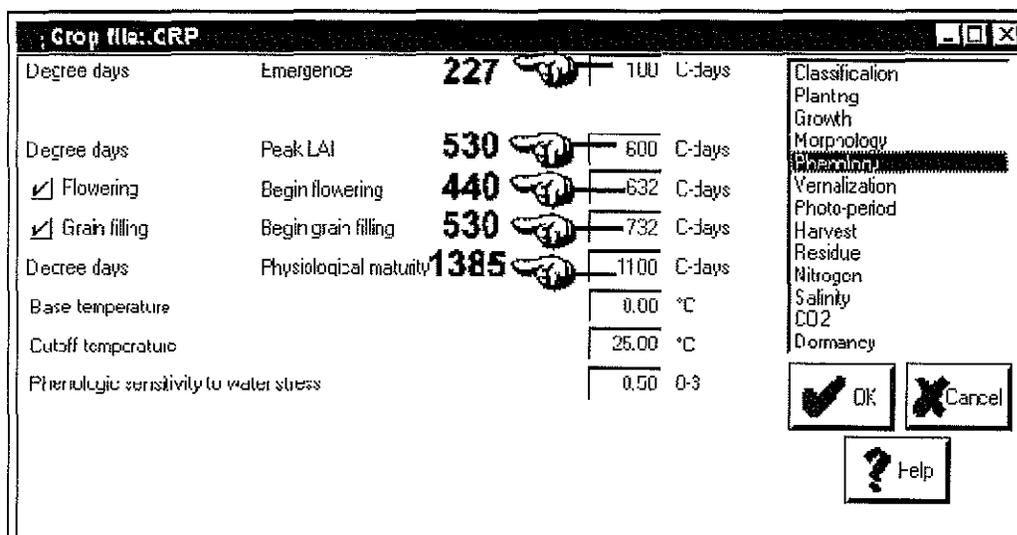


Figure 10. Menu de Phénologie (4)

Nous changeons des valeurs par défauts avec les valeurs réelles de GDD accumulés que nous avons calculés et nous enregistrons le fichier de cultures (crop file) avec ces nouvelles valeurs. Encore une fois nous faisons tourner la simulation, et nous obtenons :

Date	Dates réelles	Modèle Simulé 1	Modèle Simulé 2
Date de semis	05.15	05.01	05.15
Date de l'émergence	05.23	06.02	05.23
Aire foliaire maximum	07.27	07.21	07.27
Date de floraison	08.04	07.15	08.04
Remplissage du grain	08.10	07.21	08.10
Date de Maturité	09.28	08.13	09.28

Donc, le modèle a été calibré comme la phénologie.

III. B.2. CALIBRAGE DU RENDEMENT

1. Usage de l'eau

Afin de calibrer l'usage de l'eau on a utilisé le concept de **stress d'eau** que le modèle de CropSyst donne comme la sortie pour la simulation de la production. Les dates d'irrigation pour les cultures sont comme suit :

Betterave à sucre	
Les dates de l'irrigation (mois ;jour)	Irrigation (mm)
4.15	80 mm
5.15	95 mm
6.19	75 mm
7.3	75 mm
7.17	75 mm
8.1	75 mm
8.9	75 mm
8.19	75 mm
8.28	75 mm
9.10	75 mm

Tableau 14. Les dates de l'irrigation pour la betterave à sucre

Blé (irrigué)	
Les dates de l'irrigation (mois ;jour)	Irrigation (mm)
4.15	140 mm
5.13	160 mm
10.16	150 mm

Tableau 15. Les dates de l'irrigation pour le blé.

Orge (irrigué)	
Les dates de l'irrigation (mois ;jour)	Irrigation (mm)
4.08	135 mm
4.24	160 mm
10.14	155 mm

Tableau 16. Les dates de l'irrigation pour l'orge.

2. Usage de l'azote

Pour le calibrage de l'usage de l'azote nous avons fait tourner notre modèle biophysique plusieurs fois pour obtenir l'usage optimum d'azote. Pour les différents niveaux d'irrigation, CropSyst nous a donné les mêmes résultats pour l'usage optimal de l'azote : 11,8 kg/da pour le blé, 14 kg/da pour l'orge et 30 kg/da pour la betterave à sucre.

3. Les Rendements

Les rendements réels et simulés sont comme suit :

Culture	Rendement réel (kg/da)	Rendement simulé (kg/da)
Betterave à sucre	5700	5812
Blé (irrigué)	377	370
Orge (irrigué)	363	375

Tableau 17. Les rendements réels et simulés.

Dans le graphique suivant, on peut observer la validation du modèle CropSyst.

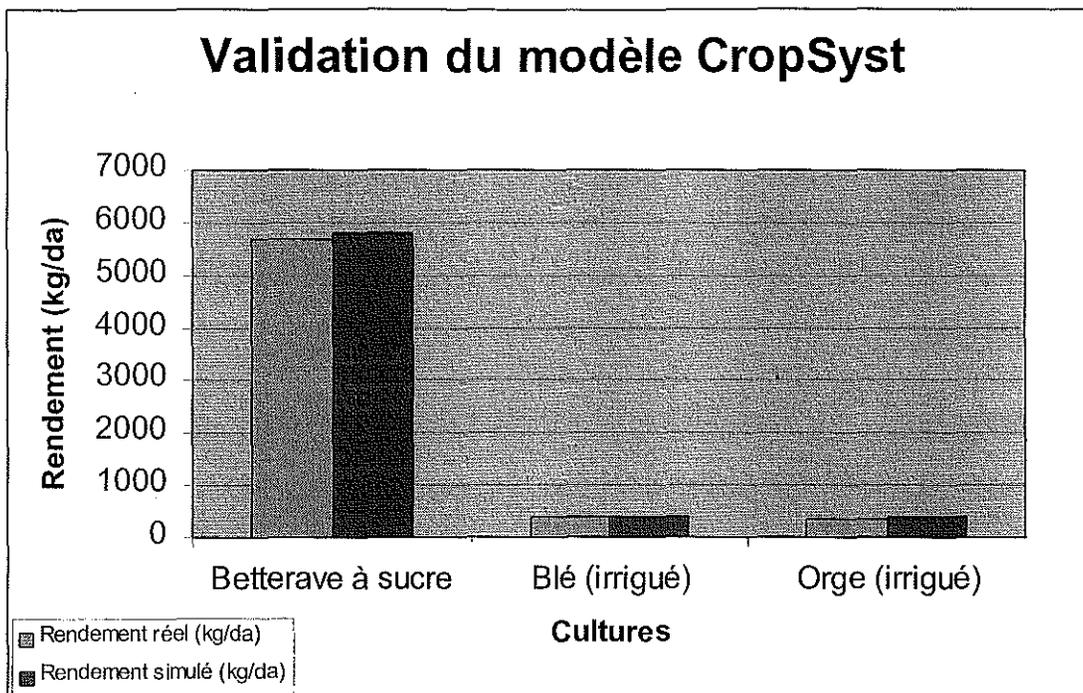


Figure 11. Validation du modèle CropSyst.

III. C. ANALYSE DES RESULTATS DES SIMULATIONS

En utilisant le logiciel CropSyst, nous avons obtenu les rendements pour des différents niveaux d'irrigation pour chaque culture. Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants.

Pour le Blé irrigué ;

	Rendement kg/da	Irrigation mm
blé (90 mm)	270	90
blé (130 mm)	320	130
blé (210 mm)	340	210
blé (320 mm)	360	320
blé (450 mm)	370	450

Pour l'orge irrigué ;

	Rendement	Irrigation
	kg/da	mm
orge (90 mm)	270	90
orge (130 mm)	320	130
orge (210 mm)	340	210
orge (320 mm)	360	320
orge (450 mm)	370	450

Pour la betterave à sucre ;

	Rendement	Irrigation
	kg/da	mm
BS (285 mm)	3209	285
BS (355 mm)	3641	355
BS (495 mm)	4977	495
BS (565 mm)	5400	565
BS (775 mm)	5812	775

Ce sont les rendements que nous avons utilisés dans notre modèle de programmation linéaire. Dans les graphiques suivants, on peut voir les relations entre l'irrigation et le rendement de chaque culture

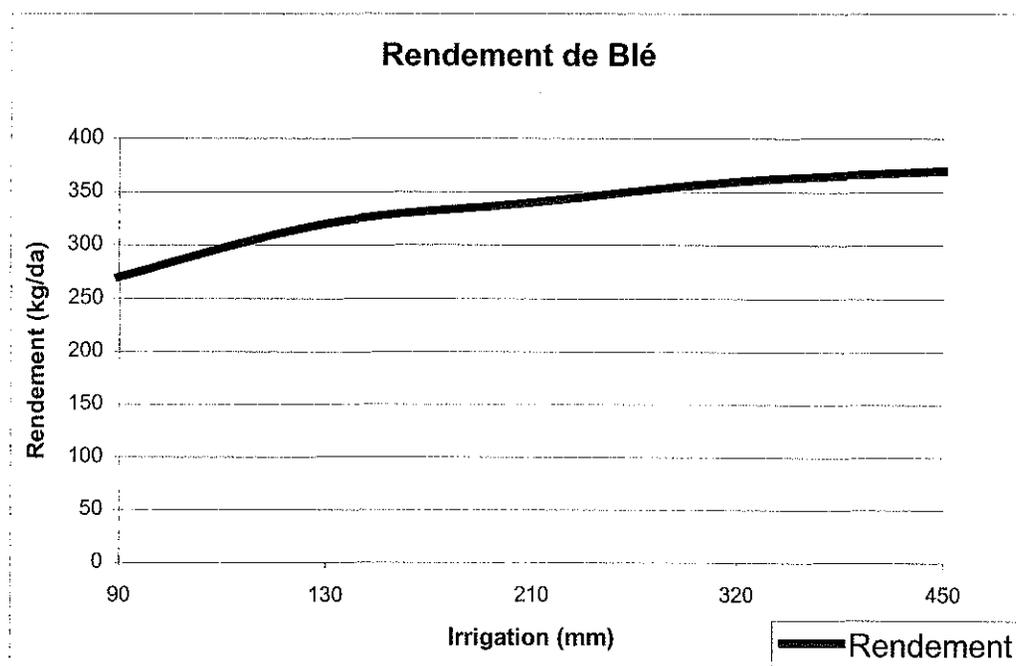


Figure 12. Rendement et niveau d'irrigation pour le blé.

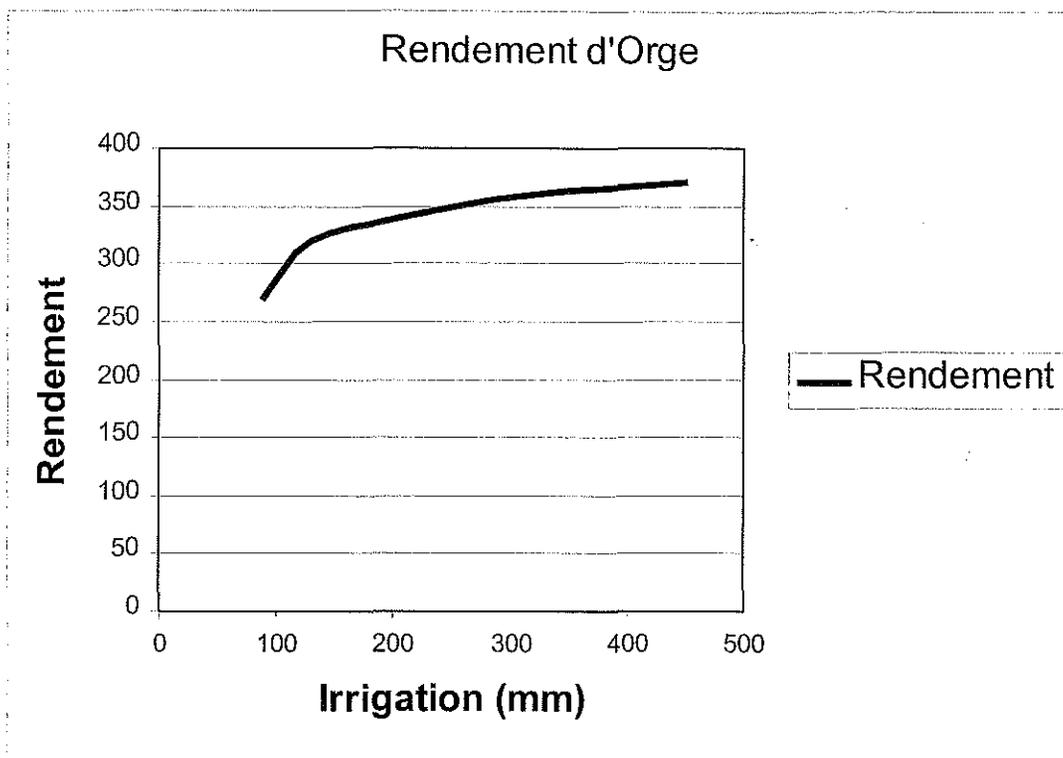


Figure 13. Rendement et niveau d'irrigation pour l'orge.

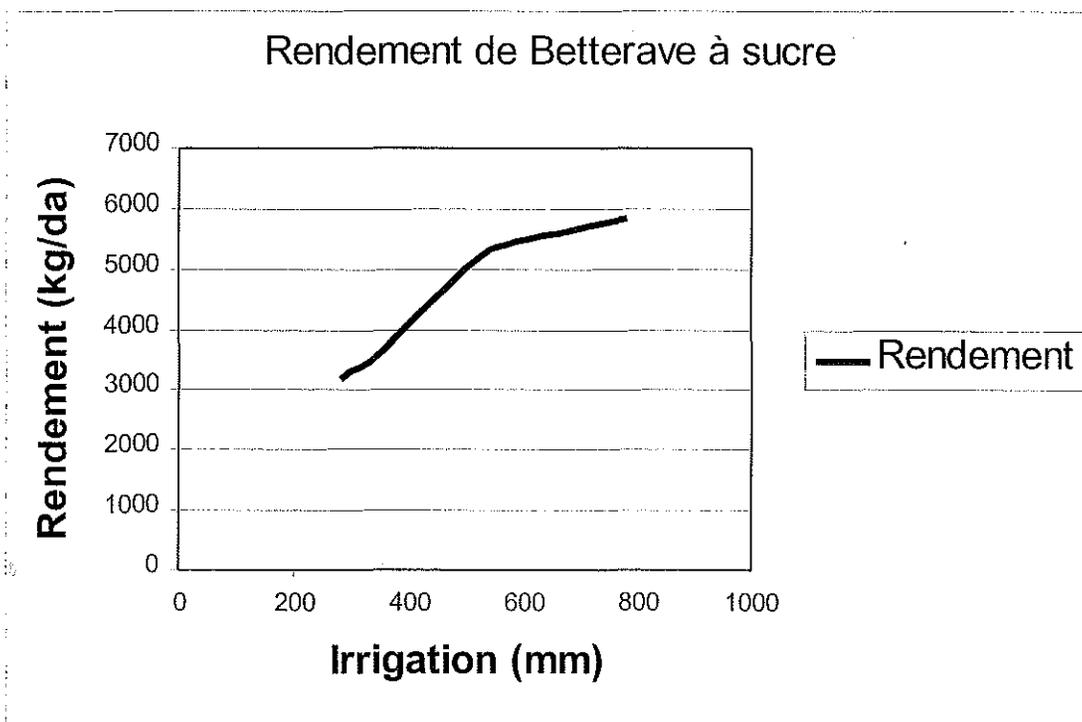


Figure 14. Rendement et niveau d'irrigation pour la betterave à sucre.

CHAPITRE IV. VARIABLES ET CONTRAINTES DU MODELE ECONOMIQUE

La situation de l'exploitation représentée à travers le modèle de programmation linéaire comporte les inconnues du problème à résoudre, et sa résolution va traduire les choix de production et les techniques adoptées, compte tenu des disponibilités en facteur de productions.

IV. A. LES ACTIVITES PRODUCTIVES

Les activités productives sont représentées par :

1. Les activités végétales
2. Les activités animales
3. Les activités de service

IV. A.1. LES ACTIVITES VEGETALES

Chaque activité de production, $X_{C,T}$ est définie en fonction de :

C : Culture

- blé en sec (b.t1)
- blé en irrigué (b.t2, b.t3, b.t4, b.t5, b.t6)
- orge en sec (o.t1)
- orge en irrigué (o.t2, o.t3, o.t4, o.t5, o.t6)
- betterave à sucre en irrigué (bs.t2, bs.t3, bs.t4, bs.t5, bs.t6)
- pois chiche en sec (p.t1)
- jachère (j.t1)

T : niveau d'irrigation

- b.t1, sans irrigation.
- b.t2, 90 mm
- b.t3, 130 mm
- b.t4, 210 mm
- b.t5, 320 mm
- b.t6, 450 mm
- o.t1, sans irrigation
- o.t2, 90 mm
- o.t3, 130 mm
- o.t4, 210 mm
- o.t5, 320 mm
- o.t6, 450 mm
- bs.t2, 285 mm
- bs.t3, 355 mm
- bs.t4, 495 mm
- bs.t5, 565 mm
- bs.t6, 775 mm

IV. A.2. LES ACTIVITES ANIMALES

Notre fermier représentatif procède à l'élevage de deux types de bovins (vache1, vache2) et d'ovins (agneau) comme activités animales.

Chaque activité de production, H_A est définie en fonction de :

A : animaux

- vache1 (culture)
- vache2 (mêlée²⁵)
- agneau

²⁵ cross-breed.

IV. A.3. LES ACTIVITES DE SERVICE

A- Activités « Achats»

Elles concernent l'approvisionnement de l'exploitation à partir de l'extérieur en facteur de productions, telles que l'azote, le foin, la paille, et l'eau d'irrigation.

B- Recrutement de main d'œuvre

Pour pallier au insuffisances en main-d'œuvre permanent, il y a recours à l'embauche d'une main-d'œuvre occasionnelle.

IV. B. FORMULATION DES CONTRAINTES

Les contraintes traduisent la concurrence qui existe entre plusieurs activités ou variables pour l'emploi d'une ressource limitée.

IV. B.1. LES CONTRAINTES

A- Contrainte de terre

L'objet de cette contrainte est de limiter la somme des superficies consacrées aux différentes activités de production à une superficie inférieure ou égale à la SAU. En plus, les cultures pratiquées en irrigué ne doivent pas dépasser la superficie irrigable disponible.

$$\sum X_{C,T} \leq \text{TLAND} \quad \text{et} \quad \sum X_{C,T} \leq \text{ILAND}$$

$X_{C,T}$ = Superficie par culture et technique

TLAND = Surface agricole utile

ILAND = Surface irrigable totale

B- Les rotations culturales

Les contraintes des rotations culturales expriment l'influence d'un plan de production d'une année sur l'année qui suit ; elles montrent que l'ensemble des superficies de l'année n, qui a pour précédent cultural la culture K, ne peut pas être supérieur à la superficie consacrée à cette même culture l'année n-1. Dans notre modèle, il y a la rotation entre le blé sec et la jachère, l'orge sec et le pois chiche, et finalement entre le blé irrigué, l'orge irrigué et la betterave à sucre.

C- Contrainte d'eau

Pour les périmètres irrigués, l'eau constitue l'un des principaux facteurs limitant la production, du fait de la concurrence entre les cultures concernant un volume disponible qui est fonction de la superficie susceptible d'être irriguée.

$$\sum X_{C,T} * E_{C,T} \leq \text{DEAU} * \text{efd}$$

DEAU = Quantité d'eau disponible

E_{C,T} = Consommation d'eau par culture et par technique (niveau d'irrigation)

Efd : efficacité technique de distribution de l'eau

D- La main-d'œuvre

A cause du caractère saisonnier de l'activité agricole, cette contrainte doit s'écrire non seulement pour chaque type de travail, mais aussi pour chaque période de l'année. Etant donné la structure de notre région, nous avons considéré trois périodes, le nombre moyen de jours de travail disponibles ainsi que les besoins périodiques en jours de travail par culture et

par technique. Le mois où il y a un manque au niveau de la main-d'œuvre permanente, on recrute de la main-d'œuvre occasionnelle qui n'est pas limitée.

$$\sum X_{C,T} * ISGUCU_{C,T,P} + \sum H_A * HM_{A,P} \leq \sum DM_P + \sum Y_{CG} * M_{CG,P}$$

$ISGUCU_{C,T,P}$ = Besoin en MO par culture par technique et par période.

H_A = Production animale

$HM_{A,P}$ = Besoin en MO par animale et par période.

DM_P = Travail disponible sur l'exploitation

$\sum Y_{CG} * M_{CG,P}$ = MO qu'il faudrait embauché par période.

E- Contrainte de Bâtiment

Pour la production animale, il y a une contrainte de bâtiment qui est limitante pour la production.

$$\sum HBM_{BAT,A} * H_A \leq DBAT_{BAT}$$

$HBM_{BAT,A}$ = Besoin en bâtiment (m²) pour la production animale.

$DBAT_{BAT}$ = Disponibilité en bâtiment (m²) sur l'exploitation.

F- Besoins des animaux

$$\sum (X_{C,T} * PAILLE_{C,T}) \geq \sum (SAM_S * KSAM_S) \text{ Contrainte de paille}$$

$$\sum (H_A * BAKOT_A) \leq \sum (KKOT_S * SAM_S * SAMND_S) \text{ Contrainte de foin}$$

$$\sum (H_A * BATOY_A) \leq \sum (SAM_S * SAMND_S) \text{ Contrainte de fourrager totale}$$

$PAILLE_{C,T}$ = rendement en paille des cultures

par technique. Le mois où il y a un manque au niveau de la main-d'œuvre permanente, on recrute de la main-d'œuvre occasionnelle qui n'est pas limitée.

$$\sum X_{C,T} * ISGUCU_{C,T,P} + \sum H_A * HM_{A,P} \leq \sum DM_P + \sum Y_{CG} * M_{CG,P}$$

$ISGUCU_{C,T,P}$ = Besoin en MO par culture par technique et par période.

H_A = Production animale

$HM_{A,P}$ = Besoin en MO par animale et par période.

DM_P = Travail disponible sur l'exploitation

$\sum Y_{CG} * M_{CG,P}$ = MO qu'il faudrait embauché par période.

E- Contrainte de Bâtiment

Pour la production animale, il y a une contrainte de bâtiment qui est limitante pour la production.

$$\sum HBM_{BAT,A} * H_A \leq DBAT_{BAT}$$

$HBM_{BAT,A}$ = Besoin en bâtiment (m²) pour la production animale.

$DBAT_{BAT}$ = Disponibilité en bâtiment (m²) sur l'exploitation.

F- Besoins des animaux

$$\sum (X_{C,T} * PAILLE_{C,T}) \geq \sum (SAM_S * KSAM_S) \text{ Contrainte de paille}$$

$$\sum (H_A * BAKOT_A) \leq \sum (KKOT_S * SAM_S * SAMND_S) \text{ Contrainte de foin}$$

$$\sum (H_A * BATOY_A) \leq \sum (SAM_S * SAMND_S) \text{ Contrainte de fourrager totale}$$

$PAILLE_{C,T}$ = rendement en paille des cultures

SAM_S = matrice de paille achetée, paille produite et foin acheté

$KSAM_S$ = matrice de paille produite

$BAKOT_A$ = besoin des animaux en foin (ND²⁶)

$KKOT_S$ = matrice de foin acheté

$SAMND_S$ = productivité de ND

$BAToy_A$ = besoin des animaux en fourrage total (ND)

IV. C. MODEL DE PROGRAMMATION LINEAIRE

$$\text{Max } Z = \sum (X_{C,T} * R_{C,T} * \text{PRIX}_{C,T} - \text{COUTS}_{C,T} * \sum X_{C,T}) - \text{TE} * \text{EAU} - \text{PN} * \text{NU} - \sum Y_{C,G} * F_{C,G} + \sum H_A * \text{FA}_{C,T} - \sum \text{FSAM}_S * \text{SAM}_S$$

$X_{C,T}$: Superficie par culture et par technique d'irrigation (da)

$R_{C,T}$: Rendement par culture et par technique d'irrigation (kg/da).

$\text{PRIX}_{C,T}$: Prix des produits végétaux (TL/kg)

$\text{COUTS}_{C,T}$: Coûts variables par culture et par technique d'irrigation (TL/da) sans prendre en compte le coût d'irrigation et le coût d'azote consommé

TE : Prix de l'eau d'irrigation

EAU : Quantité d'eau consommée

PN : Prix d'azote

NU : Quantité d'azote consommée

$Y_{C,G}$: matrice binaire de main-d'œuvre saisonnier

$F_{C,G}$: paiement pour main-d'œuvre saisonnier

H_A : matrice des animaux

FA_A : marge brute des animaux

²⁶ Starch equivalent.

FSAM_s : coût de la paille et du foin acheté et produit

SAM_s : matrice de la paille et du foin

Où bien ;

$$\mathbf{MAX MB = REV - CV}$$

où $\mathbf{REV = REV_A + REV_V}$

$$\mathbf{CV = C_{EAU} + C_{AZOT} + C_{MO} + C_{FS}}$$

SUJET A ;

CONTRAINTES DE TERRE (irrigué, non irrigué)

CONTRAINTES D'EAU

CONTRAINTES DE MAIN D'ŒUVRE (par période)

CONTRAINTES DE BATIMENT (étable, bergerie)

CONTRAINTES DE FOURRAGER (paille, foin)

CONTRAINTES DE ROTATION

MB : marge brut

REV : revenue total

CV : coût variable

REV_A : revenue de la production animale

REV_C : revenue de la production végétale

C_{EAU} : coût de l'eau

C_{AZOT} : coût de l'azote

C_{MO} : coût de la main d'œuvre

C_{FS} : coût fourrager supplémentaire

CHAPITRE V. ANALYSES DES RESULTATS

V. A. TARIFICATION VOLUMETRIQUE

L'eau est chargée directement sur les unités d'eau consommée. La tarification volumétrique dans laquelle le prix de l'eau est déterminé comme le coût marginal de l'offre de la production d'eau s'est appelé *tarification coût marginal*. Ce type de politique assure l'efficacité *first-best*²⁷ (Tsur et Dinar, 1995). Une *tarification volumétrique* qui utilise le coût marginal comme le prix de l'eau, quand l'information n'a pas un coût, est *first-best* effectif à court terme.

Dans notre étude, nous supposons que le coût marginal de l'offre de l'eau est de 44 TL/m³. La mesure monétaire est le livre turques (TL) avec les prix de l'année 1992. C'est un prix (0,00635 \$/m³) qui est utilisé généralement par Banque Mondial²⁸ comme le coût marginal de l'eau.

Dans notre simulation, 25 différents niveaux de prix ont été utilisés. Les résultats ont été donnés dans le Tableau 18. Dans le tableau, il y a le prix de l'eau (PRIX), la valeur marginale de la contrainte de l'eau (VAL_MARG), la consommation de l'eau (IRRIGATION), la marge brut du fermier (REV_FER), la valeur de la production agricole (PROD_VAL) et le revenu de l'agence d'eau (REV_ETAT). Avec un prix qui est le coût marginal de l'offre de l'eau (44 TL), la valeur marginale de la contrainte de l'eau est de 33 TL. Donc, le prix qui est le coût marginal de l'eau ne reflète pas la valeur de la pénurie de l'eau.

Tsur et Dinar²⁹ (1995) dans leur article, à la fin des calculs théoriques, déclarent que quand la disponibilité de l'eau est inférieure à la demande de l'eau ; il faut augmenter le prix de l'eau avec le montant de *prix fictif* de cette ressource afin d'obtenir l'efficacité à court terme. Le nom de ce type de tarification est la tarification *d'échelon*³⁰ (*Tiered pricing*). C'est pourquoi, pour notre modèle même si le coût marginal de l'eau est de 44 TL, il faut ajouter le prix fictif

²⁷ Tsur Y. et Dinar A., 1995, Efficiency and Equity Considerations in Pricing and Allocating Irrigation Water, Banque Mondial, Policy Research Working Paper no :1460.

²⁸ Idem.

²⁹ Idem.

de cette ressource, qui est 33 TL, au prix. Notre model nous indique que le prix de l'eau dans l'encadrement de notre modélisation, doit être 77 TL pour refléter la valeur réelle de cette ressource et aussi afin d'obtenir l'efficacité à court terme. Jusqu'au prix de 77 TL, la composition et la valeur de la production végétale ne changent pas. A partir de prix de 2682 TL, le fermier ne produit pas les cultures irriguées, donc la demande d'eau est nulle.

TARIFICATION VOLUMETRIQUE (COUT MARGINAL), DISPONIBILITE D'EAU = 6000 mm						
Itérations	PRIX (TL)	VAL_MARG (TL)	IRRIGATION (mm)	REV_FER (TL)	REV_ETAT (TL)	PROD_VAL (TL)
it1	0	77	6000	39306539	0	29701102
it2	44	33	6000	39042539	264000	29701102
it3	77	EPS	6000	38844539	462000	29701102
it4	78	0	5665	38838849	441870	29675127
it5	94	0	5665	38748209	532510	29675127
it6	95	0	5188	38742672	492892	29628927
it7	192	0	5188	38239403	996160	29628927
it8	193	0	4785	38234229	923505	29555007
it9	249	0	4785	37966269	1191465	29555007
it10	250	0	4382	37961752	1095417	29462607
it11	275	0	4382	37852210	1204958	29462607
it12	276	0	4088	37848096	1128380	29388687
it13	332	0	4088	37619149	1357327	29388687
it14	333	0	3795	37615303	1263735	29296287
it15	624	0	3795	36510958	2368080	29296287
it16	625	0	3025	36507452	1890625	28805320
it17	1170	0	3025	34858827	3539250	28805320
it18	1383	0	3025	34214502	4183575	28805320
it19	1384	0	2878	34211480	3983613	28620520
it20	1692	0	2878	33324953	4870140	28620520
it21	1693	0	2732	33322221	4624712	28389520
it22	1934	0	2732	32663889	5283043	28389520
it23	1935	0	2475	32661326	4789125	27885445
it24	2681	0	2475	30814976	6635475	27885445
it25	2682	0	0	30813459		19709200

Tableau 18. Résultats des simulations (Tarification coût marginal)

³⁰ Idem.

Dans le Tableau 19, on voit les résultats des simulations pour la tarification volumétrique (tarification coût marginal) avec une disponibilité d'eau de 6 000 mm. Jusqu'au prix de 77 TL, le fermier produit 53 da. de blé sec, 4 da. de blé irrigué avec une irrigation de 450 mm, 10 da. d'orge (sec), 1 da. d'orge irrigué avec une irrigation de 320 mm et 3 da. d'orge irrigué avec une irrigation de 450 mm, 10 da. de pois chiche et 4 da. de betterave à sucre. Pour ce prix, la somme d'eau consommée est de 6 000 mm. Si on augmente le prix une unité (à 78 TL), le fermier change la composition de la production végétale. Pour utiliser moins d'eau avec un prix plus haut, il commence à produire d'orge irrigué avec une irrigation de 320 mm au lieu de 450 mm. A partir du prix 95 TL, il commence à produire le blé irrigué avec une irrigation de 320 mm. Dans l'intervalle de 193-249 TL, il produit l'orge avec une irrigation de 210 mm. La somme de l'eau consommée par le fermier, dans cet intervalle, est de 4 785 mm. Dans l'intervalle de 1935-2681 TL, il produit blé et orge avec une irrigation de 90 mm et betterave à sucre avec une irrigation de 495 mm. A partir du prix de 2682 TL, le fermier ne produit pas des cultures irriguées. On constate l'effet de la tarification volumétrique sur la demande d'eau comme un outil pour la gestion de demande.

TARIFICATION VOLUMETRIQUE (COUT MARGINAL), DISPONIBILITE D'EAU = 6000 mm

PRODUCTION VEGETALE (da) POUR DES DIFFERENTES NIVEAUX DE PRIX DE L'EAU																																		
Prix de l'eau (TL/m3) →	0	44	77	78	94	95	192	193	249	250	275	276	332	333	624	625	1170	1383	1384	1692	1693	1934	1935	2681	2682									
blé (sec)	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53									
blé (90 mm)																					4	4	4	4										
blé (130 mm)														4	4	4	4	4	4	4														
blé (210 mm)										4	4	4	4																					
blé (320 mm)						4	4	4	4																									
blé (450 mm)	4	4	4	4	4																													
orge (sec)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10									
orge (90 mm)																				4	4	4	4	4	4									
orge (130 mm)												4	4	4	4	4	4	4	4															
orge (210 mm)								4	4	4	4																							
orge (320 mm)	1	1	1	4	4	4	4																											
orge (450 mm)	3	3	3																															
Pois chiche (sec)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10									
BS (285 mm)																																		
BS (355 mm)																																		
BS (495 mm)																							4	4										
BS (565 mm)																	4	4	4	4	4	4												
BS (775 mm)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4																			
IRRIGATION (mm) →	6000			5665			5188			4785			4382			4088			3795			3025			2878			2732			2475			0

Tableau 19. Composition de la production végétale pour les différents niveaux de prix (Tarification coût marginal)

Dans la figure 15, on voit le changement dans la production du blé irrigué selon les différentes niveaux de prix d'eau.

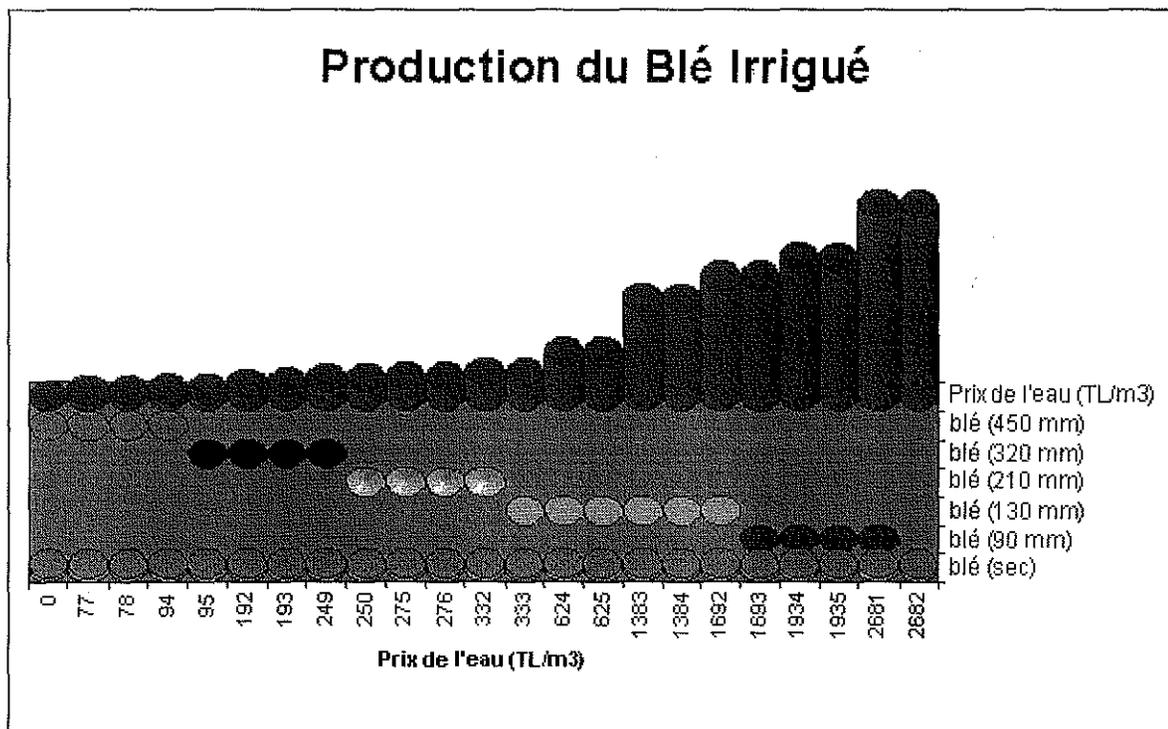


Figure 15. Composition de la production du blé.

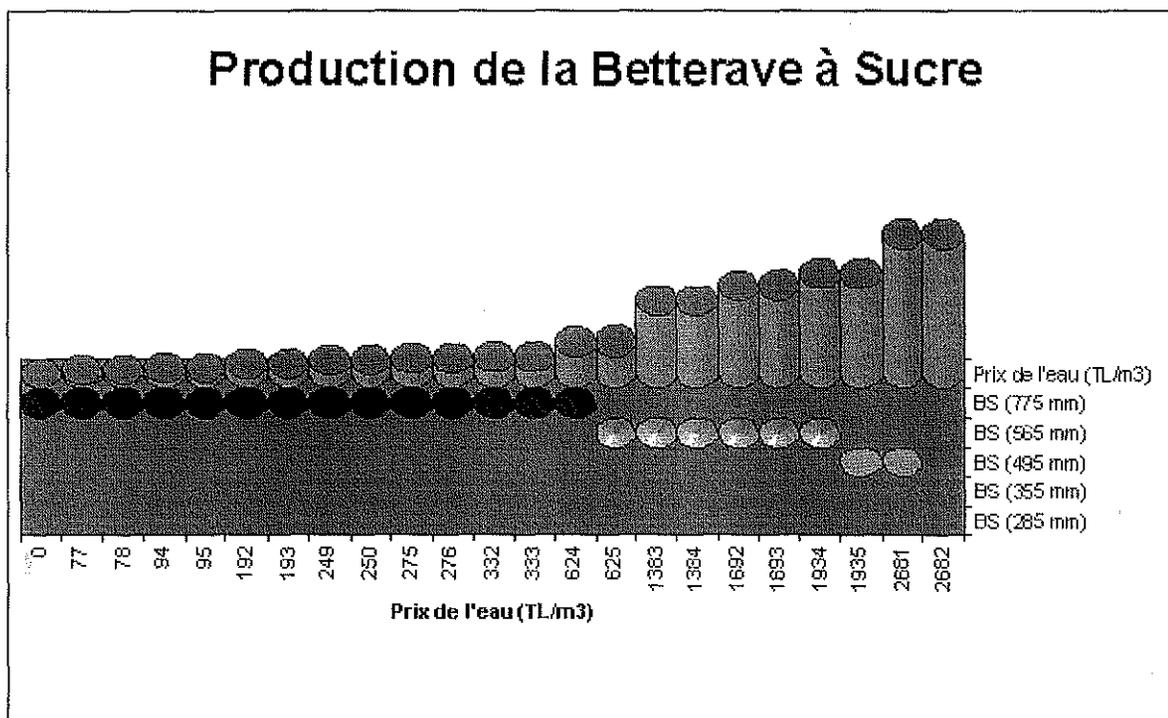


Figure 16. Composition de la production de la betterave à sucre.

Dans la figure 16, on voit le changement dans la production de betterave à sucre selon les différents niveaux de prix d'eau.

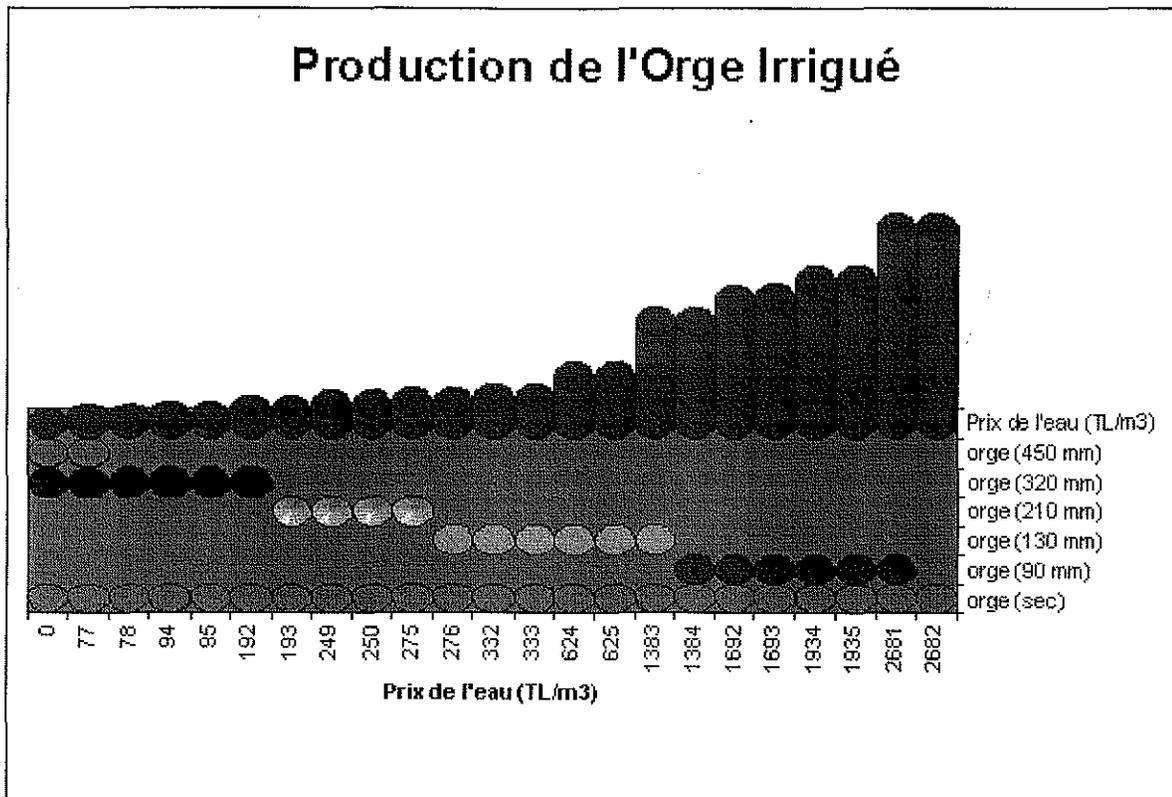


Figure 17. Composition de la production de l'orge.

Dans le figure 17, on observe le changement dans la production de l'orge irriguée selon les diff erentes niveaux de prix d'eau.

Quand la même simulation a  t e faite avec une disponibilit e de l'eau supérieure   la demande de l'eau, on obtient les résultats suivants.

	PRIX	IRRIGATION	REV_FER	REV_TOTAL	REV_ETAT	PROD_VAL	VAL-MAR
it1		6142	39317459	39317459		29712087	0
it2	44	6142	39047225	39317459	270233	29712087	0
it3	77	6142	38844550	39317459	472908	29712087	0
it4	78	5665	38838849	39280719	441870	29675127	0
it5	94	5665	38748209	39280719	532510	29675127	0

Avec une disponibilit e d'eau de 6500 mm, on voit que la valeur marginale de l'eau est nulle pour le prix de 44 TL qui est le coût marginal de l'offre d'eau. Donc, pour des saisons où la disponibilit e de l'eau est inférieure   la demande de l'eau, il faut que le prix de l'eau soit 77 TL qui est le coût marginal de l'eau plus le prix dual de cette ressource. Pour le moment où la

disponibilité d'eau est supérieure à la demande d'eau il faut utiliser seulement le coût marginal comme le prix afin d'obtenir l'efficacité.

V. B. TARIFICATION PAR REGION

L'eau est chargée par région irriguée selon le type de la culture irriguée. En Turquie, on utilise la tarification par région comme la tarification de l'eau. *La tarification par région est inefficace*³¹. Après avoir choisi la culture, le prix de l'eau n'a aucun effet sur la demande de l'eau. Il est cependant facile d'exécution et d'administration et exige de l'information minimale. Dans les deux tableaux suivants, nous donnons les résultats de notre simulation pour une disponibilité de l'eau de 6000 mm.

Dans le tableau on constate que, le fermier produit les mêmes cultures avec le prix courant (it2) et sans prix (it1). Même si on augmente le prix courant dix fois, la décision de production et d'utilisation de l'eau ne change pas(it3).

RIX (TL/da)	it1	it2*	it3	it4	it5
Blé irrigué	0	9 750	97 500	680 000	9 750
Orge irrigué	0	9 750	97 500	680 000	9 750
Betterave à sucre	0	21 250	212 500	1 400 000	1 500 000
Cultures (da)	it1	it2	it3	it4	it5
b .t1	53	53	53	53	53
b .t6	4	4	4		
o .t1	10	10	10	10	10
o .t5	1	1	1		
o .t6	3	3	3		
p .t1	10	10	10	10	10
bs.t6	4	4	4		
j .t1	53	53	53	53	53
RESULTATS	it1	it2	it3	it4	it5
IRRIGATION	6000	6000	6000	0	0
MB_FER	39306539	39157123	37812373	30813459	30813459
REV_ETAT	0	149417	1494167	0	0
PROD_VAL	29701102	29701102	29701102	19709200	19709200
VAL_MARG	77	77	77	0	0

* tarification courante

Tableau 20. Résultats des simulations (Tarification par région)

³¹ Tsur Y. et Dinar A., 1995, Efficiency and Equity Considerations in Pricing and Allocating Irrigation Water, Banque Mondiale, Policy Research Working Paper no :1460..

Avec la combinaison du prix it4, il ne produit pas des cultures irriguées. Comme on peut constater, la tarification par région n'est pas un bon outil pour la gestion de la demande d'eau. On observe aussi que le prix dual de l'eau est de 77 TL.

V. C. TARIFICATION BINOME

Dans notre modèle, le système de distribution d'eau est par gravité, donc les pertes d'eau dans le réseau sont considérables. On admet que le coefficient d'efficacité technique dans la distribution de l'eau est 0,50. Maintenant supposons que l'agence d'eau a décidé de construire un réseau plus efficace par rapport à celui de la situation initiale. On peut facilement constater que ce type d'investissement est un investissement à long terme. La construction de ce réseau plus efficace, augmentera le coût fixe total de l'agence d'eau. Par conséquent, le coût moyen augmentera par rapport au coût marginal. En ce cas, pour l'efficacité on utilise *la tarification binôme* qui peut accomplir first-best efficacité à long terme³².

Cette tarification suppose une charge pour les irrigateurs équivalente à un prix marginal fixe par unité de l'eau achetée (tarification volumétrique de coût marginal) et une charge annuelle fixée (ou un frais de l'admission) pour le droit d'acheter de l'eau. Ce coût d'admission est le même pour tous les fermiers. Ce type de tarification a été conseillé et pratiqué dans les situations où l'agence d'eau produit avec un coût marginal inférieur au coût moyen.

Pour notre région, nous avons fait une simulation afin de voir les résultats de ce type de politique de tarification. Pour le prix de l'eau, nous avons ajouté un paiement fixe, de 1 000 000 TL, à la tarification coût marginal.

Le tableau suivant montre les résultats obtenus pour la tarification binôme.

³² Tsur Y. et Dinar A., 1995, Efficiency and Equity Considerations in Pricing and Allocating Irrigation Water, Banque Mondiale, Policy Research Working Paper no :1460.

TARIFICATION BINÔME, DISPONIBILITE D'EAU = 6000 mm

	PRIX (TL)	VAL_MARG (TL)	IRRIGATION (mm)	REV_FER (TL)	REV_ETAT (TL)	PROD_VAL (TL)
it1		77	6000	38306540	1000000	29701102
it2	44	33	6000	38042539	1264000	29701102
it3	77	EPS	6000	37844539	1462000	29701102
it4	78	0	5665	37838849	1441870	29675127
it5	94	0	5665	37748209	1532510	29675127
it6	95	0	5188	37742672	1492892	29628927
it7	192	0	5188	37239403	1996160	29628927
it8	193	0	4785	37234229	1923505	29555007
it9	249	0	4785	36966269	2191465	29555007
it10	250	0	4382	36961752	2095417	29462607
it11	275	0	4382	36852210	2204958	29462607
it12	276	0	4088	36848096	2128380	29388687
it13	332	0	4088	36619149	2357327	29388687
it14	333	0	3795	36615303	2263735	29296287
it15	624	0	3795	35510958	3368080	29296287
it16	625	0	3025	35507452	2890625	28805320
it17	1170	0	3025	33858827	4539250	28805320
it18	1383	0	3025	33214502	5183575	28805320
it19	1384	0	2878	33211480	4983613	28620520
it20	1692	0	2878	32324953	5870140	28620520
it21	1693	0	2732	32322221	5624712	28389520
it22	1934	0	2732	31663889	6283043	28389520
it23	1935	0	2475	31661326	5789125	27885445
it24	2681	0	2475	29814976	7635475	27885445
it25	2682	0	0	29813459	1000000	19709200

Tableau 21. Résultats des simulations (Tarification binôme)

Comme dans le cas de la tarification volumétrique, le prix déterminé par le coût marginal (44 TL) ne reflète pas la valeur réelle de cette ressource. Parce que l'offre d'eau est inférieure à la demande d'eau, c'est-à-dire il y a une demande excessive avec ce prix. Le prix dual de la contrainte d'eau est de 33 TL. Il faut augmenter le prix avec le montant de la valeur dual. On constate que, avec le prix de 77 TL ($= 44 + 33$ TL), le prix dual est nulle, et par conséquent il n'y a pas de demande excessive. Il est à noter que, les résultats sont pareils que la tarification volumétrique sauf, une diminution de la marge brut du fermier, et une augmentation du revenu de l'agence d'eau avec l'équivalent montant de paiement fixe.

Maintenant on regarde les résultats de production.

TARIFICATION BINOME (PAYMENT FIXE = 1 000 000 TL), DISPONIBILITE D'EAU = 6000 mm

PRODUCTION VEGETALE (da) POUR DES DIFFERENTES NIVEAUX DE PRIX DE L'EAU																																
Prix de l'eau (TL/m3) →	0	44	77	78	94	95	192	193	249	250	275	276	332	333	624	625	1170	1383	1384	1692	1693	1934	1935	2681	2682							
blé (sec)	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53							
blé (90 mm)																						4	4	4	4							
blé (130 mm)															4	4	4	4	4	4	4											
blé (210 mm)										4	4	4	4																			
blé (320 mm)						4	4	4	4																							
blé (450 mm)	4	4	4	4	4																											
orge (sec)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10							
orge (90 mm)																				4	4	4	4	4	4							
orge (130 mm)												4	4	4	4	4	4	4														
orge (210 mm)								4	4	4	4																					
orge (320 mm)	1	1	1	4	4	4	4																									
orge (450 mm)	3	3	3																													
Pois chiche (sec)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10							
BS (285 mm)																																
BS (355 mm)																																
BS (495 mm)																							4	4								
BS (565 mm)																	4	4	4	4	4	4	4									
BS (775 mm)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4																
IRRIGATION (mm) →	6000			5665			5188			4785			4382			4088			3795			3025			2878			2732		2475		0

Tableau 22. Composition de la production végétale pour les différents niveaux de prix (Tarification binôme)

Ce sont les mêmes résultats en fonction de la composition de production végétale avec la tarification volumétrique. Donc il n'y a pas un changement des décisions du fermier concernant les cultures adoptées dans son système de production.

V. D. ANALYSE ECONOMIQUE DES POLITIQUES

Dans cette partie de notre étude nous allons interpréter la tarification volumétrique par région par rapport au bénéfice social. Afin de faire tourner les simulations, nous avons besoin d'équations du coût marginal et coût total de l'eau. Malheureusement, il n'y a pas une étude réalisée sur ce sujet pour la Turquie. Cependant, pour donner une idée nous allons utiliser les équations estimées de Howitt et Vaux³³ (1995). Yacov Tsur et Ariel Dinar aussi utilisent les estimations de Howitt et Vaux (1995) dans leur article de « The Relative Efficiency and Implimentation Costs of Alternative Methods for Pricing Irrigation Water³⁴ »(1997).

Howitt et Vaux (1995) ont estimé le coût marginal de l'eau est l'ont présenté comme suit :

$$CT' (q) = CM (q) = 11,5 + 0,000671 q \quad (1)$$

où ;

CT' représente le dérivé de coût total (CT), CM représente le coût marginal en dollar par acre-inche³⁵ (\$/acre-inche) et q représente la quantité d'eau consommée en acre-inche.

³³ Howitt, Richard E., et Henry Vaux. 1995. « Competing Demands for California's Scarce Water. » Dans Ariel Dinar et Edna Loehman, eds., *Water Quantity/ Quality Management and Conflict Resolution*, pp. 271-87. Westport, Conn. : Praeger.

³⁴ Yacov Tsur et Ariel Dinar. 1997. « The Relative Efficiency and Implimentation Costs of Alternative Methods for Pricing Irrigation Water », *The World Bank Economic Review*, vol 11, no 2, pp. 243-62.

³⁵ 1 acre-inche = 102,8 m³.

Le coût total est, donc, comme suit :

$$CT = 11,5 q + 0,000671 q^2 / 2 \quad (2)$$

où, CT représente le coût totale.

Nous avons converti les unités des mesures de ces équations aux unités de TL (avec le prix 1992) et m³ ;

$$CT' (q) = CM (q) = 950,878 + 0,0005398 q \quad (1.a)$$

et

$$CT = 950,878 q + 0,0005398 q^2 / 2 \quad (2.a)$$

où ;

CT représente le coût total en TL/m³, CT' représente le dérivé du coût total, CM représente le coût marginal en TL par m³ (TL/m³) et q représente la quantité d'eau consommée en m³.

Tsur et Dinar (1997) font la définition de bénéfice social comme suit : le bénéfice social est la somme de profit de fermier plus le revenu de l'agence d'eau moins le coût de l'offre d'eau.

Avec les abréviations ;

$$BS = PF + RE - CE \quad (3)$$

où, BS représente le bénéfice social, PF représente le profit du fermier, RE représente le revenu de l'agence d'eau et CE représente le coût de l'offre d'eau.

Nous avons utilisé la même définition avec Tsur et Dinar (1997) et nous avons ajouté ces équations dans nos modèles de tarification volumétrique par région. Pour la tarification volumétrique, nous avons défini le prix d'eau comme le coût marginal d'eau. Pour le coût marginal nous avons utilisé l'équation du coût marginal (1.a). Le coût total d'eau est le même pour tous les deux modèles (équation 2.a). Nous avons ajouté une équation supplémentaire pour le bénéfice social (équation 3) dans les modèles. Les deux modèles sont devenus des modèles de programmation non-linéaire parce que les équations ajoutées contiennent des variables endogènes.

Après avoir fait tourner les modèles, nous avons obtenu les résultats des simulations :

Tarification par région		Tarification Volumétrique	
Quantité d'eau Consommée	6 000 m ³	Quantité d'eau Consommée	3 025 m ³
Prix de l'eau	Blé et orge 9 750 TL/da Betterave à sucre 21 250 TL/da	Prix de l'eau (=CM _{eau})	952,511 TL/m ³
Marge brute de fermier	39 157 000 TL	Marge brute de fermier	35 517 000 TL
Revenu de l'agence d'eau	149 420 TL	Revenu de l'agence d'eau	2 881 345,775 TL
Coût de l'eau	5 715 000 TL	Coût de l'eau	2 878 900 TL
Bénéfice social	33 591 420 TL	Bénéfice social	35 519 445,78 TL

Tableau 23. Comparaison de tarification volumétrique (tarification coût marginal) et par région.

Dans le Tableau 23 on constate que le bénéfice social du modèle de tarification volumétrique (tarification coût marginal) est supérieure à celui du modèle de tarification par région. De plus, la quantité d'eau consommée on utilisant le modèle de tarification par région est supérieure à la quantité d'eau consommée on utilisant le model volumétrique. La quantité d'eau consommée par le modèle volumétrique est presque le moitié de celle du modèle par région (6000 mm pour le modèle par région et 3025 mm pour le modèle volumétrique). La raison principale de la différence entre le bénéfice social de tarification volumétrique et par

région est que dans la tarification par région, les agences d'eau ne peuvent pas couvrir leurs coût de la production d'eau avec le revenu qu'ils gagnent.

Avec les résultats de notre exemple, nous pouvons facilement observer la performance du modèle volumétrique (tarification coût marginal). La tarification par région n'a pas une bonne performance à cause de plusieurs raisons. Premièrement, elle génère un bénéfice social inférieur à celui de tarification volumétrique (coût marginal) même avec une consommation d'eau supérieure à celle du modèle volumétrique. Deuxièmement, après avoir choisi les cultures, le prix de l'eau n'a aucune effet sur la demande d'eau. Troisièmement, le contrôle de la quantité d'eau consommée est presque impossible. Après avoir payé le prix d'eau par région, les fermiers peuvent utiliser de l'eau avec une quantité exagérée. C'est le cas généralement observé dans la pratique. Les fermiers ont tendance à apporté des quantités d'eaux supérieurs aux besoins des cultures. Ce comportement cause premièrement un gaspillage d'une ressource naturelle deuxièmement crée une externalité de production comme la salinité³⁶ du sol.

Dans le tableau 24 on observe la composition de la production végétale selon la tarification par région et volumétrique. Premièrement, on observe que les cultures adoptées sont pareilles dans toutes les deux méthodes de tarification. La différence est la quantité d'eau consommée pour l'irrigation des cultures. Ce tableau nous montre l'effet de la tarification volumétrique sur la demande d'eau. C'est un exemple pour observer que la tarification volumétrique est un bon outil pour la gestion de demande d'eau. Avec la tarification par région, l'utilisation de l'eau est maximale pour les cultures irriguées.

³⁶ Quantité de sels solubles dans un sol, exprimée en pourcentage, en parties par million, ou en d'autres proportions.

Cultures	Tarification	
	Par région	Volumétrique
blé (sec)	53 da	53 da
blé (130 mm)		3,667 da
blé (450 mm)	3,667 da	
Orge (sec)	10 da	10 da
orge (130 mm)		3,667 da
orge (320 mm)	1,09 da	
orge (450 mm)	2,577 da	
Pois chiche	10 da	10 da
BS (565 mm)		3,667 da
BS (775 mm)	3,667 da	
Jachère	53 da	53 da

Tableau 24. Composition de la production végétale pour deux type de tarification.

Au terme de cette analyse, il faut cependant faire remarquer que la définitions et les paramètres de l'équation du coût total et marginal ont une rôle très significatif sur les résultats de bénéfice social. Il faudrait également examiner l'importance de la définitions et des paramètres des équations du coût total et marginal. Dans la partie suivante nous allons examiner ce sujet.

V. E. IMPORTANCE DES EQUATIONS DU COUT TOTAL ET MARGINAL

Prenons le cas de l'équation du coût total et marginal comme suit :

$$CM = 30 + 0,00392 q$$

$$CT = 30. q + 0,00392 q^2 / 2$$

En utilisant ces équations, à la fin des simulations nous obtenons les résultats suivants :

Tarification par région		Tarification Volumétrique	
Quantité d'eau Consommée	6 000 m ³	Quantité d'eau Consommée	6 000 m ³
Marge brute de fermier	39 157 000 TL	Marge brute de fermier	38 985 000 TL
Revenu de l'agence d'eau	149 430 TL	Revenu de l'agence d'eau	321 120 TL
Coût de l'eau	250 560 TL	Coût de l'eau	250 560 TL
Bénéfice social	39 055 870 TL	Bénéfice social	39 055 560 TL

Ici, on observe que le bénéfice social généré par la tarification par région est supérieur à celui de la tarification volumétrique. La différence est peu significative, mais elle nous montre que la définition et les paramètres de fonctions du coût total et marginal peuvent changer les résultats.

Maintenant, ajoutons le *coût d'implémentation (implementation cost)* à nos modèles. Le coût d'implémentation est le coût total pour les équipements et services afin de réaliser la tarification volumétrique. Tsur et Dinar (1997) font la définition de coût d'implémentation comme un pourcentage de revenu de l'agence d'eau. Selon leurs définitions, nous avons ajouté un coût d'implémentation de l'ordre de 15 % du revenu de l'agence d'eau à notre modèle de tarification volumétrique. Donc, avec l'inclusion du coût d'implémentation, le bénéfice social pour la tarification volumétrique est la marge brute de fermier plus le revenu de l'agence d'eau moins le coût de la production d'eau moins le coût d'implémentation :

$$BS = MB + RE - CE - CI$$

où, CI représente le coût d'implémentation.

Nos équations maintenant sont :

$$CM = 30 + 0,00392 q$$

$$CT = 30 q + 0,00392 q^2 / 2$$

$$CI = 0.15 (\text{Prix de l'eau} * \text{Quantité d'eau consommée})$$

En ce cas, les bénéfices sociaux sont ;

39 056 000 TL pour la tarification par région et 38 838 000 TL pour la tarification volumétrique. Donc, avec l'inclusion de coût d'implémentation, la différence entre les bénéfices sociaux augmente. Tsur et Dinar (1997) font une analyse pour examiner ce sujet. Ils essaient de trouver la réponse à la question suivante : à partir de quel pourcentage (le pourcentage de coût d'implémentation par rapport au revenu de l'agence d'eau), la tarification volumétrique génère moins de bénéfice social par rapport à la tarification par région. Selon eux, si le coût d'implémentation est plus de 10 % de revenu de l'agence d'eau, le bénéfice social de la tarification volumétrique est inférieur au bénéfice social de la tarification par région.

Il convient de signaler, pour conclure, la définition et les paramètres de la fonction de coût total et marginal ont des influences assez significatives sur les bénéfices sociaux générés par l'utilisation d'eau. Il faut bien travailler sur ce sujet avant de déterminer le prix de l'eau. Avec des estimations (de coût total et marginal de la production de l'eau) qui ne reflètent pas la situation réelle, on peut décider d'utiliser des prix qui peuvent diminuer le bénéfice social au lieu de l'augmenter. Avec un prix haut ; la production agricole, les revenus des fermiers et le bénéfice social peuvent diminuer. Ou bien on peut utiliser des prix bas qui mènent à l'emploi excessif de l'eau.

V. F. ESTIMATION DE DEMANDE

Dans le graphique suivant, nous observons que la courbe de la demande d'eau pour la tarification volumétrique (tarification coût marginal) en cas de disponibilité d'eau est de 6000 mm.

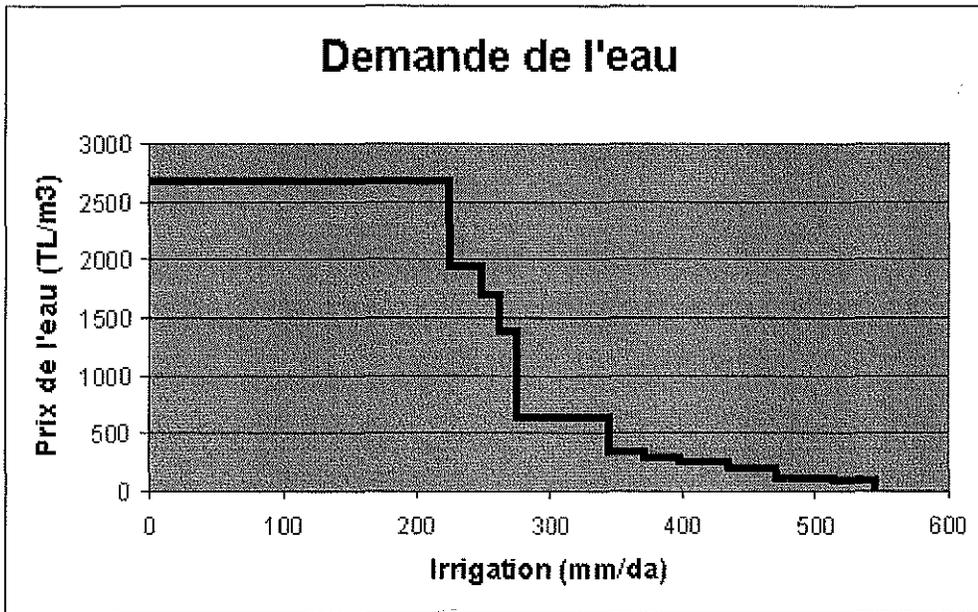


Figure 18. Demande d'eau (Tarification coût marginal)

Dans cette partie de notre étude, en utilisant les données des simulations, nous allons essayer d'estimer la fonction de demande d'eau pour la région de Karapinar. Dans le cadre de notre étude, notre modèle sera un modèle de régression simple.

$$EAU_t = B_0 + B_1 \text{PRIX}_t + u_t$$

où :

EAU = demande de l'eau (mm),

PRIX = prix de l'eau (TL/m³)

La variable EAU est appelée « variable endogène », la variable PRIX est appelée « variable exogène » et B_0 et B_1 sont les paramètres du modèle. L'estimation a été faite par le logiciel Microfit. Les résultats sont comme suit :

```

Ordinary Least Squares Estimation
*****
Dependent variable is EAU
25 observations used for estimation from 1 to 25
*****
Regressor          Coefficient          Standard Error          T-Ratio[Prob]
B                   472.1675              16.9930                 27.7860[.000]
PRIX                -.13797               .014534                 -9.4929[.000]
*****
R-Squared           .79667                R-Bar-Squared           .78783
S.E. of Regression  61.1569              F-stat.  F( 1, 23)     90.1152[.000]
Mean of Dependent Variable  360.1855          S.D. of Dependent Variable  132.7702
Residual Sum of Squares  86023.9            Equation Log-likelihood  -137.2673
Akaike Info. Criterion  -139.2673          Schwarz Bayesian Criterion  -140.4862
DW-statistic        .99041
*****

```

Tableau 25. Estimation de la demande d'eau.

Donc, la régression de EAU sur PRIX conduit aux résultats suivants :

$$EA\hat{U}_t = 472,1675 - 0,13797 PRIX_t$$

$$t \rightarrow (27,786) (-9,4929)$$

$$R^2 = 0,79667$$

Les coefficients sont significativement différents de 0 selon les valeurs de *t de student*.

Maintenant, nous allons faire le test de hétéroscédasticité en utilisant le test de Gleisjer.

$$|\hat{u}_t| = 44,3457 + 0.0047729 PRIX_t$$

$$t \rightarrow (0.5809)$$

$$|\hat{u}_t| = 42,3457 + 0.000004370 PRIX_t^2$$

$$t \rightarrow (1.3731)$$

$$|\hat{u}_t| = 47,1654 + 0.043558 \text{ PRIX}_t$$

$$t \rightarrow (0.094001)$$

Aucun des coefficients n'est significativement différent de 0. Selon le test de Gleisjer, il n'y a pas hétéroscédasticité.

La valeur de Durbin et Watson est de 0,99041. Il n'y a pas d'autocorrélation dans le modèle.

Donc, la demande d'eau pour la région de KARAPINAR est comme suit :

$$EA\hat{U}_t = 472,1675 - 0,13797 \text{ PRIX}_t$$

$$t \rightarrow (27,786) \quad (-9,4929)$$

$$R^2 = 0,79667$$

CONCLUSION

Dans notre étude, nous avons construit un modèle d'un fermier représentatif pour la région de Konya-Karapinar en Turquie. Notre problématique était que la tarification d'eau en Turquie (tarification par région) n'est pas efficace, et par conséquent, l'eau n'est pas payée par la valeur réelle de cette ressource. C'est pourquoi il y a un gaspillage et une utilisation excessive d'eau. Après avoir payé le prix d'eau par dekar (1 da.=0.1 ha), le fermier utilise de l'eau en quantité voulu. Normalement cette tarification amène à un gaspillage d'eau. La tarification par région n'est pas efficace et n'est pas un bon outil pour la gestion de demande. Notre hypothèse était que ce gaspillage peut être réduit par l'utilisation d'un outil de tarification d'eau efficace. On a constaté que si on augment la tarif d'eau en cas de tarification par région, le fermier ne change pas son niveau de consommation d'eau. Deux autres importants problèmes de cette tarification sont dégagés : premièrement il n'y a pas de contrôle de l'utilisation d'eau et, deuxièmement, le fermier ne paie pour chaque unité d'eau consommée.

C'est pourquoi, un gaspillage normalement se produit. Pour réduire et même supprimé ce gaspillage on a besoin d'une tarification dont sa formulation oblige le fermier à payer pour chaque unité supplémentaire d'eau qu'il consomme. Dans notre étude, nous proposons la tarification volumétrique (tarification coût marginal) pour la Turquie. Pour la période où la disponibilité d'eau, est supérieure à la demande, il faut utiliser le coût marginal d'eau comme le prix de cette ressource (tarification coût marginal). Si la disponibilité est inférieure à la demande d'eau, il faut prendre en compte le prix dual de l'eau et ajouter ce prix au prix appliqué (tarification d'échelon). Si le coût moyen est inférieur au coût marginal, il faut utiliser la tarification binôme. Avec ces types des tarifications on peut obtenir une utilisation efficace, et on peut augmenter le bénéfice social total de l'utilisation de cette ressource.

En somme, quelles conclusions tirons de cette analyse ? Nous pouvons les lister comme suit :

- La tarification par région n'est pas un bon outil pour la gestion de demande d'eau,
- En pratique, avec la tarification par région, les fermiers apportent des quantités d'eaux supérieures aux besoins des plantes. Parce qu'ils ne paient pas pour chaque unité d'eau qu'il consomme. Ils paient une charge fixe pour l'utilisation d'eau par région et après avoir payé cette charge ils consomment des quantités non raisonné. Un gaspillage d'eau s'observe alors,
- Dans la tarification par région, l'utilisation excessive de l'eau cause une externalité suite à l'activité de production comme la salinité du sol,
- La tarification coût marginal est efficace et un bon outil pour la gestion de demande d'eau,
- Dans la tarification volumétrique (tarification coût marginal), les fermiers paient pour chaque unité d'eau consommé, c'est pourquoi, la tarification volumétrique est un bon outil pour la gestion de la demande d'eau,
- La tarification volumétrique peut générer un bénéfice social supérieur à celui de la tarification par région,
- La définition et les paramètres du coût total et marginal d'eau sont très important pour les résultats du bénéfice social. Avec un prix qui ne reflète pas la valeur réelle de cette ressource, le bénéfice social peut diminuer,
- Il faut bien définir et estimer le coût total et marginal d'eau pour augmenter le bénéfice social,

- L'inclusion du coût d'implémentation pour la tarification volumétrique peut changer les résultats. Le volume du coût d'implémentation est très important.
- Pour les périodes où la disponibilité d'eau est supérieure à la demande d'eau, il faut appliqué la tarification coût marginal (volumétrique).
- Pour les périodes où la disponibilité d'eau est inférieure à la demande d'eau, il faut prendre en compte le prix dual de l'eau et utiliser la tarification d'échelon. Pour la région de Karapinar, selon le cadre et la supposition de notre modèle, quand la disponibilité d'eau est inférieur a la demande d'eau, le prix de l'eau doit être 77 TL/m³.
- Pour les périodes où le coût moyen d'eau est inférieur au coût marginal, il faut utiliser la tarification binôme.

ANNEXES

ANNEX 1 – LES MODELES DE PROGRAMMATION MATHEMATIQUE

A. TARIFICATION VOLUMETRIQUE

```
*****  
* Comparison de differents politiques de tarification de l'eau:      *  
* Dans la region de Konya-Karapinar en Turquie .                  *  
* Ozan ERUYGUR -- IAMM. France. Montpellier - Octobre 17, 2000    *  
*****
```

* TARIFICATION VOLUMETRIQUE

\$ontext

Modele pour la comparaisons des differentes politiques de l irrigation. Quatre cultures, le ble, orge, betterave à sucre et pois chiche. Il y a 5 niveau de irrigation pour des cultures irriguee. Les rendement ont ete obtenus en utilisant le modele CropSyst avec le sol, le climat de Konya-Karapinar, TURQUIE.

Nous allons essayer de représenter le type d'exploitation moyenne, qui a une superficie de 138 da (1 da =0.1 ha), consacrées notamment des cultures irriguées et secs:

- blé (b, t1:sans irrigation, t2*t6:irrigué),
- orge (o, t1:sans irrigation, t2*t6:irrigué),
- betterave a sucre (bs, irrigation par aspersion),
- pois chiche (p, t1:sans irrigation),
- jachère

Le travail est assuré par l'entrepreneur agricole lui-meme, et il est possible de recruter de la main-d'oeuvre saisonnière si nécessaire.

Le volume d'eau disponible pour l'entreprenneur est de 12000 m3. Le système de distribution d'eau est par gravité, donc les pertes d'eau dans le reseaux sont considérables. On admet que le coefficient d'efficacité technique dans la distribution de l'eau est 0,50.

Les principales données techniques et économiques se présentent dans le modèle suivant.

Ozan ERUYGUR - IAM.M - Montpellier
These de Master of Science

\$offtext

```
*****  
*                               MODELE DE TARIFICATION VOLUMETRIQUE                               *  
*****
```

OPTION LIMROW = 0

OPTION LIMCOL = 0

sets

C cultures /b,o,p,bs,j/

A animaux /vache1, vache2, agneau/

CG man oeuvre loue saisonier /iskil, iski2, iski3/

BAT batiment /berg, etable/

S paille /samyap, samal, kuruotal/

T techniques niveaux de irrigation /t1*t6/

tt(t) cultures irrigue /t2*t6/

ttt(t) cultures non irrigue /t1/

IT iterations pour different niveaux de prix /it1*it25/

IL terre /iland, niland, tland, jacher/

P periods /p1*p3/

;

Parameters

RLI(il) disponibilite de terre /iland 12, niland 73, tland 138, jacher 53/

DM(p) disponibilite de man oeuvre /p1 1239, p2 2263, p3 1814/

DBAT(bat) disponibilite de batiments /berg 47, etable 61/

F(cg) paiement pour man d oeuvre saisonnier /iskil 3750, iski2 3750, iski3 3750/

FA(a) mb des animaux /vache1 3031770, vache2 3847556, agneau 268002/

FSAM(s) cout de paille achete et produit /samyap 43742, samal 300000, kuruotal 400000/

KSAM(s) paille matrice /samyap 1000, samal 0, kuruotal 0/

KKOT(s) foin matrice /samyap 0, samal 0, kuruotal 1/

bakot(a) besoin des animaux foin ND /vache1 500, vache2 550, agneau 0/

*ND=starch equivalent

batoy(a) besoin des animaux fourrager total ND /vache1 600, vache2 1245, agneau 80/

samnd(s) productivite de ND /samyap 175, samal 175, kuruotal 311/

R(c,t) rendement en kg par dekar

/

p.t1	140
j.t1	0
b.t1	220
b.t2	270
b.t3	320
b.t4	340
b.t5	360
b.t6	370
o.t1	220
o.t2	270
o.t3	320
o.t4	340
o.t5	360
o.t6	370
bs.t2	3209
bs.t3	3641
bs.t4	4977
bs.t5	5400
bs.t6	5812

/

paille(c,t) rendement de paille

/

p.t1	140
p.t2*t6	0
j.t1*t6	0
b.t1	220
b.t2	270
b.t3	320
b.t4	340
b.t5	360
b.t6	370
o.t1	220
o.t2	270
o.t3	320
o.t4	340
o.t5	360
o.t6	370
bs.t1*t6	0

/

E(c,t) eau utilise mm

/

p.t1*t6	0
j.t1*t6	0
b.t1	0
b.t2	90
b.t3	130
b.t4	210
b.t5	320
b.t6	450
o.t1	0
o.t2	90
o.t3	130

o.t4 210
 o.t5 320
 o.t6 450
 bs.t1 0
 bs.t2 285
 bs.t3 355
 bs.t4 495
 bs.t5 565
 bs.t6 775

/

couts(c,t) couts par dekar

/

p.t1 56140
 p.t2*t6 0
 j.t1*t6 0
 b.t1 91437
 b.t2 97571
 b.t3 98881
 b.t4 99903
 b.t5 100072
 b.t6 101555
 o.t1 86159
 o.t2 94746
 o.t3 95777
 o.t4 96326
 o.t5 97656
 o.t6 98914
 bs.t1 0
 bs.t2 228767
 bs.t3 230834
 bs.t4 232137
 bs.t5 234208
 bs.t6 236937

/

azot(c,t) consommation d azote en kg par da

/

b.t1 9
 b.t2*t5 11.8
 b.t6 11.8
 o.t1 7
 o.t2*t5 14
 o.t6 14
 p.t1*t6 0
 bs.t1 30
 bs.t2*t6 0
 j.t1*t6 0

/

Table m(cg,p) matrice pour man d oeuvre

	p1	p2	p3
iskil	1	0	0
iski2	0	1	0
iski3	0	0	1

;

Table hm(a,p) besoin man d oeuvre pour production animale

	p1	p2	p3
vachel	59.68	72.25	71.44
vache2	59.68	72.25	71.44
agneau	5.24	6.89	6.54

;

Table hbm(bat,a) matrice de besoin de batiment pour production animale

	vachel	vache2	agneau
etable	11.98	13	
berg			1.77

;

table b(c,t,il) irrigue or non irrigue

	iland	niland	tland	jacher
b.t1	0	1	1	0
b.t2*t5	1	0	1	0
b.t6	1	0	1	0
o.t1	0	1	1	0
o.t2*t5	1	0	1	0
o.t6	1	0	1	0
p.t1	0	1	1	0
p.t2*t6	0	0	0	0
bs.t1	0	0	0	0
bs.t2*t6	1	0	1	0
j.t1	0	0	1	1
j.t2*t6	0	0	0	0

;

table isgucu(c,t,p) besoin man d oeuvre par period par culture par technique

	p1	p2	p3
b.t1	0.42	0.42	0.66
b.t2	3.20	0.40	0.91
b.t3	3.25	0.40	0.93
b.t4	3.28	0.40	0.95
b.t5	3.30	0.40	0.97
b.t6	3.31	0.40	0.99
o.t1	0.27	0.32	0.40
o.t2	3.19	0.33	0.60
o.t3	3.24	0.35	0.61
o.t4	3.27	0.36	0.63
o.t5	3.29	0.37	0.65
o.t6	3.30	0.38	0.67
p.t1	0.59	17.80	5.02
p.t2*t6	0	0	0
bs.t1	0	0	0
bs.t2	20.00	21.00	35.00
bs.t3	23.00	24.00	37.00
bs.t4	25.00	25.00	38.00
bs.t5	26.00	26.00	39.16
bs.t6	29.14	28.08	40.16

j.t1*t6 0 0 0

Parameter prix(c) prix TL par culture par kg

/
b 1260
o 1008
bs 325
p 2000
j 0
/

TARIF(IT) differents niveaux du prix de l eau

/
it1 0
it2 44
it3 77
it4 78
it5 94
it6 95
it7 192
it8 193
it9 249
it10 250
it11 275
it12 276
it13 332
it14 333
it15 624
it16 625
it17 1170
it18 1383
it19 1384
it20 1692
it21 1693
it22 1934
it23 1935
it24 2681
it25 2882

/

;

SCALARS

TE prix de l'eau
PN prix azote TL /2327/
EFD efficacite technique distribution de l eau /0.50/
deau disponibilite de l eau /13000/
;

Variables

x(c,t) superficie par culture et technique de irrigation
y(cg)
h(a) animaux
sam(s) paille foin

eau eau utilise dans l exploitation
 NU azot utilise dand l exploitation
 Z profit de l exploitation

;

Positive variables

x, y, h, sam, eau, nu;

x.up('p', t)=10;

Equations

mb fonction objectif

equeau equation pour mesure l eau total utilise

eazot equation pour mesure l azote total utilise

ceau contrainte d eau

cons1(il) contrainte de terre

cons2(p) contrainte de man d oeuvre

cons3(bat) contrainte de batiment

cons4 contrainte de paille

cons5 contrainte de foin

cons6 contrainte de fourrager total

rot1 rotation 1

rot2 rotation 2

rot3 rotation 3

rot4 rotation 4

;

mb..sum((c,t), x(c,t)*r(c,t)*prix(c)-couts(c,t)*x(c,t))-te*eau-pn*nu
 -sum(cg, y(cg)*f(cg))+sum(a, h(a)*fa(a))-sum(s, fsam(s)*sam(s))=e=Z;

rot1..sum((c,t)\$tt(t), x('o', t))=e=1*sum((c,t)\$tt(t), x('bs', t));

rot2..sum((c,t)\$tt(t), x('b', t))=e=1*sum((c,t)\$tt(t), x('bs', t));

rot3..sum((c,t)\$ttt(t), x('o', t))=e=sum((c,t)\$ttt(t), x('p', t));

rot4..sum((c,t)\$ttt(t), x('b', t))=e=1*sum((c,t)\$ttt(t), x('j', t));

equeau..sum((c,t), x(c,t)*e(c,t))=e=eau;

eazot..sum((c,t), x(c,t)*azot(c,t))=e=NU;

ceau..sum((c,t), x(c,t)*e(c,t))=l=deau*efd;

cons1(il)..sum((c,t), b(c,t, il)*x(c,t))=l=rli(il);

cons2(p)..sum((c,t), isgucu(c,t,p)*x(c,t))-sum(cg, y(cg)*m(cg,p))
 +sum(a, h(a)*hm(a,p))=l=dm(p);

cons3(bat)..sum(a, hbm(bat, a)*h(a))=l=dbat(bat) ;

cons4..sum((c,t), x(c,t)*paille(c,t))-sum(s, sam(s)*ksam(s))=g=0;

cons5..sum(a, h(a)*bakot(a))-sum(s, kkot(s)*sam(s)*samnd(s))=l=0;

cons6..sum(a, h(a)*batoy(a))-sum(s, sam(s)*samnd(s))=l=0;

```

Parameter result1(*,*)
;
Parameters result2(*,*,*);
model AYSEGUL /all/;
loop(it,te=tarif(it);
solve AYSEGUL using lp maximizing z;

RESULT2(C,T,IT)=X.L(C,T);
RESULT1('PRIX',IT) = te;
RESULT1('IRRIGATION',IT)= eau.L;
RESULT1('REV_FER',IT)= Z.l;
result1('REV_TOTAL',it)=eau.L*te+z.l;
RESULT1('REV_ETAT',IT) =eau.L*te;
RESULT1('PROD_VAL',IT)= SUM((C,T),X.L(C,T)*R(C,T)*PRIX(C));
RESULT1('VAL_MARG',IT)= ceau.M;

OPTION RESULT1:0:1:1 ;
OPTION RESULT2:0:2:1;

DISPLAY RESULT1,RESULT2;
)

```

B. TARIFICATION PAR REGION

```

*****
*                               MODELE POUR TARIFICATION PAR REGION                               *
*****

```

```

OPTION LIMROW = 0
OPTION LIMCOL = 0

sets

C cultures /b,o,p,bs,j/
A animals /vachel, vache2, agneau/
CG man oeuvre loue saisonier /iskil, iski2, iski3/
BAT batiment /berg, etable/
S paille /samyap, samal, kuruotal/
T techniques niveaux de irrigation /t1*t6/
IT iterations pour different niveaux de prix /it1*it5/
IL terre /iland, niland, tland, jacher/
P periods /p1*p3/

tt(t) activites irrigue /t2*t6/
ttt(t) activites non irrigue /t1/

```

i

Parameters

RLI(il) disponibilite de terre /iland 12, niland 73, tland 138, jacher 53/

DM(p) disponibilite de man doevre /p1 1239, p2 2263, p3 1814/

DBAT(bat) disponibilite de batiments /berg 47, etable 61/

F(cg) paiement pour man d oeuvre saisonnier /iskil 3750, iski2 3750, iski3 3750/

FA(a) mb des animaux /vachel 3031770, vache2 3847556, agneau 268002/

FSAM(s) cout de paille achete et produit /samyap 43742, samal 300000, kuruotal 400000/

KSAM(s) paille matrice /samyap 1000, samal 0, kuruotal 0/

KKOT(s) foin matrice /samyap 0, samal 0, kuruotal 1/

bakot(a) besoin des animaux foin ND /vachel 500, vache2 550, agneau 0/

*ND=starch equivalent

batoy(a) besoin des animaux fourrager total ND /vachel 600, vache2 1245, agneau 80/

samnd(s) productivite de ND /samyap 175, samal 175, kuruotal 311/

R(c,t) rendement en kg par dekar

/

p.t1	140
j.t1	0
b.t1	220
b.t2	270
b.t3	320
b.t4	340
b.t5	360
b.t6	370
o.t1	220
o.t2	270
o.t3	320
o.t4	340
o.t5	360
o.t6	370
bs.t2	3209
bs.t3	3641
bs.t4	4977
bs.t5	5400
bs.t6	5812

/

paille(c,t) rendement de paille
/

p.t1	140
p.t2*t6	0
j.t1*t6	0
b.t1	220
b.t2	270
b.t3	320
b.t4	340
b.t5	360
b.t6	370
o.t1	220
o.t2	270
o.t3	320
o.t4	340
o.t5	360
o.t6	370
bs.t1*t6	0

/

E(c,t) eau utilise mm
/

p.t1*t6	0
j.t1*t6	0
b.t1	0
b.t2	90
b.t3	130
b.t4	210
b.t5	320
b.t6	450
o.t1	0
o.t2	90
o.t3	130
o.t4	210
o.t5	320
o.t6	450
bs.t1	0
bs.t2	285
bs.t3	355
bs.t4	495
bs.t5	565
bs.t6	775

/

couts(c,t) couts par dekar TL
/

p.t1	56140
p.t2*t6	0
j.t1*t6	0
b.t1	91437
b.t2	97571
b.t3	98881
b.t4	99903
b.t5	100072
b.t6	101555
o.t1	86159

o.t2 94746
 o.t3 95777
 o.t4 96326
 o.t5 97656
 o.t6 98914
 bs.t1 0
 bs.t2 228767
 bs.t3 230834
 bs.t4 232137
 bs.t5 234208
 bs.t6 236937
 /

azot(c,t) consommation d azote en kg par da

/
 b.t1 9
 b.t2*t5 11.8
 b.t6 11.8
 o.t1 7
 o.t2*t5 14
 o.t6 14
 p.t1*t6 0
 bs.t1 30
 bs.t2*t6 0
 j.t1*t6 0
 /

Table m(cg,p) matrice pour man d oeuvre

	p1	p2	p3
iskil	1	0	0
iski2	0	1	0
iski3	0	0	1

;

Table hm(a,p) besoin man d oeuvre pour production animale

	p1	p2	p3
vache1	59.68	72.25	71.44
vache2	59.68	72.25	71.44
agneau	5.24	6.89	6.54

;

Table hbm(bat,a) matrice de besoin de batiment pour production animale

	vache1	vache2	agneau
etable	11.98	13	
berg			1.77

;

Table b(c,t,il) irrigue or non irrigue

	iland	niland	tland	jacher
b.t1	0	1	1	0
b.t2*t5	1	0	1	0
b.t6	1	0	1	0
o.t1	0	1	1	0
o.t2*t5	1	0	1	0

o.t6	1	0	1	0
p.t1	0	1	1	0
p.t2*t6	0	0	0	0
bs.t1	0	0	0	0
bs.t2*t6	1	0	1	0
j.t1	0	0	1	1
j.t2*t6	0	0	0	0

;

Table isgucu(c,t,p) besoin man d oeuvre par period par culture par technique

	p1	p2	p3
b.t1	0.42	0.42	0.66
b.t2	3.20	0.40	0.91
b.t3	3.25	0.40	0.93
b.t4	3.28	0.40	0.95
b.t5	3.30	0.40	0.97
b.t6	3.31	0.40	0.99
o.t1	0.27	0.32	0.40
o.t2	3.19	0.33	0.60
o.t3	3.24	0.35	0.61
o.t4	3.27	0.36	0.63
o.t5	3.29	0.37	0.65
o.t6	3.30	0.38	0.67
p.t1	0.59	17.80	5.02
p.t2*t6	0	0	0
bs.t1	0	0	0
bs.t2	20.00	21.00	35.00
bs.t3	23.00	24.00	37.00
bs.t4	25.00	25.00	38.00
bs.t5	26.00	26.00	39.16
bs.t6	29.14	28.08	40.16
j.t1*t6	0	0	0

Parameter prix(c) prix TL par culture par kg

/	
b	1260
o	1008
bs	325
p	2000
j	0

/

Table TARIF(c,t,IT) differents niveaux du prix de l eau

	it1	it2	it3	it4	it5
b.t2*t6	0	9750	97500	680000	9750
o.t2*t6	0	9750	97500	680000	9750
bs.t2*t6	0	21250	212500	1400000	15000000

;

SCALARS

PN prix azote TL /2327/
DEAU disponibilite de l eau /12000/
EFD efficacite technique de l irrigation /0.50/

;

parameter te(c,t);

Variables

x(c,t) superficie par culture et technique de irrigation
y(cg) man douevre saisonnier
h(a) animaux
sam(s) paille
eau eau utilise dans l exploitation
NU azot utilise dand l exploitation
Z marge brut de l exploitation
WC

;

Positive variables

x, y, h, sam, eau, nu;
x.up('p', t)=10;

Equations

mb fonction objectif
equeau equation pour mesure l eau total utilise
eazot equation pour mesure l azote total utilise
ceau contrainte d eau
cons1(il) contrainte de terre
cons2(p) contrainte de man d oeuvre
cons3(bat) contrainte de batiment
cons4 contrainte de paille
cons5 contrainte de foin
cons6 contrainte de fourrager total
watercost payement total pour l eau
rot1 rotation 1
rot2 rotation 2
rot3 rotation 3
rot4 rotation 4

;

mb..sum((c,t), x(c,t)*r(c,t)*prix(c)-couts(c,t)*x(c,t))
 -sum((c,t)\$tt(t), te(c,t)*x(c,t))-pn*nu
 -sum(cg, y(cg)*f(cg))+sum(a, h(a)*fa(a))
 -sum(s, fsam(s)*sam(s))=e=Z;

watercost..sum((c,t)\$tt(t), te(c,t)*x(c,t))=e=wc;

rot1..sum((c,t)\$tt(t), x('o', t))=e=1*sum((c,t)\$tt(t), x('bs', t));

rot2..sum((c,t)\$tt(t), x('b', t))=e=1*sum((c,t)\$tt(t), x('bs', t));

rot3..sum((c,t)\$ttt(t), x('o', t))=e=sum((c,t)\$ttt(t), x('p', t));

```

rot4..sum((c,t)$ttt(t),x('b',t))=e1*sum((c,t)$ttt(t),x('j',t));
equeau..sum((c,t),x(c,t)*e(c,t))=e=eau;
eazot..sum((c,t),x(c,t)*azot(c,t))=e=NU;
ceau..sum((c,t),x(c,t)*e(c,t))=l=deau*efd;
cons1(il)..sum((c,t),b(c,t,il)*x(c,t))=l=rli(il);
cons2(p)..sum((c,t),isgucu(c,t,p)*x(c,t))-sum(cg,y(cg)*m(cg,p))
+sum(a,h(a)*hm(a,p))=l=dm(p);
cons3(bat)..sum(a,hbm(bat,a)*h(a))=l=dbat(bat);
cons4..sum((c,t),x(c,t)*paille(c,t))-sum(s,sam(s)*ksam(s))=g=0;
cons5..sum(a,h(a)*bakot(a))-sum(s,kkot(s)*sam(s)*samnd(s))=l=0;
cons6..sum(a,h(a)*batoy(a))-sum(s,sam(s)*samnd(s))=l=0;

Parameter result1(*,*)
;
Parameters result2(*,*,*);
model AYSEGUL /all/;
loop(it,te(c,t)=tarif(c,t,it);
solve AYSEGUL using lp maximizing z;

RESULT2(C,T,IT)=X.L(C,T);
RESULT1('IRRIGATION',IT)= eau.L;
RESULT1('REV_FER',IT)= Z.L;
RESULT1('REV_TOTAL',IT)=sum((c,t)$tt(t),tarif(c,t,it)*x.l(c,t))+Z.L;
RESULT1('REV_ETAT',IT)=sum((c,t)$tt(t),tarif(c,t,it)*x.l(c,t));
RESULT1('PROD_VAL',IT)= SUM((C,T),X.L(C,T)*R(C,T)*PRIX(C));
RESULT1('VAL_MARG',IT)= ceau.M;

OPTION RESULT1:0:1:1 ;
OPTION RESULT2:0:2:1;

DISPLAY RESULT1,RESULT2;
)

```

C. TARIFICATION BINOME

```

*****
*                               MODELE POUR LA TARIFICATION BINOME                               *
*****
?

OPTION LIMROW = 0
OPTION LIMCOL = 0

sets
C cultures /b,o,p,bs,j/
A animals /vache1, vache2, agneau/

```

CG man oeuvre loue saisonier /iskil, iski2, iski3/

BAT batiment /berg, etable/

S paille /samyap, samal, kuruotal/

T techniques niveaux de irrigation /t1*t6/

tt(t) activites irrigue /t2*t6/

ttt(t) activites non irrigue /t1/

IT iterations pour different niveaux de prix /it1*it25/

IL terre /iland, niland, tland, jacher/

P periods /p1*p3/

;

Parameters

RLI(il) disponibilite de terre /iland 12, niland 73, tland 138, jacher 53/

DM(p) disponibilite de man oeuvre /p1 1239, p2 2263, p3 1814/

DBAT(bat) disponibilite de batiments /berg 47, etable 61/

F(cg) payement pour man d oeuvre saisonnier /iskil 3750, iski2 3750, iski3 3750/

FA(a) mb des animaux /vache1 3031770, vache2 3847556, agneau 268002/

FSAM(s) cout de paille achete et produit /samyap 43742, samal 300000, kuruotal 400000/

KSAM(s) paille matrice /samyap 1000, samal 0, kuruotal 0/

KKOT(s) foin matrice /samyap 0, samal 0, kuruotal 1/

bakot(a) besoin des animaux foin ND /vache1 500, vache2 550, agneau 0/

*ND=starch equivalent

batoy(a) besoin des animaux fourrager total ND /vache1 600, vache2 1245, agneau 80/

samnd(s) productivite de ND /samyap 175, samal 175, kuruotal 311/

R(c,t) rendement en kg par dekar
/

p.t1	140
j.t1	0
b.t1	220
b.t2	270
b.t3	320
b.t4	340

b.t5	360
b.t6	370
o.t1	220
o.t2	270
o.t3	320
o.t4	340
o.t5	360
o.t6	370
bs.t2	3209
bs.t3	3641
bs.t4	4977
bs.t5	5400
bs.t6	5812

/

paille(c,t) rendement de paille

/

p.t1	140
p.t2*t6	0
j.t1*t6	0
b.t1	220
b.t2	270
b.t3	320
b.t4	340
b.t5	360
b.t6	370
o.t1	220
o.t2	270
o.t3	320
o.t4	340
o.t5	360
o.t6	370
bs.t1*t6	0

/

E(c,t) eau utilise mm

/

p.t1*t6	0
j.t1*t6	0
b.t1	0
b.t2	90
b.t3	130
b.t4	210
b.t5	320
b.t6	450
o.t1	0
o.t2	90
o.t3	130
o.t4	210
o.t5	320
o.t6	450
bs.t1	0
bs.t2	285
bs.t3	355
bs.t4	495
bs.t5	565
bs.t6	775

b.t5	360
b.t6	370
o.t1	220
o.t2	270
o.t3	320
o.t4	340
o.t5	360
o.t6	370
bs.t2	3209
bs.t3	3641
bs.t4	4977
bs.t5	5400
bs.t6	5812

/

paille(c,t) rendement de paille

/

p.t1	140
p.t2*t6	0
j.t1*t6	0
b.t1	220
b.t2	270
b.t3	320
b.t4	340
b.t5	360
b.t6	370
o.t1	220
o.t2	270
o.t3	320
o.t4	340
o.t5	360
o.t6	370
bs.t1*t6	0

/

E(c,t) eau utilise mm

/

p.t1*t6	0
j.t1*t6	0
b.t1	0
b.t2	90
b.t3	130
b.t4	210
b.t5	320
b.t6	450
o.t1	0
o.t2	90
o.t3	130
o.t4	210
o.t5	320
o.t6	450
bs.t1	0
bs.t2	285
bs.t3	355
bs.t4	495
bs.t5	565
bs.t6	775

/

couts(c,t) couts par dekar

/

p.t1 56140
 p.t2*t6 0
 j.t1*t6 0
 b.t1 91437
 b.t2 97571
 b.t3 98881
 b.t4 99903
 b.t5 100072
 b.t6 101555
 o.t1 86159
 o.t2 94746
 o.t3 95777
 o.t4 96326
 o.t5 97656
 o.t6 98914
 bs.t1 0
 bs.t2 228767
 bs.t3 230834
 bs.t4 232137
 bs.t5 234208
 bs.t6 236937

/

azot(c,t) consommation d azote en kg par da

/

b.t1 9
 b.t2*t5 11.8
 b.t6 11.8
 o.t1 7
 o.t2*t5 14
 o.t6 14
 p.t1*t6 0
 bs.t1 30
 bs.t2*t6 0
 j.t1*t6 0

/

Table m(cg,p) matrice binary pour man d oeuvre

	p1	p2	p3
iski1	1	0	0
iski2	0	1	0
iski3	0	0	1

;

Table hm(a,p) besoin man d oeuvre pour production animale

	p1	p2	p3
vachel	59.68	72.25	71.44
vache2	59.68	72.25	71.44
agneau	5.24	6.89	6.54

;

Table hbm(bat,a) matrice de besoin de batiment pour production animale

	vache1	vache2	agneau
etable	11.98	13	
berg			1.77

;

Table b(c,t,il) irrigue or non irrigue

	iland	niland	tland	jacher
b.t1	0	1	1	0
b.t2*t5	1	0	1	0
b.t6	1	0	1	0
o.t1	0	1	1	0
o.t2*t5	1	0	1	0
o.t6	1	0	1	0
p.t1	0	1	1	0
p.t2*t6	0	0	0	0
bs.t1	0	0	0	0
bs.t2*t6	1	0	1	0
j.t1	0	0	1	1
j.t2*t6	0	0	0	0

;

table isgucu(c,t,p) besoin man d ouevre par period par culture par technique

	p1	p2	p3
b.t1	0.42	0.42	0.66
b.t2	3.20	0.40	0.91
b.t3	3.25	0.40	0.93
b.t4	3.28	0.40	0.95
b.t5	3.30	0.40	0.97
b.t6	3.31	0.40	0.99
o.t1	0.27	0.32	0.40
o.t2	3.19	0.33	0.60
o.t3	3.24	0.35	0.61
o.t4	3.27	0.36	0.63
o.t5	3.29	0.37	0.65
o.t6	3.30	0.38	0.67
p.t1	0.59	17.80	5.02
p.t2*t6	0	0	0
bs.t1	0	0	0
bs.t2	20.00	21.00	35.00
bs.t3	23.00	24.00	37.00
bs.t4	25.00	25.00	38.00
bs.t5	26.00	26.00	39.16
bs.t6	29.14	28.08	40.16
j.t1*t6	0	0	0

Parameter prix(c) prix TL par culture par kg

/	
b	1260
o	1008

bs 325
p 2000
j 0

/

TARIF(IT) differents niveaux du prix de l eau

/

it1 0
it2 44
it3 77
it4 78
it5 94
it6 95
it7 192
it8 193
it9 249
it10 250
it11 275
it12 276
it13 332
it14 333
it15 624
it16 625
it17 1170
it18 1383
it19 1384
it20 1692
it21 1693
it22 1934
it23 1935
it24 2681
it25 2682

/

;

SCALARS

TE prix de l'eau
CP constant payment /1000000/
PN prix azote TL /2327/
EFD efficacite technique distribution de l eau /0.50/
DEAU disponibilite de l eau /12000/

;

Variables

x(c,t) superficie par culture et technique de irrigation
y(cg) man douevre saisonnier
h(a) animaux
sam(s) paille
eau eau utilise dans l exploitation
wc
NU azot utilise dand l exploitation
Z marge brut de l exploitation

;

Positive variables
x, wc, y, h, sam, eau, nu;
x.up('p', t)=10;

Equations

mb fonction objectif
eqeau equation pour mesure l eau total utilise
eazot equation pour mesure l azote total utilise
ceau contrainte d eau
cons1(il) contrainte de terre
cons2(p) constraint de man d oeuvre
cons3(bat) contrainte de batiment
cons4 contrainte de paille
cons5 contrainte de foin
cons6 contrainte de fourrager total
watercost payement total pour l eau
rot1 rotation 1
rot2 rotation 2
rot3 rotation 3
rot4 rotation 4

;

mb..sum((c,t), x(c,t)*r(c,t)*prix(c)-couts(c,t)*x(c,t))-eau*te-cp-pn*nu
-sum(cg, y(cg)*f(cg))+sum(a, h(a)*fa(a))-sum(s, fsam(s)*sam(s))=e=Z;

rot1..sum((c,t)\$tt(t), x('o', t))=e=1*sum((c,t)\$tt(t), x('bs', t));

rot2..sum((c,t)\$tt(t), x('b', t))=e=1*sum((c,t)\$tt(t), x('bs', t));

rot3..sum((c,t)\$ttt(t), x('o', t))=e=sum((c,t)\$ttt(t), x('p', t));

rot4..sum((c,t)\$ttt(t), x('b', t))=e=1*sum((c,t)\$ttt(t), x('j', t));

eqeau..sum((c,t), x(c,t)*e(c,t))=e=eau;

watercost..eau*te+CP=e=wc;

eazot..sum((c,t), x(c,t)*azot(c,t))=e=NU;

ceau..sum((c,t), x(c,t)*e(c,t))=l=deau*efd;

cons1(il)..sum((c,t), b(c,t, il)*x(c,t))=l=rli(il);

cons2(p)..sum((c,t), isgucu(c,t,p)*x(c,t))-sum(cg, y(cg)*m(cg,p))
+sum(a, h(a)*hm(a,p))=l=dm(p);

cons3(bat)..sum(a, hbm(bat, a)*h(a))=l=dbat(bat) ;

cons4..sum((c,t), x(c,t)*paille(c,t))-sum(s, sam(s)*ksam(s))=g=0;

cons5..sum(a, h(a)*bakot(a))-sum(s, kkot(s)*sam(s)*samnd(s))=l=0;

cons6..sum(a, h(a)*batoy(a))-sum(s, sam(s)*samnd(s))=l=0;

```

Parameter result1(*,*)
;

Parameters result2(*,*,*);
model AYSEGUL /all/;
loop(it,te=tarif(it);
solve AYSEGUL using lp maximizing z;

RESULT2(C,T,IT)=X.L(C,T);
RESULT1('PRIX',IT) = te;
RESULT1('IRRIGATION',IT)= eau.L;
RESULT1('REV_FER',IT)= Z.L;
result1('REV_TOT',it)=eau.L*te+CP+z.l;
RESULT1('REV_ETAT',IT) =eau.L*te+CP;
RESULT1('PROD_VAL',IT)= SUM((C,T),X.L(C,T)*R(C,T)*PRIX(C));
RESULT1('VAL_MARG',IT)= ceau.M;

OPTION RESULT1:0:1:1      ;
OPTION RESULT2:0:2:1;

DISPLAY RESULT1,RESULT2;
)

```

D. MODELE VOLUMETRIQUE POUR L'ANALYSE DE BENEFICE SOCIAL

```

*****
*                               MODELE DE TARIFICATION VOLUMETRIQUE NON LINEAIRE                               *
*****

```

```

OPTION LIMROW = 0
OPTION LIMCOL = 0

sets

C cultures /b,o,p,bs,j/
A animaux /vache1, vache2, agneau/
CG man oeuvre loue saisonier /iskil, iski2, iski3/
BAT batiment /berg, etable/
S paille /samyap, samal, kuruotal/
T techniques niveaux de irrigation /t1*t6/
tt(t) activites irrigue /t2*t6/
ttt(t) activites non irrigue /t1/
IT iterations pour different niveaux de prix /it1*it25/
IL terre /iland, niland, tland, jacher/
P periods /p1*p3/

```

;

Parameters

RLI(il) disponibilite de terre /iland 12, niland 73, tland 138, jacher 53/

DM(p) disponibilite de man doevre /p1 1239, p2 2263, p3 1814/

DBAT(bat) disponibilite de batiments /berg 47, etable 61/

F(cg) payement pour man d oeuvre saisonnier /iskil 3750, iski2 3750, iski3 3750/

EA(a) mb des animaux /vachel 3031770, vache2 3847556, agneau 268002/

FSAM(s) cout de paille achete et produit /samyap 43742, samal 300000, kuruotal 400000/

KSAM(s) paille matrice /samyap 1000, samal 0, kuruotal 0/

KKOT(s) foin matrice /samyap 0, samal 0, kuruotal 1/

bakot(a) besoin des animaux foin ND /vachel 500, vache2 550, agneau 0/

*ND=starch equivalent

batoy(a) besoin des animaux fourrager total ND /vachel 600, vache2 1245, agneau 80/

samnd(s) productivite de ND /samyap 175, samal 175, kuruotal 311/

R(c,t) rendement en kg par dekar

/

p.t1	140
j.t1	0
b.t1	220
b.t2	270
b.t3	320
b.t4	340
b.t5	360
b.t6	370
o.t1	220
o.t2	270
o.t3	320
o.t4	340
o.t5	360
o.t6	370
bs.t2	3209
bs.t3	3641
bs.t4	4977
bs.t5	5400
bs.t6	5812

/

paille(c,t) rendement de paille

/

p.t1	140
p.t2*t6	0
j.t1*t6	0
b.t1	220
b.t2	270
b.t3	320
b.t4	340
b.t5	360
b.t6	370
o.t1	220
o.t2	270
o.t3	320
o.t4	340
o.t5	360
o.t6	370
bs.t1*t6	0

/

E(c,t) eau utilise mm

/

p.t1*t6	0
j.t1*t6	0
b.t1	0
b.t2	90
b.t3	130
b.t4	210
b.t5	320
b.t6	450
o.t1	0
o.t2	90
o.t3	130
o.t4	210
o.t5	320
o.t6	450
bs.t1	0
bs.t2	285
bs.t3	355
bs.t4	495
bs.t5	565
bs.t6	775

/

couts(c,t) couts par dekar 1000 TL

/

p.t1	56140
p.t2*t6	0
j.t1*t6	0
b.t1	91437
b.t2	97571
b.t3	98881
b.t4	99903
b.t5	100072
b.t6	101555
o.t1	86159
o.t2	94746
o.t3	95777
o.t4	96326

o.t5 97656
 o.t6 98914
 bs.t1 0
 bs.t2 228767
 bs.t3 230834
 bs.t4 232137
 bs.t5 234208
 bs.t6 236937

/

azot(c,t) consommation d azote en kg par da

/
 b.t1 9
 b.t2*t5 11.8
 b.t6 11.8
 o.t1 7
 o.t2*t5 14
 o.t6 14
 p.t1*t6 0
 bs.t1 30
 bs.t2*t6 0
 j.t1*t6 0

/

Table m(cg,p) matrice binary pour man d oeuvre

	p1	p2	p3
iski1	1	0	0
iski2	0	1	0
iski3	0	0	1

;

Table hm(a,p) besoin man d oeuvre pour production animale

	p1	p2	p3
vache1	59.68	72.25	71.44
vache2	59.68	72.25	71.44
agneau	5.24	6.89	6.54

;

Table hbm(bat,a) matrice de besoin de batiment pour production animale

	vache1	vache2	agneau
etable	11.98	13	
berg			1.77

;

table b(c,t,il) irrigue or non irrigue

	iland	niland	tland	jacher
b.t1	0	1	1	0
b.t2*t5	1	0	1	0
b.t6	1	0	1	0
o.t1	0	1	1	0
o.t2*t5	1	0	1	0
o.t6	1	0	1	0
p.t1	0	1	1	0
p.t2*t6	0	0	0	0

bs.t1	0	0	0	0
bs.t2*t6	1	0	1	0
j.t1	0	0	1	1
j.t2*t6	0	0	0	0

;

table isgucu(c,t,p) besoin man d oeuvre par period par culture par technique

	p1	p2	p3
b.t1	0.42	0.42	0.66
b.t2	3.20	0.40	0.91
b.t3	3.25	0.40	0.93
b.t4	3.28	0.40	0.95
b.t5	3.30	0.40	0.97
b.t6	3.31	0.40	0.99

o.t1	0.27	0.32	0.40
o.t2	3.19	0.33	0.60
o.t3	3.24	0.35	0.61
o.t4	3.27	0.36	0.63
o.t5	3.29	0.37	0.65
o.t6	3.30	0.38	0.67

p.t1	0.59	17.80	5.02
p.t2*t6	0	0	0

bs.t1	0	0	0
bs.t2	20.00	21.00	35.00
bs.t3	23.00	24.00	37.00
bs.t4	25.00	25.00	38.00
bs.t5	26.00	26.00	39.16
bs.t6	29.14	28.08	40.16

j.t1*t6	0	0	0
---------	---	---	---

Parameter prix(c) prix TL par culture par kg

/	
b	1260
o	1008
bs	325
p	2000
j	0
/	

TARIF(IT) differents niveaux du prix de l eau

/	
it1	0
it2	44
it3	77
it4	78
it5	94
it6	95
it7	192
it8	193
it9	249
it10	250
it11	275
it12	276

it13 332
it14 333
it15 624
it16 625
it17 1170
it18 1383
it19 1384
it20 1692
it21 1693
it22 1934
it23 1935
it24 2681
it25 2682

/

;

SCALARS

PN prix azote TL /2327/
EFD efficacite technique distribution de l eau /0.50/
deau disponibilite de l eau /12000/
;

Variables

x(c,t) superficie par culture et technique de irrigation
y(cg) man douevre saisonnier
h(a)
sam(s)
eau eau utilise dans l exploitation
NU azot utilise dand l exploitation
Z profit de l exploitation
te prix de l eau
costwater cout de l eau
benefit benefice social
impcost cout d implimentation
;

Positive variables

costwater, te, x, y, h, sam, eau, nu;
x.up('p',t)=10;

Equations

profit fonction objectif
equeau equation pour mesure l eau total utilise
eazot equation pour mesure l azote total utilise
ceau contraint d eau .
cons1(il) land contrainte de terre
cons2(p) contrainte de man d oeuvre
cons3(bat) contrainte de batiment
cons4 contrainte de paille
cons5 contrainte de foin
cons6 contrainte de fourrager total
rot1 contrainte de rotation1
rot2 contrainte de rotation2
rot3 contrainte de rotation3

```

rot4  contrainte de rotation4
mc_su  cout marginal de l eau
sumal  cout totale de l eau
socben benefice social
implem cout d implementation
;

profit..sum((c,t),x(c,t)*r(c,t)*prix(c)-couts(c,t)*x(c,t))-te*eau-pn*nu
        -sum(cg,y(cg)*f(cg))+sum(a,h(a)*fa(a))-sum(s,fsam(s)*sam(s))=e=z;

socben..te*eau+z-costwater-impcost=e=benefit;

implem..te*eau*0.15=e=impcost;

mc_su..950.878+0.0005398*eau=e=te;

sumal..950.878*eau+0.0005398*(eau*eau)/2=e=costwater;

rot1..sum((c,t)$tt(t),x('o',t))=e=1*sum((c,t)$tt(t),x('bs',t));
rot2..sum((c,t)$tt(t),x('b',t))=e=1*sum((c,t)$tt(t),x('bs',t));
rot3..sum((c,t)$ttt(t),x('o',t))=e=sum((c,t)$ttt(t),x('p',t));
rot4..sum((c,t)$ttt(t),x('b',t))=e=1*sum((c,t)$ttt(t),x('j',t));

eqeau..sum((c,t),x(c,t)*e(c,t))=e=eau;

eazot..sum((c,t),x(c,t)*azot(c,t))=e=NU;

ceau..sum((c,t),x(c,t)*e(c,t))=l=deau*efd;

cons1(il)..sum((c,t),b(c,t,il)*x(c,t))=l=rli(il);

cons2(p)..sum((c,t),isgucu(c,t,p)*x(c,t))-sum(cg,y(cg)*m(cg,p))
        +sum(a,h(a)*hm(a,p))=l=dm(p);

cons3(bat)..sum(a,hbm(bat,a)*h(a))=l=dbat(bat) ;

cons4..sum((c,t),x(c,t)*paille(c,t))-sum(s,sam(s)*ksam(s))=g=0;

cons5..sum(a,h(a)*bakot(a))-sum(s,kkot(s)*sam(s)*samnd(s))=l=0;

cons6..sum(a,h(a)*batoy(a))-sum(s,sam(s)*samnd(s))=l=0;

model AYSEGUL /all/;

solve AYSEGUL using nlp maximizing z ;

```

E. MODELE PAR REGION POUR L'ANALYSE DE BENEFICE SOCIAL

```

*****
*                               MODELE DE TARIFICATION PAR REGION NON LINEAIRE                               *
*****

```

OPTION LIMROW = 0

OPTION LIMCOL = 0

sets

C cultures /b,o,p,bs,j/

A animals /vachel, vache2, agneau/

CG man oeuvre loue saisonier /iskil, iski2, iski3/

BAT batiment /agil, ahir/

S /samyap, samal, kuruotal/

T techniques niveaux de irrigation /t1*t6/

IT iterations pour different niveaux de prix /it1*it5/

IL terre /iland, niland, tland, jacher/

P periods /p1*p3/

tt(t) activites irrigue /t2*t6/

ttt(t) activites non irrigue /t1/

;

Parameters

RLI(il) disponibilite de terre /iland 12, niland 73, tland 138, jacher 53/

DM(p) disponibilite de man oeuvre /p1 1239, p2 2263, p3 1814/

DBAT(bat) disponibilite de batiments /agil 47, ahir 61/

F(cg) /iskil 3750, iski2 3750, iski3 3750/

FA(a) /vachel 3031770, vache2 3847556, agneau 268002/

FSAM(s) /samyap 43742, samal 300000, kuruotal 400000/

KSAM(s) /samyap 1000, samal 0, kuruotal 0/

KKOT(s) /samyap 0, samal 0, kuruotal 1/

bakot(a) besoin des animaux kuruot ND /vachel 500, vache2 550, agneau 0/

batoy(a) besoin des animaux toplam yem ND /vachel 600, vache2 1245, agneau 80/

samnd(s) /samyap 175, samal 175, kuruotal 311/

R(c,t) rendement en kg par dekar

/

p.t1	140
j.t1	0
b.t1	220
b.t2	270
b.t3	320
b.t4	340
b.t5	360
b.t6	370
o.t1	220
o.t2	270
o.t3	320
o.t4	340
o.t5	360
o.t6	370
bs.t2	3209
bs.t3	3641
bs.t4	4977
bs.t5	5400
bs.t6	5812

/

Saman(c,t)

/

p.t1	140
p.t2*t6	0
j.t1*t6	0
b.t1	220
b.t2	270
b.t3	320
b.t4	340
b.t5	360
b.t6	370
o.t1	220
o.t2	270
o.t3	320
o.t4	340
o.t5	360
o.t6	370
bs.t1*t6	0

/

E(c,t) eau utilise mm

/

p.t1*t6	0
j.t1*t6	0
b.t1	0
b.t2	90
b.t3	130
b.t4	210
b.t5	320
b.t6	450
o.t1	0
o.t2	90
o.t3	130
o.t4	210
o.t5	320
o.t6	450

bs.t1 0
bs.t2 285
bs.t3 355
bs.t4 495
bs.t5 565
bs.t6 775

/

couts(c,t) couts par dekar TL

/

p.t1 56140
p.t2*t6 0
j.t1*t6 0
b.t1 91437
b.t2 97571
b.t3 98881
b.t4 99903
b.t5 100072
b.t6 101555
o.t1 86159
o.t2 94746
o.t3 95777
o.t4 96326
o.t5 97656
o.t6 98914
bs.t1 0
bs.t2 228767
bs.t3 230834
bs.t4 232137
bs.t5 234208
bs.t6 236937

/

azot(c,t) consommation d azote en kg par da

/

b.t1 9
b.t2*t5 11.8
b.t6 11.8
o.t1 7
o.t2*t5 14
o.t6 14
p.t1*t6 0
bs.t1 30
bs.t2*t6 0
j.t1*t6 0

/

Table m(cg,p)

	p1	p2	p3
iski1	1	0	0
iski2	0	1	0
iski3	0	0	1

;

Table hm(a,p)

	p1	p2	p3
vache1	59.68	72.25	71.44
vache2	59.68	72.25	71.44
agneau	5.24	6.89	6.54

;

Table hbm(bat, a)

	vache1	vache2	agneau
ahir	11.98	13	
agil			1.77

;

Table b(c,t,il) irrigue ou non irrigue

	iland	niland	tland	jacher
b.t1	0	1	1	0
b.t2*t5	1	0	1	0
b.t6	1	0	1	0
o.t1	0	1	1	0
o.t2*t5	1	0	1	0
o.t6	1	0	1	0
p.t1	0	1	1	0
p.t2*t6	0	0	0	0
bs.t1	0	0	0	0
bs.t2*t6	1	0	1	0
j.t1	0	0	1	1
j.t2*t6	0	0	0	0

;

Table isgucu(c,t,p)

	p1	p2	p3
b.t1	0.42	0.42	0.66
b.t2	3.20	0.40	0.91
b.t3	3.25	0.40	0.93
b.t4	3.28	0.40	0.95
b.t5	3.30	0.40	0.97
b.t6	3.31	0.40	0.99
o.t1	0.27	0.32	0.40
o.t2	3.19	0.33	0.60
o.t3	3.24	0.35	0.61
o.t4	3.27	0.36	0.63
o.t5	3.29	0.37	0.65
o.t6	3.30	0.38	0.67
p.t1	0.59	17.80	5.02
p.t2*t6	0	0	0
bs.t1	0	0	0
bs.t2	20.00	21.00	35.00
bs.t3	23.00	24.00	37.00
bs.t4	25.00	25.00	38.00
bs.t5	26.00	26.00	39.16
bs.t6	29.14	28.08	40.16
j.t1*t6	0	0	0

Parameter prix(c) prix TL par culture par kg

/
b 1260
o 1008
bs 325
p 2000
j 0

/

parameter te(c,t)

/b.t2*t6 9750
o.t2*t6 9750
bs.t2*t6 21250 /

SCALARS

PN prix azote TL /2327/
DEAU disponibilite de l eau /12000/
EFD efficacite technique de l irrigation /0.50/

;

Variables

x(c,t) superficie par culture et technique de irrigation
y(cg) man douevre saisonnier
h(a)
sam(s)
eau eau utilise dans l exploitation
NU azot utilise dand l exploitation
Z profit de l exploitation
WC

costwater
benefit

;

Positive variables

x,y,h,sam,eau,nu;
x.up('p',t)=10;

Equations

profit fonction objectif
equeau equation pour mesure l eau total utilise
eazot equation pour mesure l azote total utilise
ceau
cons1(il) land constraint
cons2(p) labor constraint
cons3(bat) batiment constraint
cons4 contrainte de paille

```

cons5 contrainte de foin
cons6 contrainte de fourrager total
watercost
rot1
rot2
rot3
rot4
sumal
socben

```

```
;
```

```

profit..sum((c,t),x(c,t)*r(c,t)*prix(c)-couts(c,t)*x(c,t))
        -sum((c,t)$tt(t),te(c,t)*x(c,t))-pn*nu
        -sum(cg,y(cg)*f(cg))+sum(a,h(a)*fa(a))
        -sum(s,fsam(s)*sam(s))=e=Z;

socben..sum((c,t)$tt(t),te(c,t)*x(c,t))+z-costwater=e=benefit;

sumal..950.878*eau+0.0005398*(eau*eau)/2=e=costwater;

watercost..sum((c,t)$tt(t),te(c,t)*x(c,t))=e=wc;

rot1..sum((c,t)$tt(t),x('o',t))=e=l*sum((c,t)$tt(t),x('bs',t));
rot2..sum((c,t)$tt(t),x('b',t))=e=l*sum((c,t)$tt(t),x('bs',t));
rot3..sum((c,t)$ttt(t),x('o',t))=e=sum((c,t)$ttt(t),x('p',t));
rot4..sum((c,t)$ttt(t),x('b',t))=e=l*sum((c,t)$ttt(t),x('j',t));

eqeau..sum((c,t),x(c,t)*e(c,t))=e=eau;

eazot..sum((c,t),x(c,t)*azot(c,t))=e=NU;

ceau..sum((c,t),x(c,t)*e(c,t))=l=deau*efd;

cons1(il)..sum((c,t),b(c,t,il)*x(c,t))=l=rli(il);

cons2(p)..sum((c,t),isgucu(c,t,p)*x(c,t))-sum(cg,y(cg)*m(cg,p))
        +sum(a,h(a)*hm(a,p))=l=dm(p);

cons3(bat)..sum(a,hbm(bat,a)*h(a))=l=dbat(bat) ;

cons4..sum((c,t),x(c,t)*saman(c,t))-sum(s,sam(s)*ksam(s))=g=0;

cons5..sum(a,h(a)*bakot(a))-sum(s,kkot(s)*sam(s)*samnd(s))=l=0;

cons6..sum(a,h(a)*batoy(a))-sum(s,sam(s)*samnd(s))=l=0;

model AYSEGUL /all/;

solve AYSEGUL using nlp maximizing z;

```

ANNEX 2 – TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX

FIGURES

Figure 1. Consommation optimale et la "charge morte" si le prix d'eau est inférieur au coût marginal.	10
Figure 2. Surplus du consommateur.....	11
Figure 3. Surplus du consommateur et surplus du producteur à l'équilibre.	12
Figure 4. La Turquie	16
Figure 5. La Turquie et le Plateau d'Anatolie	18
Figure 6. Konya et KARAPINAR	20
Figure 7. Menu de Phénologie (1)	35
Figure 8. Menu de Phénologie (2)	38
Figure 9. Menu de Phénologie (3)	41
Figure 10. Menu de Phénologie (4).....	43
Figure 11. Validation du modèle CropSyst.....	46
Figure 12. Rendement et niveau d'irrigation pour le blé irrigué.	47
Figure 13. Rendement et niveau d'irrigation pour l'orge irrigué.	48
Figure 14. Rendement et niveau d'irrigation pour la betterave à sucre.	48
Figure 15. Composition de la production du blé.	60
Figure 16. Composition de la production de la betterave à sucre.	60
Figure 17. Composition de la production de l'orge.	61
Figure 18. Demande d'eau (Tarification coût marginal)	74

TABLEAUX

Tableau 1. Comparaison de différentes méthodes de tarification de l'eau.	15
Tableau 2. Ressources de la Turquie.....	19
Tableau 3. Nombre des équipements agricoles dans la région de Karapinar	21
Tableau 4. Distribution des terres dans la région de Karapinar	21
Tableau 5. Postes de charges variables des exploitations.	22
Tableau 6. Quantification des équipements agricoles disponibles sur les exploitations enquêtées.....	22
Tableau 7. Dimension des bâtiments sur les exploitations enquêtées (m ²)	22
Tableau 8. Distribution du sol de l'exploitation	23
Tableau 9. Capacité de la main-d'œuvre selon les superficies des exploitations.	23
Tableau 10. Besoins en main-d'œuvre de chaque culture selon les différentes périodes (heure/da).....	23
Tableau 11. Besoins en main-d'œuvre pour l'activité animale selon les différentes périodes (heure/da).....	24
Tableau 12. Besoin en aliment, l'écurie et la bergerie de la production animale.	24

Tableau 13. Montant de semence et engrais dans la production végétale.....	25
Tableau 14. Les dates de l'irrigation pour la betterave à sucre.....	44
Tableau 15. Les dates de l'irrigation pour le blé irrigué.....	44
Tableau 16. Les dates de l'irrigation pour l'orge irrigué.....	45
Tableau 17. Les rendements réels et simulés	45
Tableau 18. Résultats des simulations (Tarification coût marginal)	57
Tableau 19. Composition de la production végétale pour les différents niveaux de prix (Tarification coût marginal)	59
Tableau 20. Résultats des simulations (Tarification par région).....	62
Tableau 21. Résultats des simulations (Tarification binôme)	64
Tableau 22. Composition de la production végétale pour les différents niveaux de prix (Tarification binôme) ...	66
Tableau 23. Comparaison de tarification volumétrique (tarification coût marginal) et par région.	69
Tableau 24. Composition de la production végétale pour deux type de tarification.	71
Tableau 25. Estimation de demande d'eau.	75

ANNEX 3 – RÉSUMÉ DES DONNÉES CLIMATIQUES POUR LE MODÈLE BIOPHYSIQUE

Nom de la Région : KONYA (Karapinar)

Latitude : 32,30 E

Longitude : 37,52 N

Altitude : 1028 m

Tableau 1

	Mois												Annuelle
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Température Moyenne (°C)	-0.1	1.5	5.1	11.0	15.8	19.7	23.1	23	17.9	12.4	6.7	2	11.5
Température Min. Moyenne (°C)	-5.4	-4.2	-1.6	3.6	7.3	11.3	14.2	13.2	8.8	4.3	-0.9	-3.7	3.90
Température Max. Moyenne (°C)	3.4	6	11.5	17.3	21.9	26.3	29.3	29.1	25.8	19.5	11.5	5.4	17.3
Humidité relative; %	77	71	64	58	57	50	44	45	50	62	71	78	
Radiation Solaire Moyenne; heures/jour	3.0	4.3	5.9	6.9	8.9	11.1	12.1	11.7	9.9	6.7	4.9	3.0	7.4
Vitesse du vent; m/s	2.2	2.7	2.9	3	2.4	2.4	2.8	2.4	1.9	2.8	1.8	2.1	2.5
Précipitation; mm/mois	37	24	25	39	45	23	7	4	6	33	34	34	311
Température Moyenne du Sol (°C) - (10 cm)	1,9	2,5	6,8	12,3	18	22,9	26,8	26,9	21,4	14,2	8	3,7	13,8
Température Moyenne du Sol (°C) - (20 cm)	2,5	2,9	6,5	11,9	17,5	22,2	25,4	26,1	21,4	14,9	8,8	4,3	13,7
Nombre de jours de neige	3,2	2,8	2,2	0,3	-	-	-	-	-	-	0,6	1,8	11
Pression Régional (mb)	898,8	897,6	897,5	897,4	898,1	897,9	896,1	897	899,6	901,8	901,8	900,4	898,4
Les données du Climat calculé													
ETo-Penman; mm/mois	27	40	75	110	140	169	201	178	123	86	39	26	
ETo-Penman-Monteith; mm/mois	31	43	80	115	148	180	218	196	139	102	47	31	
ETo-FAO-Mod.Penman; mm/mois	38	55	101	145	187	224	262	233	165	118	57	38	

Source : Institut de Météorologie de l'Etat

GLOSSAIRE DES TERMES DE LA SCIENCE DES SOL¹

A

argile (ang., clay) (i) Granulométrie : fraction granulométrique formée de particules de diamètre équivalent de moins de 0,002 mm ou d'autres dimensions (géologues et ingénieurs). (ii) Minéralogie : matériau naturel, terreux, microgrenu, qui devient plastique par addition d'une faible quantité d'eau. (iii) Pédologie : classe texturale. (iv) Fraction granulométrique : matériau généralement formé surtout de minéraux argileux mais aussi habituellement d'oxydes libres amorphes et de minéraux primaires.

argile fine (ang., fine clay) Fraction argileuse d'un calibre spécifique de moins de 2 µm. généralement de moins de 0,2 ou 0,08 µm.

argile limoneuse (ang., silty clay) Classe de texture du sol.

argile lourde (ang., heavy clay) Classe de texture.

argile sableuse (ang., sandy clay) Classe de texture du sol.

B

besoin en engrais (ang., fertilizer requirement) Quantité de certains éléments nutritifs dont les plantes ont besoin en supplément de ceux que fournit le sol, afin d'accélérer la croissance des plantes jusqu'à un optimum établi.

C

capacité au champ (ang., field capacity) Pourcentage de l'eau demeurée dans le sol au bout de deux ou trois jours après que le sol a été saturé et que le drainage naturel s'est pratiquement terminé. Peut se calculer au poids ou au volume.

capacité d'échange cationique (ang., cation exchange capacity) Quantité totale de cations échangeables que le sol peut adsorber. Se dit parfois : capacité totale d'échange : pouvoir d'échange

¹ Canadian Soil Information System (CanSIS), <http://res.agr.ca/CANSIS/GLOSSARY/index.html>.

de cations : ou capacité d'adsorption de cations. Elle s'exprime en milliéquivalents par 100 g de sol ou de toute autre substance adsorbante, comme l'argile.

capacité d'échange cationique potentielle (ang., potential cation exchange capacity) Nombre total de cations qu'un sol peut adsorber à un pH donné.

capacité maximale de rétention d'eau maximum (ang., water-holding capacity) Teneur moyenne en humidité d'un échantillon de sol perturbé, de 1 cm de hauteur, en équilibre hydraulique avec l'eau qui le baigne par sa base.

classification des sols (ang., soil classification) Classification systématique des sols en diverses catégories, suivant leurs caractéristiques. Les grandes catégories regroupent les sols ayant des caractéristiques générales semblables, tandis que les catégories inférieures sont établies à partir d'une différenciation plus approfondie de propriétés particulières.

cultiver le sol (ang., to till) Labourer et préparer le sol à l'ensemencement; semer ou travailler le sol.

D

dégradation (ang., degradation) Évolution d'un sol vers un état plus fortement lessivé et altéré, généralement accompagnée de transformations morphologiques, comme la genèse d'un horizon A (Ae) éluvié décoloré.

dénitrification (ang., denitrification) Perte d'azote sous forme gazeuse sous l'effet de mécanismes biologiques ou chimiques; ce terme exclut la volatilisation de l'ammoniac.

densité apparente (ang., soil bulk density) Masse de sol sec par unité de volume brut. Le volume brut est calculé avant séchage du sol par étuvage à 105°C jusqu'au poids constant.

densité particulaire (ang., particle density) Mesure de la masse par volume unitaire de particules du sol. On l'exprime généralement en grammes par centimètre cube.

E

eau capillaire (ang., capillary water) L'eau retenue dans les micropores d'un sol, généralement par une tension supérieure à 60 cm (24 po) d'eau.

eau disponible (ang., available water) Fraction de l'eau du sol qui peut être absorbée facilement par les racines des plantes. Pour la plupart des chercheurs, ce terme désigne l'eau retenue par le sol jusqu'à une pression maximale d'environ 15 bars.

eau hygroscopique (ang., hygroscopic water) Eau adsorbée par un sol sec dans une atmosphère d'une humidité relative élevée: eau perdue par un sol séché à l'air lorsqu'il est chauffé à 105°C; eau retenue par le sol lorsque ce dernier est en équilibre hygroscopique avec une atmosphère d'une humidité relative déterminée à une température déterminée, généralement de 98% à 25°C.

eau libre, eau de gravité (ang., gravitational water) Eau qui pénètre dans le sol, y circule et s'en échappe sous l'effet de la gravité.

eau souterraine (ang., groundwater) Eau qui s'infiltré ou se maintient dans le sol et les strates sous-jacentes. Cette eau libre peut s'écouler par gravité.

échange cationique (ang., cation exchange) Échange de cations entre une solution et la surface de toute substance surfactive, comme les colloïdes de l'argile et les colloïdes organiques.

efficacité d'irrigation, rendement de l'irrigation (ang., irrigation efficiency) Rapport de la quantité d'eau réellement absorbée par les plantes cultivées sur une surface irriguée à la quantité d'eau dérivée de la source d'alimentation pour l'irrigation de cette même surface.

engrais (ang., fertilizer) Tout matériau organique ou minéral, d'origine naturelle ou synthétique, qu'on ajoute à un sol pour compenser les carences de certains éléments essentiels à la croissance des plantes.

érosion (ang., erosion) (i) Usure du relief terrestre par les eaux courantes, le vent, la glace ou d'autres agents géologiques, y compris des processus comme la reptation gravitationnelle. (ii) Décollement et transport du sol ou de la roche par l'eau, le vent, la glace ou la gravité. Les termes suivants décrivent les différents types d'érosion hydrique:

érosion accélérée (ang., accelerated erosion) Érosion beaucoup plus rapide que l'érosion géologique normale, due surtout aux activités de l'homme et des animaux.

érosion en nappe (ang., sheet erosion) Enlèvement d'une couche plus ou moins uniforme de sol de surface par l'eau de ruissellement.

érosion en ravins (ang., gully erosion) Processus d'érosion dans lequel l'eau s'accumule dans des sillons et, dans des périodes très courtes, emporte le sol des sillons et creuse des ravins de profondeurs variables, allant d'environ 0,3 m (1 pi) à 30 m (100 pi).

érosion en rigoles (ang., rill erosion) Formation de nombreux petits sillons de quelques centimètres de profondeur; cette forme d'érosion se rencontre surtout sur les sols cultivés depuis peu.

érosion géologique (ang., geological erosion) Érosion normale ou naturelle, due à des processus géologiques étalés sur de longues périodes géologiques et dont le résultat est une usure des montagnes, la dissection des plaines et la construction de plaines d'inondation et de plaines littorales. Synonyme d'érosion naturelle.

érosion naturelle (ang., natural erosion) Usure du relief terrestre par l'action de l'eau, de la glace ou d'autres agents naturels, dans des conditions écologiques, comme le climat et la végétation, naturelles, non modifiées par l'homme. Synonyme d'érosion géologique.

érosion normale (ang., normal erosion) Érosion progressive et lente des terres utilisées par l'homme; elle n'excède que de peu l'érosion naturelle.

érosion par éclaboussement (ang., splash erosion) Rebondissement de petites particules du sol provoqué par le choc des gouttes de pluie sur des sols très humides. Ces particules peuvent ensuite être transportées par ruissellement en surface.

évapotranspiration (ang., evapotranspiration) Pertes d'eau sur une surface donnée et en un temps donné, par évaporation à la surface du sol et par transpiration des plantes. L'évapotranspiration potentielle est la transpiration maximale, dans des conditions atmosphériques données, sur un sol portant une végétation basse bien pourvue d'eau et ne recouvrant pas entièrement le sol.

évapotranspiration potentielle (ang., potential evapotranspiration) Voir évapotranspiration.

F

fixation (ang., fixation) Processus dans un sol par lequel certains éléments chimiques essentiels à la croissance des plantes sont convertis d'un état soluble ou échangeable à un état beaucoup moins soluble ou non échangeable, par exemple la fixation du phosphate.

fixation d'ammonium (ang., ammonium fixation) Absorption ou adsorption d'ions d'ammonium par les fractions minérales ou organiques du sol de telle sorte que les ions sont relativement insolubles dans l'eau et relativement non échangeables suivant les méthodes habituelles d'échange cationique.

fixation de l'azote (ang., nitrogen fixation) Conversion de l'azote élémentaire (N₂) en combinaisons organiques ou dans des formes directement utilisables dans les processus biologiques.

fractions du sol (ang., soil separates) Particules minérales, de moins de 2.0 mm de diamètre équivalent, dont la taille s'échelonne dans des limites établies. Au Canada et aux États-Unis, les pédologues reconnaissent les noms et limites de taille des fractions du sol comme suit: sable très grossier, de 2.0 à 1,0 mm; sable grossier, de 1.0 à 0,5 mm; sable moyen, de 0,5 à 0,25 mm; sable fin, de 0,25 à 0,10 mm; sable très fin, de 0,10 à 0,05 mm; limon, de 0,05 à 0,002 mm; et argile, moins de 0,002 mm. Les fractions reconnues par la Société internationale de pédologie sont: (I) sable grossier, de 2,0 à 0,2 mm; (II) sable fin, de 0,2 à 0,02 mm; (III) limon, de 0,02 à 0,002 mm; (IV) argile, moins de 0,002 mm.

fumier, fumure (ang., manure) Excréments d'animaux, mélangés ou non à des litières et ayant atteint divers stades de décomposition. Dans certains pays, le terme «fumier» s'applique à tout type d'engrais.

G

gestion du sol (ang., soil management) (i) Ensemble des façons culturales, des techniques de culture, de fumure et de chaulage, de même que des autres traitements effectués sur un sol en vue de la production de végétaux. (ii) Partie de la science des sols ayant pour objet l'étude de l'exploitation des sols.

I

infiltration (ang., infiltration) Pénétration de l'eau dans le sol suivant un mouvement descendant.

irrigation (méthodes d'-) (ang., Irrigation methods) Système ou mode de distribution de l'eau d'irrigation sur une surface. Voici quelques systèmes et modes d'irrigation:

- **par aspersion (ang., sprinkler)** L'eau est pulvérisée sur le terrain par un système de rampes sous pression et de buses.

- **par bassin de retenue (ang., check-basin)** L'eau est déversée rapidement sur des parcelles presque de niveau, entourées de digues. Le bassin est une petite parcelle de terre.
- **par calants. à la planche (ang., border-strip)** L'eau est déversée à partir du côté supérieur d'une planche limitée par des diguettes en terre destinées à retenir l'eau sur la planche.
- **par infiltration, par billons (ang., corrugation)** L'eau est amenée dans de petites rigoles rapprochées, dans les cultures céréalières et fourragères, de façon à limiter l'écoulement de l'eau d'irrigation à une seule direction.
- **par inondation (ang., flooding)** L'eau, amenée dans de petits fossés, submerge la terre.
- **par rigoles (ang., furrow)** L'eau est amenée dans des sillons creusés par les instruments aratoires entre les lignes de culture.
- **par submersion (ang., wild flooding)** L'eau est déversée des points les plus élevés d'un champ, sans régler sa distribution.
- **souterraine (ang., subirrigation)** L'eau est amenée dans des fossés ouverts ou des canalisations jusqu'à ce que la nappe phréatique soit assez remontée pour humecter le sol.

L

lessivage (ang., leaching) Évacuation des matières dissoutes du sol.

loam (ang., loam) Classe de texture des sols.

loam argileux (ang., clay loam) Matériau contenant de 27 à 40% d'argile et de 20 à 45% de sable.

loam limoneux (ang., silt loam) Classe de texture du sol.

loam limono-argileux (ang., silty clay loam) Classe de texture du sol.

loam sableux (ang., sandy loam) Classe de texture du sol.

loam sableux fin (ang., fine sandy loam) Classe de texture du sol.

loam sableux grossier (ang., coarse sandy loam) Classe de texture du sol.

loam sableux très fin (ang., very fine sandy loam) Classe de texture du sol.

loam sablo-argileux (ang., sandy clay loam) Classe de texture du sol.

loameux (ang., loamy) Texture et propriétés des sols se situant entre les textures fine et grossière. Cela comprend toutes les classes de texture dont le nom inclut le mot «loam» ou «loameux», tels que le loam argileux ou le sable loameux.

M

matériau résiduel (ang., residual material) Substances minérales non consolidées et partiellement altérées, issues de la désintégration sur place de la roche consolidée.

matière organique du sol (ang., soil organic matter) Fraction organique du sol; comprend les résidus de plantes et d'animaux à diverses phases de décomposition, ainsi que les cellules et les tissus des organismes du sol et les substances qu'ils ont synthétisées. Cette fraction est généralement déterminée sur l'échantillon de sol passé à travers un tamis à mailles de 2 mm.

minéralisation (ang., mineralization) Passage d'un élément de l'état organique à l'état inorganique sous l'action de la décomposition microbienne.

minéralogie du sol (ang., soil mineralogy) Secteur spécialisé de la science des sols ayant pour objet l'étude des matériaux inorganiques homogènes rencontrés dans l'écorce terrestre à la profondeur où prennent lieu les processus d'altération ou de sédimentation.

N

nitrification (ang., nitrification) Oxydation biochimique de l'ammonium en nitrate.

P

percolation (de l'eau du sol) (ang., percolation (of soil water)) Mouvement descendant de l'eau dans le sol, et spécifiquement, l'écoulement descendant de l'eau dans un sol, saturé ou presque saturé, à des gradients hydrauliques d'au plus 1,0.

pesticides (ang., pesticides) Produits chimiques qui détruisent les organismes nuisibles à l'homme ou aux cultures et aux animaux qui lui fournissent nourriture, vêtement et abri. Ces organismes comprennent les insectes, les acariens, les micro-organismes, les mauvaises herbes et les rongeurs. Les pesticides comprennent les insecticides, les fongicides, les herbicides, etc.

pH du sol (ang., soil pH) Logarithme négatif de l'activité des ions d'hydrogène d'un sol. Degré d'acidité ou d'alcalinité, mesuré au moyen d'une électrode en verre, d'une électrode à quinhydrone ou de tout autre électrode ou Indicateur approprié, d'un sol ayant une teneur en eau ou un rapport sol / eau déterminé; s'exprime en unités de l'échelle des pH.

point de flétrissement (ang., wilting point, permanent wilting point) Teneur en eau d'un sol à laquelle les plantes (spécialement les tournesols) se fanent et ne peuvent récupérer leur turgidité dans un endroit sombre et humide. On estime habituellement le point de flétrissement en mesurant le pourcentage d'eau dans le sol à 15 bars.

précipitation effective (ang., effective precipitation) Fraction des précipitations totales qui devient accessible aux plantes.

profil de sol (ang., soil profile) Coupe verticale d'un sol à travers tous ses horizons et s'étendant dans le matériau originel.

productivité du sol (ang., soil productivity) Aptitude d'un sol à produire, dans son milieu naturel, une plante ou une série de plantes spécifiées, suivant une méthode spécifiée d'exploitation. Il est nécessaire de spécifier ces limites, car aucun sol ne peut porter toutes les cultures avec une égale productivité, et une méthode unique d'exploitation ne peut donner les mêmes résultats sur tous les sols. Productivité signifie l'aptitude d'un sol à produire des cultures; elle s'exprime en termes de rendement.

propriétés physiques du sol (ang., physical properties of soil) Caractéristiques, processus ou réactions d'un sol provoqués par des forces physiques, et qui sont décrites ou qui s'expriment en termes ou en équations physiques. Il est parfois difficile de distinguer les propriétés physiques des propriétés chimiques: d'où l'emploi du terme «physico-chimique». Des exemples de propriétés physiques sont la densité apparente, la capacité de rétention d'eau, la conductivité hydraulique, la porosité et la répartition volumétrique des pores.

R

ruissellement (ang., runoff) Portion de la précipitation totale sur une région, qui se déverse par canaux d'écoulement. Les ruissellements de surface ne pénètrent pas dans le sol. L'eau d'écoulement ou de suintement souterrains pénètre dans le sol avant d'atteindre les cours d'eau.

S

sable (ang., sand) (i) Particule du sol dont le diamètre peut aller de 0,05 à 2.0 mm. (ii) Une de cinq fractions du sol: sable très grossier, sable grossier, sable moyen, sable fin et sable très fin. Voir aussi fractions du sol. (iii) Classe de texture du sol. Voir aussi texture du sol.

sable fin (ang., fine sand) (i) Fraction du sol. Voir aussi fractions du sol.
(ii) Classe de la texture des sols. Voir aussi texture du sol.

sable fin loameux (ang., loamy fine sand) Voir texture du sol.

sable grossier (ang., coarse sand) Voir fractions du sol et texture du sol.

sable grossier loameux (ang., loamy coarse sand) Voir texture du sol.

sable loameux (ang., loamy sand) Voir texture du sol.

sable très fin (ang., very fine sand) Voir fractions du sol et texture du sol.

sable très fin loameux (ang., loamy very fine sand) Voir texture du sol.

sable très grossier (ang., very coarse sand) Voir fractions du sol et texture du sol.

sableux (ang., sandy) Contenant une grande quantité de sable. Peut s'appliquer à n'importe laquelle des classes du sol qui contiennent un haut pourcentage de sable. Voir aussi classe de sols et texture du sol.

salinisation (ang., salinization) Processus d'accumulation des sels dans le sol.

salinité du sol (ang., soil salinity) Quantité de sels solubles dans un sol, exprimée en pourcentage, en parties par million, ou en d'autres proportions.

sous-soleuse (ang., subsoil chisel) Instrument aratoire muni d'un ou de plusieurs étançons de type cultivateur auxquels sont fixées des lames résistantes servant à briser ou à ameublir les couches dures et compactes, généralement en sous-sol, à des profondeurs supérieures à la profondeur normale de labour. Voir aussi sous-solage.

stress (ang., stress) Force directionnelle exerçant une action dans un matériau

T

texture du sol (ang., soil texture) Proportions relatives des différentes fractions du sol telles que décrites dans les classes de texture du sol de la figure 1. Les noms des classes de texture peuvent être modifiés par l'addition d'adjectifs appropriés dans les cas où les fragments grossiers se présentent en quantités suffisamment importantes; par exemple, loam sableux pierreux de Gibraltar; loam limoneux, phase pierreuse, de Saint-Jovite. Pour d'autres modifications, voir fragments grossiers. Le sable, le sable loameux et le loam sableux sont subdivisés davantage selon les proportions des différentes fractions du sable en présence. Les limites de différentes classes et sous-classes sont:

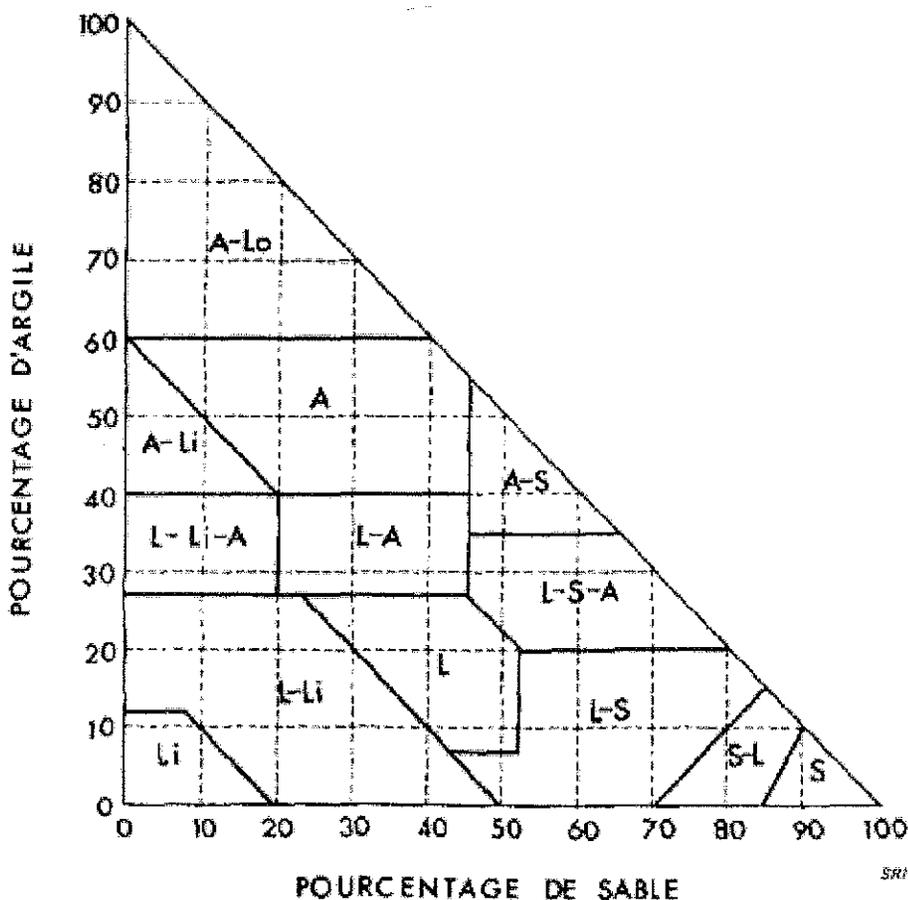


Figure 1. Classes texturales du sol. Pourcentages d'argile et de sable dans les principales classes texturales du sol; dans chaque classe, le résidu est constitué de limon.

sable (ang., sand) Matériau du sol contenant 85% et plus de sable; le pourcentage du limon plus 1,5 fois le pourcentage d'argile n'excède pas 15.

Sable grossier (ang., coarse sand) Contient 25% ou plus de sable très grossier et grossier, et moins de 50% de toute autre catégorie de sable.

sable (ang., sand) Contient 25% ou plus de sable très grossier, grossier et moyen, et moins de 50% de sable fin ou très fin.

sable fin (ang., fine sand) Contient 50% ou plus de sable fin, moins de 25% de sable très grossier, grossier et moyen, et moins de 50% de sable très fin.

sable très fin (ang., very fine sand) Contient 50% ou plus de sable très fin.

sable loameux (ang., loamy sand) Matériau du sol contenant au plus 85 à 90% de sable et un pourcentage de limon, plus 1,5 fois le pourcentage d'argile égal ou supérieur à 15; à l'autre limite, ce matériau ne contient pas moins de 70 à 85% de sable, et le pourcentage de limon plus le double du pourcentage d'argile n'excède pas 30.

sable grossier loameux (ang., loamy coarse sand) Contient 25% ou plus de sable grossier et très grossier et moins de 50% de toute autre catégorie de sable.

sable loameux (ang., loamy sand) Contient 25% ou plus de sable très grossier, grossier et moyen, et moins de 50% de sable fin ou très fin.

sable fin loameux (ang., loamy fine sand) Contient 50% ou plus de sable fin ou moins de 25% de sable très grossier, grossier et moyen, et moins de 50% de sable très fin.

sable très fin loameux (ang., loamy very fine sand) Contient 50% ou plus de sable très fin.

loam sableux (ang., sandy loam) Matériau du sol contenant soit 20% ou moins d'argile, avec un pourcentage de limon plus deux fois celui de l'argile supérieur à 30 et 52% ou plus de sable, soit moins de 7% d'argile, moins de 50% de limon et entre 43 et 52% de sable.

loam sableux grossier (ang., coarse sandy loam) Contient 25% ou plus de sable grossier et très grossier et moins de 50% de toute autre catégorie de sable.

loam sableux (ang., sandy loam) Contient 30% ou plus de sable très grossier, grossier et moyen, mais moins de 25% de sable très grossier et moins de 30% de sable très fin ou fin.

loam sableux fin (ang., fine sandy loam) Contient 30% ou plus de sable fin et moins de 30% de sable très fin ou entre 15 et 30% de sable très grossier, grossier et moyen.

loam sableux très fin (ang., very fine sandy loam) Contient 30% ou plus de sable très fin, ou plus de 40% de sable fin et très fin dont au moins la moitié est du sable très fin, et moins de 15% de sable très grossier, grossier et moyen.

loam (ang., loam) Matériau du sol contenant de 7 à 27% d'argile, de 28 à 50% de limon et moins de 52% de sable

loam limoneux (ang., silt loam) Matériau du sol contenant 50% ou plus de limon et de 12 à 27% d'argile, ou bien 50 à 80% de limon et moins de 12% d'argile.

limon (ang., silt) Matériau du sol contenant 80% ou plus de limon et moins de 12% d'argile.

loam sablo-argileux (ang., sandy clay loam) Matériau du sol contenant de 20 à 35% d'argile, moins de 28% de limon et 45% ou plus de sable.

loam argileux (ang., clay loam) Matériau du sol contenant de 27 à 40% d'argile et de 20 à 45% de sable.

loam limono-argileux (ang., silty clay loam) Matériau du sol contenant de 27 à 40% d'argile et moins de 20% de sable.

argile sableuse (ang., sandy clay) Matériau du sol contenant 35% ou plus d'argile et 45% ou plus de sable.

argile limoneuse (ang., silty clay) Matériau du sol contenant 40% ou plus d'argile et 40% ou plus de limon.

argile (ang., clay) Matériau du sol contenant 40% ou plus d'argile, moins de 45% de sable et moins de 40% de limon.

argile lourde (ang., heavy clay) Matériau du sol contenant plus de 60% d'argile.

texture fine (ang., fine texture) Constituée en tout ou en partie de grandes quantités de fractions fines, surtout de limon et d'argile. Comprend toutes les classes de texture du loam argileux et de l'argile: loam argileux, loam sablo-argileux, loam limono-argileux, argile sableuse, argile limoneuse et argile. Se subdivise parfois en texture argileuse et en texture moyennement fine. Voir aussi texture du sol.

texture grossière (ang., coarse texture) Texture des sables, des sables loameux et des loams sableux, à l'exception des loams sableux très fins. Sol contenant de grandes quantités de matériaux de ces classes texturales. Voir aussi sable, sableux et texture modérément grossière.

texture modérément fine (ang., moderately fine texture) Texture formée surtout de particules de calibre moyen et renfermant ou non de faibles quantités de particules fines ou grossières. Dans la classification granulométrique des sols, elle comprend le loam argileux, le loam sablo-argileux et le loam limono-argileux. Voir aussi texture fine.

texture modérément grossière (ang., moderately coarse texture) Texture formée surtout d'éléments grossiers. Dans la classification granulométrique des sols, elle comprend tous les loams sableux à l'exception du loam sableux très fin. Voir aussi texture grossière.

texture moyenne (ang., medium texture) Texture intermédiaire entre la texture fine et la texture grossière des sols. Comprend les classes de texture suivantes: loam sableux très fin, loam, loam limoneux et limon.

travail du sol (ang., tillage) Labour et entretien du sol pour l'amélioration de ses propriétés agricoles.

BIBLIOGRAPHIE

1. Blanco, M., Sumpsi, J.M., Ortega, C., Garrido, A., Iglesias, E. (1998), "Water Pricing Policies, Public Decision Making and Farmer's Response: Implications for Water Policy", *Agricultural Economics*, 19 (1-2), pp. 193-202.
2. Blanco, M. (1999), *La Economía Del Agua: Analisis De Politicas De Modernizacion Y Mejora De Regadios En Espana*, Thesis Doctoral, Universidad Politecnica De Madrid, Madrid.
3. Blanco, M. (1996), *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 Castille-León*, Thèse Master of Science, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, Montpellier.
4. Boussard, J.M. (1988), *Economie de l'Agriculture*, Paris, Economica.
5. Boussemart, J.P., Flichman, G., Jacquet, F., Lefer, H.B. (1994), "L'évaluation micro-économique de la réforme de la PAC par un modèle bio-économique : une illustration sur la Beauce et la région de Toulouse", *Communication présentée dans les 11^{èmes} journées de Microéconomie Appliquée*, Marseille.
6. Bryant, K. J., Benson, V. W., Kiniry, J. R., Williams, J. R., and Lacewell, R. D. (1992), "Simulating Corn Yield Response to Irrigation Timings: Validation of the EPIC Model", *J. Prod. Agr.*, 5 (April-June 1992), pp. 237-42.
7. Bryant, K. J., Mjelde, J. W. (1993), "An Intraseasonal Dynamic Optimization Model to allocate Irrigation Water between Crops", *American Journal of Agricultural Economics*, 75, Issue 4, p. 1021.
8. Chapra, S.C., Boyer, J.M. and Runkel, R.L. (1993), "Advanced decision support systems for environmental simulation modeling." *The 20th Anniversary Conference on Water Management in the 90's*, Seattle, WA.

9. Chenery, H.B. (1949), "Engineering Production Function", *Quarterly Journal of Economics*, 63, pp 507-531.
10. Stockle, C.O., Martin, S.A. and Campbell, G.S. (1994) "CropSyst, a cropping systems simulation model: Water/nitrogen budgets and crop yield", *Agricultural Systems*, 46, pp.335-359.
11. Cole, G.W., Lyles, L., and Hagen, L.J. (1982), "A simulation model of daily wind erosion soil loss", *1982 ASAE Winter Meeting*, Paper No. 82-2575.
12. Cummings, R. G., Nercissiantz, V. (1992), "The Use of Water Pricing as a Means for Enhancing Water-Use Efficiency in Irrigation- Case Studies in Mexico and United States", *Natural Resources Journal*, Vol 32, Iss 4, pp 731-755.
13. Çakmak, E. (1997), "Water Resources in Turkey : Availability , Use , and Management", in D. D. Parker, Y. Tsur, *Decentralization and Coordination of Water Resource Management*, Kluwer Academics Publishers, Massachusetts, pp. 33-44.
14. Doorenbos, J. and Kassam, A.H. (1986), "Yield response to water", *Irrigation and Drainage Paper 33*, Food Agric. Org. United Nations, Rome.
15. Droesbeke, F., Hallin, M., Lefevre, CL. (1986), *Programmation Linéaire Par l'Exemple*, Paris, Ellipses.
16. Ertas, R. (1980), *Konya Ovasinda Bugdayin ve Seker Pancarinin Lizimetrede Saptanan Su tuketimleri*, Konya Topraksu Arastirma Enstitusu Mudurlugu Yayinlari, Konya.
17. Easter, K. W., Feder, G. (1994), *Water Institutions, Incentives and Markets*, Department of Agricultural and Applied Economics, University of Minnesota, Minnesota.
18. Faucheux, S., Noel, J.F., *Economie des ressources naturelles et de l'environnement*, Armand Collin, Paris.

19. Flichman, G.(1995), *Bio-Economic Models, Integrating Agronomic, Environmental and Economic Issues with Agricultural Use of Water*, CIHEAM, Montpellier.
20. Flichman, G. (1990), *International Comparisons of Efficiency in Agriculture*, OECD Development Center, No: 21, Paris.
21. Flichman, G., Garrido, A., Varela Ortega, C. (1994), "Agricultural policy and technical choice: a regional analysis of income variation, soil use and environmental effects under uncertainty and market imperfections", in *Environmental and land use issues: an economic perspective*. Séminaire de l'EAAE (European Association of Agricultural Economists), Zaragoza.
22. Fuentes, M.A. (1998), *Les effets de la réforme de la politique agricole commune (PAC) sur l'agriculture espagne : analyse du cas de la Catalogne*, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, Montpellier.
23. Gokcora, H. (1969), *Bitki Yatistirme ve Islahi*, Ankara Universitesi Ziraat fakultesi Yayinlari, Yayin No: 366, Ankara.
24. Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E., & Svendsen, H. (1991), "Simulation of nitroge dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model DAISY", *Fertilizer Research*, 27, pp. 245-259.
25. Hazell, P. B. R., & Norton, R. D. (1986), *Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture*, MacMillan Publishing Company, New York.
26. Kasnakoğlu, H., Ok, E. (1993), *Principles of Linear Programming*, Middle East Technical University, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Ankara.
27. Kaufmann, R.K., Snell, S.E. (1996), "A Biophysical Model of Corn Yield Integrating Climatic and Social Determinants", *American Journal of Agricultural Economics*, 78, pp. 1082-1091.

28. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (1988), *Türkiye 'de Üretilen Tarım Ürünlerinin Üretim Girdileri ve Maliyetleri Rehberi*, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Yayın no: 58, Rehber No: 10 Ankara.
29. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (1992), *Konya İli Arazi Varlığı*, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, İl Rapor No: 42, Ankara.
30. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (1991), *Konya ve Karaman İlleri Verimlilik Envanteri*, TOVEP Yayın no:60, Ankara.
31. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (1999), *Toprak ve Su Kaynakları Arastırma Yilligi 1998*, Yayın No:108, Ankara.
32. Law, A.M., and Kelton, W.D. (1991), *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw-Hill Inc., New York.
33. Louhichi, K. (1997), *Utilisation d'un modèle bio-économique pour analyser l'impact des politiques agri-environnementales : cas des techniques de conservation des eaux et du sol en Tunisie. Application à la ferme Sawaf*, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, Montpellier.
34. Ministère de l'Agriculture du Canada, Direction de la Recherche (1976), *Glossaire des Termes de la Science des Sols*, Publication 1459, Canada.
35. Plevne G. (1999), *Une Comparaison des Politiques Environnementales pour le Problème d'Erosion: Cas de Bey pazari (Turquie)*, Thèse Master of Science, IAMM, Montpellier.
36. Putman J., Dyke P. (1987), *The erosion productivity calculator as formula for resource conservation act appraisal*, US Department of Agricultural & Natural Resource Division (ERS), Texas.
37. Sharpley, A.N. and Williams, J.R. (1990), *EPIC(Erosion/Productivity Impact Calculator) 1. Model Documentation*, U.S. Dept. Agric. Tech. Bull. No. 1768.

38. Soğancı A., Demiryürek M. (1996), *Konya ili Karapınar ilçesi Tarım işletmelerinin Ekonomik Analizi ile Optimal İşletme Organizasyonları ve Yeterli Gelirli İşletme Büyüklüğü*, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Konya Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Konya.
39. Steduto, P., Pocuca, V., Caliandro, A. Debaeke, P. (1985), "An evaluation of the crop-growth simulation submodel of EPIC for wheat grown in a Mediterranean climate with variable soil-water regimes", to be published in the *European Journal of Agronomy*, 1985.
40. Talpaz, H., and Mjelde, I. W. (1988), "Crop Irrigation Scheduling via Simulation-Based Experimentation", *Western Journal of Agricultural Economics*, 13, pp. 184-92.
41. Tietenberg, T. (1988), *Environmental and Resource Economics*, Second edition, Boston Scott: Foresman Company.
42. Tlili, M. (1995), *Essai de simulation d'impact des nouvelles mesures économiques (PASA 2) sur le secteur céréalier en Tunisie. Etude de cas : Behaya*, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, Montpellier.
43. Tsur, Y., & Dinar, A. (May 1995), "Efficiency and Equity Considerations in Pricing and Allocating Irrigation Water", Policy Research Working Paper 1460, *The World Bank*, Agricultural and Natural Resources Department, Agricultural Policies Division.
44. Tsur, Y., & Dinar, A. (1997), "The Relative Efficiency and Implementation Costs of Alternative Methods for Pricing Irrigation Water", *The World Bank Economic Review*, 11 (2), pp 243-262.
45. Van Evert, F.K., and Campbell, G.S. (1994), "CropSyst: A collection of object-oriented simulation models of agricultural systems", *Agron. Journal*, 86, pp. 325-3317.
46. Vicien C. (1989), *Les modèles de simulation comme outil pour la construction de fonctions de production : une application à la mesure de l'efficacité de la production agricole*, Montpellier. Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, Montpellier.

47. Williams, J.R., Jones, C.A. and Dyke, P.T. (1984), "The EPIC model and its application",
*In Proc. ICRISAT-IBSNAT-SYSS Symp. on Minimum Data Sets for Agrotechnology
Transfer*, March 1983, Hyderabad, India. pp. 111-121.