

Un modèle d'analyse des politiques de modernisation des périmètres irrigués algériens. Cas du périmètre irrigué de la Mitidja Est.

Chérif AIT-AMEUR, INA, Alger ; aitameur@hotmail.com

Résumé

En Algérie où l'agriculture est le principal consommateur d'eau, les réformes sont principalement orientées vers le transfert de la gestion des périmètres irrigués. La satisfaction des besoins en eau d'irrigation reste toujours insuffisante malgré les nombreux investissements réalisés durant ces dernières décennies. La majorité des périmètres irrigués, issue de l'héritage colonial, présente un système traditionnel qui ne contribue pas à l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau. A cela s'ajoute un tarif de l'eau qui n'incite pas les principaux usagers à économiser la ressource. Dans ce contexte, la modernisation des périmètres irrigués reste une issue appropriée pour une gestion efficace de l'eau à usage agricole. Le but de notre recherche est de mettre en œuvre un outil d'analyse des politiques de modernisation des périmètres irrigués, notamment celui de la Mitidja Est qui constitue notre terrain d'étude. L'outil d'analyse est conçu sous la forme d'un modèle de programmation stochastique discret qui estime les réponses des usagers à l'application des politiques des prix de l'eau dans différents scénarios de politiques agricoles et dans un contexte de rareté de la ressource. Le modèle sera appliqué à l'échelle d'un type d'exploitation du périmètre de la Mitidja pour analyser les règles de gestion et le système de tarification de l'eau dans différents schémas d'aménagement de la région.

Mots clés : modernisation, tarification, modèle, périmètre irrigué.

1 Introduction

En Algérie, la réforme des politiques macro-économiques et la libéralisation de l'économie ont eu plusieurs conséquences importantes sur l'irrigation. Ainsi, la reconnaissance du caractère précieux de l'eau et de son coût de transformation d'une source en une prestation de services sur l'exploitation agricole fait que le secteur de l'eau est devenu un objectif privilégié des futures réformes politiques. L'irrigation ne peut progresser que si l'efficacité de l'usage de l'eau agricole est améliorée. Dans ce contexte, la modernisation des périmètres irrigués est indispensable pour le développement de l'agriculture irriguée en Algérie. La durabilité du développement agricole est fonction de la durabilité de l'utilisation de la ressource en eau. Les politiques du secteur de l'eau s'efforceront de susciter chez les usagers la volonté d'utiliser efficacement les ressources.

2 Objectif de la recherche

Notre recherche a pour but de proposer un modèle de programmation mathématique qui simule les décisions agronomiques sous les contraintes d'incertitude climatique et de la disponibilité en eau d'irrigation. Notre région d'étude est la plaine de la Mitidja. L'objectif principal est de tester le modèle par des changements d'évaluation dans les décisions agricoles à la suite de l'application de différents modes de tarification de l'eau.

3 Matériel et méthodes

Les modèles micro-économiques de production agricole en situation de risque sont issus de la théorie de l'utilité espérée de Von Neumann et Morgenstern (1944). Le caractère aléatoire de la variabilité du climat induit une modification des techniques de production. La prise en compte de la variabilité des coefficients techniques est bien représentée dans des modèles probabilistes ou stochastiques (Bouzit, Rieu, Rio, 1995). Ces méthodes ont été initialement développées par les travaux de Charnes et Cooper (1959) qui ont proposé un « programme à risque limité » (*chance constrained programming*). Les nombreuses approches pour analyser le risque qui utilisent les techniques de programmation mathématiques ont été discutées en détail par Cocks (1968)¹, Boisvert et Mc Carl² et récapitulées par Hardaker et Rae (1971), Apland et Hauer (1993). Les applications de la PSD³ sont plus abondantes dans la littérature d'économie agricole et ont donné lieu à de nombreuses utilisations dont les applications les plus récentes sont :

- un modèle de région de Sidi-Bel Abbés conçu pour analyser des politiques d'intensification en Algérie et traiter les effets de l'incertitude climatique sur la prise de décision des agriculteurs en zone semi-aride méditerranéenne (Jacquet et Pluvinage, 1997) ;
- une approche de la méthode réalisée par Bouzit *et al.* (1995) pour analyser le comportement de l'ensemble des exploitants irrigants du bassin de la Charente en France ;
- Mejias *et al.* (2003) développent un modèle de programmation stochastique qui estime les réponses des fermiers à l'application des politiques des prix de l'eau en Espagne ;
- Morardet (1997) applique un modèle stochastique agrégé linéaire pour l'analyse de la gestion de l'eau en Charente en France.

3.1 Conception du modèle de programmation stochastique discret

La fonction objectif dans le modèle de programmation stochastique discrète consiste à maximiser l'espérance de la marge définie comme la somme pondérée par les probabilités d'occurrence des différents états climatiques, des marges de chaque activité par état climatique. L'activité dans le modèle est définie comme une combinaison d'une culture, d'un mode d'irrigation et d'une technique de production. Le modèle⁴ peut être présenté de la manière suivante :

$$\text{Max } E(Z) = \sum_s P_s \sum_w P_w Z_{sw}$$

P_s : est la probabilité de l'état de la nature s de la dotation brute en eau

P_w : est la probabilité de l'état climatique w

Z_{sw} : est la marge totale espérée de l'exploitation produite dans l'état de la nature s pendant l'année climatique w : $Z_{sw} = \sum_j \sum_i \sum_t c_{jitw} X_{3jitsw} - C_{Qsw} - C_{Ksw} - \sum_i C_i S_e$

c_{jitw} : est la marge unitaire de chaque activité j utilisant une technique d'irrigation i et une technique de production t réalisée pendant l'année climatique w

X_{3jitsw} : superficie assignée à l'activité j utilisant une technique d'irrigation i et une technique de production t réalisée dans l'état de la nature s pendant l'année climatique w

C_{Qsw} : coûts de la quantité d'eau d'irrigation, Q , produite dans l'état de la nature s pendant l'année climatique w .

¹ K.D.Cocks University of California, Davis. Discret stochasting programming.

² Mc Carl and Thomas screen

³ PSD : programmation stochastique discrète.

⁴ Nous avons utilisé GAMS General Algebraic Modeling System pour l'écriture du modèle.

Le coût de la quantité d'eau d'irrigation se compose par une partie variable, en fonction du volume d'eau Q_{sw} consommé c_Q et d'une partie fixe c_x déterminée en fonction de la superficie irriguée S_i qui concerne la couverture des charges d'exploitation de l'office du périmètre irrigué. Cette contrainte est introduite dans le modèle de la manière suivante :

$$C_{QSW} = c_Q Q_{sw} + c_x S_i$$

C_{ksw} : coût d'utilisation de la main d'œuvre, K , dans l'état de la nature s et pendant l'année climatique w

C_i : coût d'utilisation de l'équipement d'irrigation pour une superficie équipée S_e sous les contraintes suivantes :

$$\text{la terre : } \sum_j \sum_i \sum_t X3_{jitsw} \leq S$$

$$\text{l'équipement d'irrigation : } \sum_j \sum_t X3_{jitsw} - S_e \leq 0$$

$$\text{les contraintes de transfert ou de liaison : } X1_{ji} \leq X3_{jitsw}$$

$$X2_{jis} \leq X3_{jitsw}$$

Contrainte d'irrigation pour chaque état de la nature s et chaque état climatique w :

$$\sum_j \sum_i \sum_t q_{jit} X3_{jitsw} = Q_{sw} \quad Q_{sw} \leq D_s * E$$

$$\text{tel que : } X1_{ji} \geq 0; \quad X2_{jis} \geq 0; \quad X3_{jitsw} \geq 0;$$

avec :

S : superficie totale de l'exploitation

S_e : superficie totale équipée en infrastructure d'irrigation

$X1_{ji}$: vecteur d'activité (culture, dose d'irrigation) choisies en période (1)

$X2_{jis}$: vecteur d'activité (culture, dose d'irrigation, technique de production) choisies en période (2)

$X3_{jitsw}$: vecteur d'activité définissant la connaissance du climat pour les deux périodes

Q_{jit} : nécessité de la dose attribuée à chaque activité j utilisant une technique d'irrigation i et un mode de production t

Q_{sw} : quantité d'eau en m^3/ha utilisée par les différentes activités pour chaque état de la nature et pour chaque état climatique

D_s : dotation brute de l'eau d'irrigation par état de la nature en m^3

E : coefficient d'efficacité de distribution de l'eau d'irrigation dans le périmètre d'irrigation

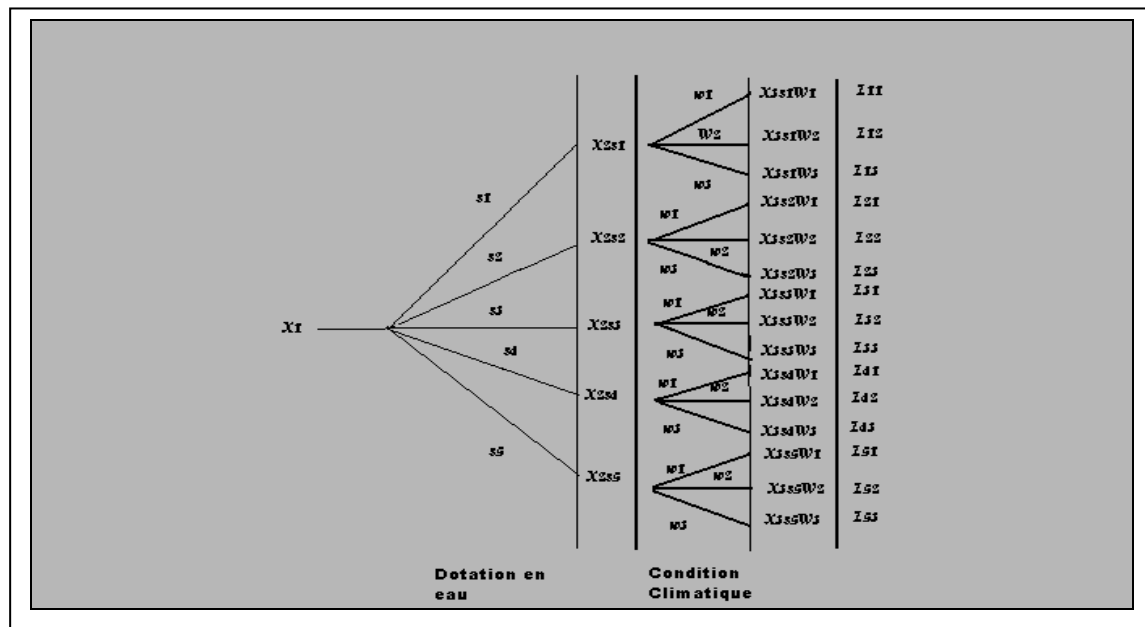
3.2 Décision dans le modèle de programmation stochastique

Le choix du niveau de décision à l'échelle du périmètre du Hamiz est fixé en fonction de la souscription en eau d'irrigation présentée par les agriculteurs et du volume réellement distribué par l'OPIM (Office du Périmètre Irrigué de la Mitidja). En effet la souscription commence en début de campagne, l'usager doit présenter à l'office sa demande en eau d'irrigation en précisant le nombre d'hectares à irriguer, le type de cultures et le volume souhaité. A la fin du délai de souscription, l'office fixe le volume d'eau d'irrigation annuel à l'hectare pour chaque culture ainsi qu'éventuellement les tours d'eau, ces démarches sont faites en début de campagne, en fonction des ressources allouées, des capacités de transit du réseau et des demandes enregistrées. L'usager qui a souscrit confirme sa souscription à

l'office et se soumet aux modalités de tarification courante de recouvrement des factures d'irrigation⁵. Dans ce contexte, en début de campagne les agriculteurs se fixent un objectif de rendement (par rapport à un rendement potentiel qui suppose qu'il n'y a pas de limitation en eau d'irrigation) et ajustent leurs apports d'irrigation en fonction des conditions de l'année pour atteindre cet objectif. Ainsi, nous avons défini les différentes périodes de décision de la manière suivante (figure 1) :

- en première période, l'agriculteur prend des décisions d'investissement en infrastructure d'irrigation, d'investissement technologique d'irrigation dans l'exploitation et d'attribution de la superficie aux différentes cultures avant de disposer de l'information certaine de la disponibilité en eau ;
- dans la seconde période, une fois la disponibilité de l'eau connue et en fonction du climat de l'année, l'agriculteur fait certains ajustements (choix de technique de production, changement d'assolement...).

Figure 1. Arbre de décision du modèle de programmation stochastique discret.



3.3 Région d'étude

La Mitidja est une vaste plaine alluviale, de 90 kilomètres de long et de 8 à 18 kilomètres de large, qui s'étend au Sud de la ville d'Alger. Elle est délimitée au Nord par la ride du Sahel, bande collinaire de quelques kilomètres de large qui sépare la plaine de la mer et sur laquelle est située la ville d'Alger. A l'Est de la ville, la baie d'Alger incise le Sahel, et la plaine est bordée par la mer. Au Sud, la plaine est délimitée de façon relativement abrupte par le piémont de l'Atlas. Cette plaine est départagée en deux sous-régions qui sont la région de la Mitidja Est (périmètre Hamiz) et la région de la Mitidja Ouest (périmètre Mitidja Ouest Mouzaia). La Mitidja Est occupe la partie orientale de la plaine, s'étendant sur 30 kilomètres environ entre l'Oued Harrach et la vallée de l'Oued Boudouaou. Sa superficie géographique est de 53 000 ha. Au Nord-Ouest, l'extension vers l'Est de la ville d'Alger occupe une importante partie de la plaine. La plaine de la Mitidja est généralement plane et de pente faible. Elle fait partie de la Région de planification hydraulique (RPH) liée au bassin versant de l'Algérois. Du point de vue de l'aménagement hydro-agricole, la plaine est divisée en trois unités liées à la ressource en eau (figure 2).

⁵ 25 % dès la souscription annuelle ; 25 % en juillet. 50 % en fin de campagne d'irrigation. Rapport de présentation de l'OPIM de la Mitidja Est Hamiz 2003.

Figure 2. Les périmètres irrigués de la plaine de la Mitidja.



A l'échelle de l'exploitation du périmètre du Hamiz qui constitue notre principal terrain d'étude, le réseau d'irrigation est divisé en neuf secteurs. Les irrigants inscrits auprès de l'OPIM utilisent l'eau distribuée par les prises selon des doses officielles. A la prise, un débit moyen de 15 l/s est fourni pour un îlot de 20 hectares. A la parcelle, l'eau est répartie entre les irrigants selon un tour d'eau. L'irrigation est gravitaire. Les techniques d'arrosage sont généralement des méthodes d'irrigation de surface, il s'agit surtout de rigoles pour l'arboriculture et le maraîchage.. La répartition des ressources n'est pas uniforme sur les différents secteurs. Le Hamiz littoral est le mieux desservi, principalement par le barrage du Hamiz, le marais de Réghaïa et la nappe de Bouréah grâce aux stations de pompage de ces deux sites. La superficie totale des terres agricoles (superficie agricole utile – surface agricole utile brute) dans la Mitidja Centre et Est (y compris le Sahel Est) s'élève à 72 000 ha, dont environ 27 000 (soit un peu plus du tiers) sont irrigués. L'irrigation concerne surtout l'arboriculture (agrumes et autres arbres fruitiers à pépins ou noyaux). Les cultures annuelles irriguées sont principalement les cultures maraîchères.

La Mitidja Est englobe le périmètre d'irrigation très ancien du Hamiz (datant de 1937) ; ce périmètre couvre en partie l'Est de la plaine ainsi que le Sahel Est. Il s'étend sur une superficie de 18 000 ha environ, mais la superficie des cultures irriguées à partir du réseau ne dépasse pas actuellement 5 000 à 6 000 ha à cause du déficit en eau et de l'expansion démographique et spatiale des zones urbaines.

La superficie totale (SAU brute) est de 71 498 ha dont 34 333 ha dans la Mitidja Centre et 37 165 ha dans la Mitidja Est. L'arboriculture et la viticulture sont très répandues dans les deux périmètres ; ces cultures représentent en moyenne 34 % de la superficie totale, atteignant jusqu'à 41 % dans le Centre et 28 % à l'Est. Les cultures en sec couvrent une surface d'importante similaire dans les deux périmètres (16 606 ha au Centre et 19 331 ha à l'Est) et représentent en moyenne 50 % de la superficie agricole dans l'année de référence. Les cultures annuelles en sec sont principalement des grandes cultures (surtout les céréales et la vesce-avoine), et incluent aussi une proportion significative de cultures maraîchères en sec, environ 6 000 ha. Les cultures annuelles en irrigué occupent une superficie importante dans la zone, mais principalement à l'Est où 5 816 ha y sont consacrés. Elles représentent 7,1% au Centre, 15,6% à l'Est et 11,5 % sur l'ensemble de la zone. La plupart des cultures annuelles irriguées sont des cultures maraîchères.

Une typologie des exploitations a été réalisée au cours de la phase de modélisation dans la zone littorale (secteur de 1 à 3) du périmètre irrigué du Hamiz ou Mitidja. Ce choix a été défini en fonction de la disponibilité de la ressource (tableau 1).

Tableau 1. Typologie des exploitations périmètre Mitidja Est Hamiz littoral.

Type d'exploitation	SAU (ha)	SAUI (%)	Techniques d'irrigation (%)	Cultures maraîchères (%)	Arboriculture fruitière (%)
Type I	5	87,5*	Gravitaire	(85,7**) Tomate 25 Haricot 20 Courgette 15	(14,3**) Oranger 58,6 Vigne 24,1 Verger 17,3
Type II	10	80,7*	Gravitaire	(84,1 %**) Tomate 24,5 Haricot 19,4 Po. de terre 16,4 Courgette T9,2	(15,9**) Vigne 57 Oranger 43
Type III	15	63,4*	Gravitaire	(91,6**) Haricot 24,3 Tomate 17,9 Po. de terre 11,4 Courgette 10,8	(8,4**) Vigne 98,5
Type IV	30	85,4	Gravitaire	(81,1**) Po. de terre 24,7 Haricot 23 Tomate 13,8 Courgette 9,2	(19,9**) Vigne 55 Oranger 25 Pommier 25

Source : Enquête Périmètre irrigué Mitidja Est Hamiz littoral 2003

(1) pourcentage à partir de la SAU, (2) pourcentage à partir de la SAUI

Le type d'exploitation IV a été retenu pour la phase de modélisation. Les cultures pratiquées sont l'arboriculture fruitière (vigne et pommier 6 ha) le reste dépend de la quantité d'eau fournie par l'OPIM (Office du périmètre irrigué de la Mitidja), en maraîchage (en majorité tomate et pomme de terre) ou en sec (vesce, avoine ou blé). La disponibilité en eau détermine les assolements dans le périmètre irrigué. L'assolement inclut des cultures intensives à haute rentabilité telles que les agrumes et les arbres à pépins ou à noyaux et les cultures maraîchères. S'il y a un manque d'eau d'irrigation, les grandes cultures, les céréales, les fourrages d'été et la jachère prédominent. En général, dans le périmètre, l'agriculture est orientée sur des spéculations pour produire un excédent commercialisable. Le financement constitue l'un des problèmes les plus délicat auxquels sont confrontés les agriculteurs. L'insuffisance de crédit entraîne une valorisation insuffisante du périmètre. Les agriculteurs préfèrent les cultures à cycle court, les spéculations rapidement productives, partager les risques (cultures intercalaires, plantations mixtes, arboriculture fruitière ou vigne), les produits ayant un double débouché (exemple la tomate livrée en priorité à la consommation en frais et accessoirement à la transformation) aux cultures demandant peu de matériel agricoles et peu de main d'œuvre.

4 Principale source de risque de la région

Les principales sources de risques dans le modèle sont le climat et la disponibilité en eau dans le barrage du Hamiz.

4.1 Le climat

Dans la région d'étude, le climat est méditerranéen, doux et humide en hiver, chaud et sec en été. Néanmoins, même dans les zones septentrionales étroites, on observe des variations climatiques qui déterminent la vocation agricole. Sur le littoral, le climat est fortement influencé par la proximité de la mer, les risques de gelées sont moindres, les températures de l'été sont moins élevées et le taux d'humidité dans l'air est plus élevé par rapport à la plaine où le climat est continental et moins influencé

par la mer ; on enregistre en moyenne 11 jours de gelée par an, les températures estivales sont élevées (maximum d'environ 40 °C), et l'air est un peu plus sec. La pluviométrie qui varie généralement entre 280 et 800 mm/an est monomodale et le mois le plus pluvieux est le mois de décembre. Sur la base de ces constatations et sur la série d'observation des précipitations, nous avons défini trois états de la nature pour le climat avec une distribution de probabilité W1 0.24 correspondant à une année sèche, W2 0.53 année moyenne, et W3 0.23 année humide (figures 3 et 4).

Les états de la nature dans le modèle PSD

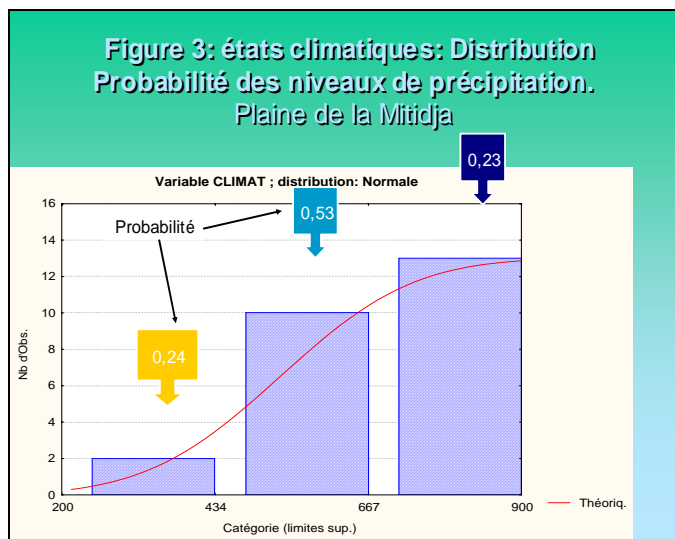


Figure 3. Etats climatiques : distribution, probabilité des niveaux de répartition dans la plaine de la Mitidja.

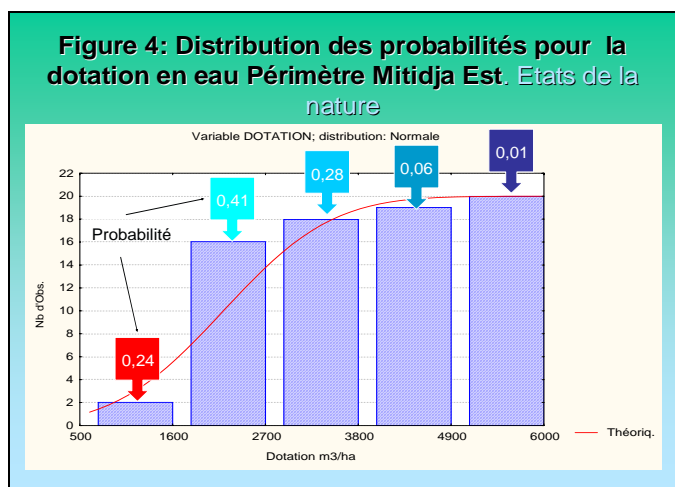


Figure 4. Distribution des probabilités pour la dotation en eau du périmètre de la Mitidja Est.

4.2 Les dotations en eau

Les dotations en eau accordées au cours des campagnes d'irrigation ont été déterminées d'après les bilans de l'office d'irrigation. Le réseau est alimenté par trois ressources en eau différentes : le barrage du Hamiz, les champs captants de Bouréah et le marais de Réghaïa. Ainsi, dans le périmètre Mitidja, on distingue deux parties alimentées par des ressources différentes : Hamiz plaine alimenté uniquement du barrage du Hamiz (6 secteurs) et Hamiz littoral (3 secteurs) alimenté par les trois ressources. La sécheresse qui a sévi ces dernières années a beaucoup diminué la disponibilité à partir du barrage. La distribution des probabilités par état de la nature est montrée en figure 4.

5 Résultats d'analyse de modélisation

5.1 Scénarios d'analyse

Scénario 1 : dans ce scénario, les simulations se distinguent par les hypothèses et par l'évolution du prix de l'eau et des prix du marché.

Scénario 2 : ce scénario correspond au programme de réhabilitation du périmètre qui prévoit l'amélioration de l'efficacité de distribution de l'eau d'irrigation

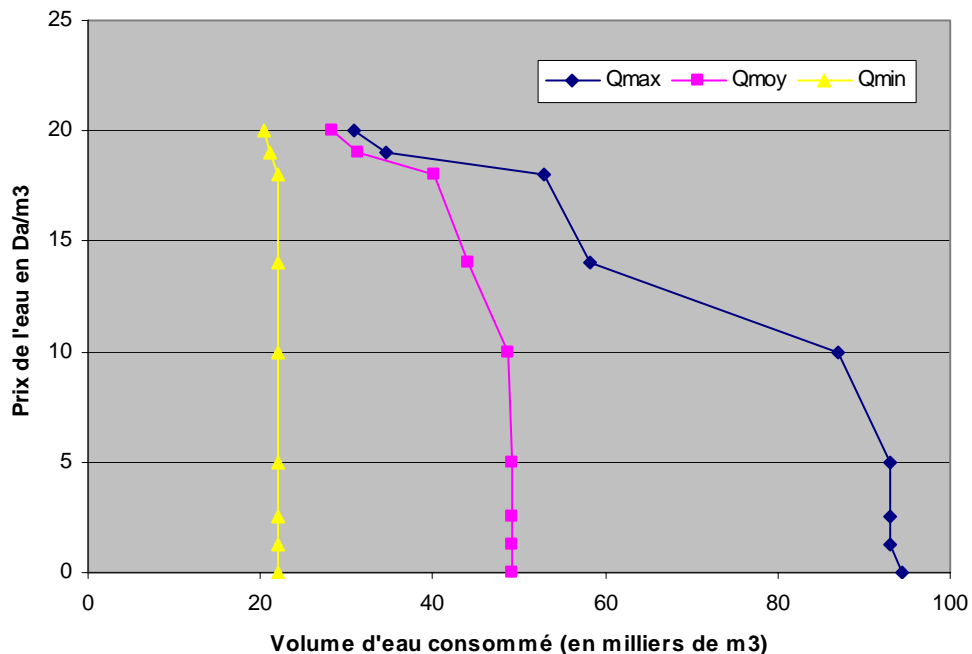
Le scénario 1 correspond au scénario de base du modèle de programmation stochastique discret PSD. On remarque que la demande en eau reste très peu sensible à une augmentation du prix pour une année sèche S_{min} en comparaison avec une année moyenne S_{moy} . Par ailleurs, le prix de l'eau a peu d'influence sur la demande étant donné que pour une année moyenne, le prix n'est sensible qu'à partir de 10 Da/m³(figure 1).

5.2 Les résultats de la modélisation

5.2.1 Scénario 1

La demande en eau pour une année moyenne reste toujours rigide en comparaison d'une année humide S_{max} qui elle reste sensible entre 5 et 10 Da/m³. (figure 5). La raison principale de cette rigidité qui n'incite pas à économiser l'eau d'irrigation est due à la faible part de l'eau dans les charges totales de l'exploitation pour les activités à fortes valeurs ajoutées, comme la tomate, la pomme de terre ou l'arboriculture fruitière. Une augmentation du prix de l'eau fournie par l'office des périmètres irrigués de 1,25 Da/m³ à 2,5 Da/m³ n'a pas vraiment d'influence sur les marges dégagées des activités pratiquées dans l'exploitation.

Figure 5 : Sensibilité de la demande en eau au prix de l'eau
Efficience de distribution 0.7 Périmètre irrigué Hamiz



La demande en eau reste effectivement peu sensible à l'augmentation du prix, du fait aussi que les dotations accordées par état de la nature restent très en dessous des besoins nécessaires pour les activités pratiquées dans l'exploitation. La dotation accordée pour un état S_{min} de 1 050 m³/ha avec une probabilité de distribution de 0,24 correspond plutôt à une agriculture de survie. Il en est de même pour la fonction de demande en eau pour un état S_{moy} qui est l'état le plus fréquent dans le périmètre et qui n'est pas sensible à une élévation du tarif de l'eau.

Pour un état de la nature S_{max} , très peu réalisable (distribution de probabilité 0,01), équivalent à une dotation de 5 450 m³/ha, la demande en eau devient sensible à partir d'un prix compris entre 5 et 10 Da/m³ (figure 1).

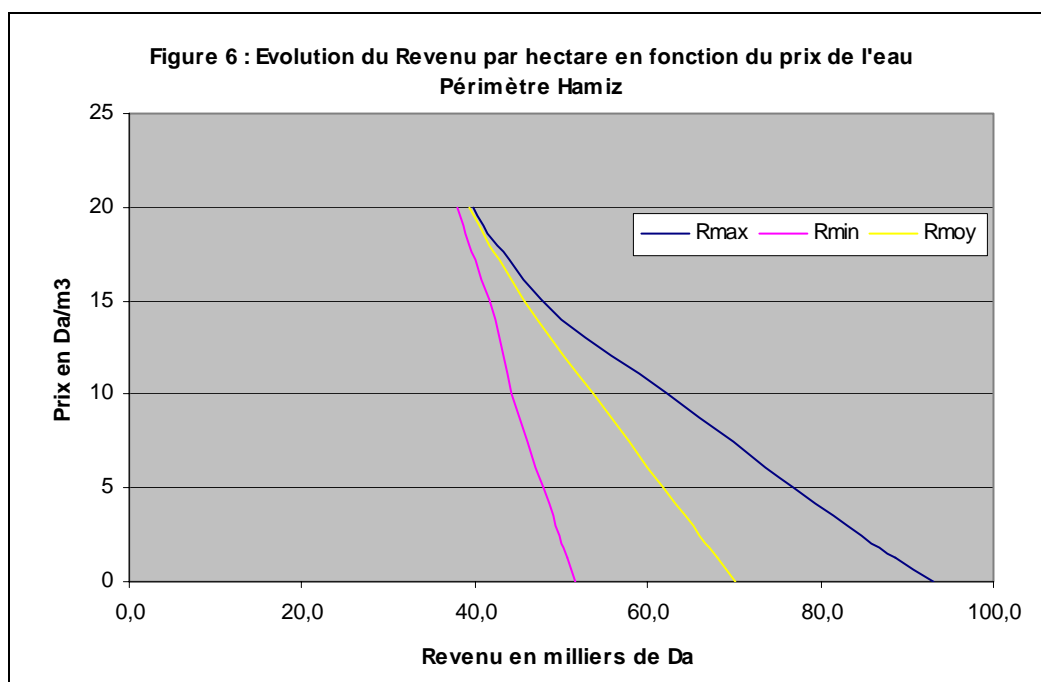
Tableau 2. Distribution des probabilités pour les dotations en eau par état de la nature.

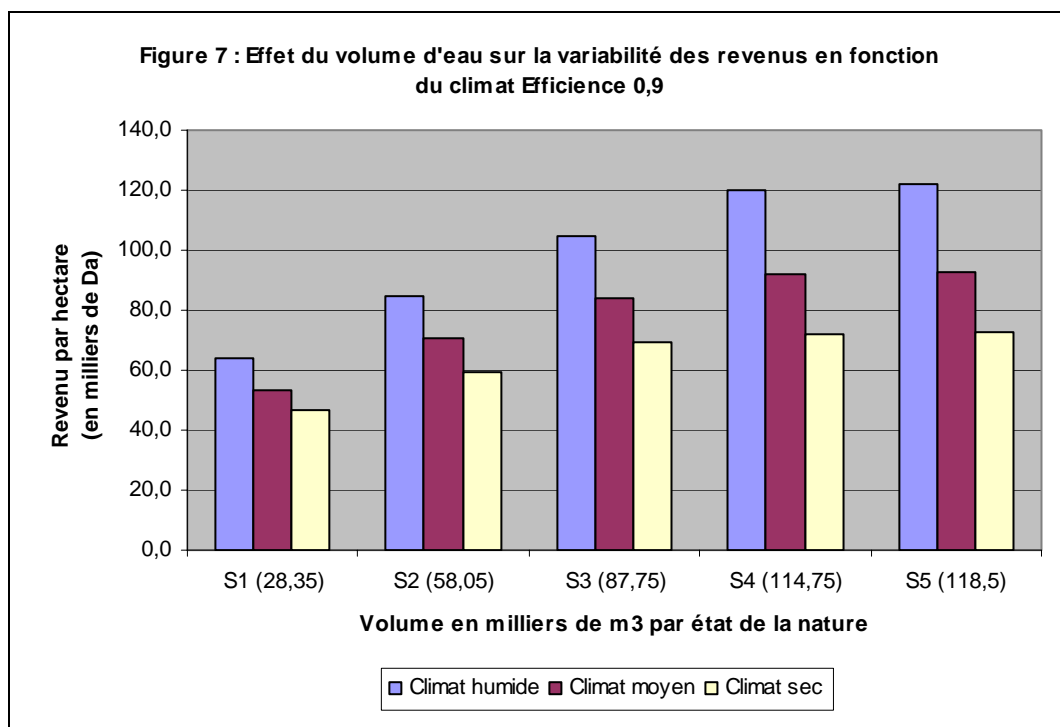
	S1	S2	S3	S4	S5
Dotations en m ³ /ha	1050	2105	3250	4250	5450
Probabilités de distribution	0,24	0,41	0,28	0,06	0,01

Le revenu de l'exploitant reste très peu sensible à l'augmentation du prix de l'eau. En doublant le prix de l'eau de 1,25 Da/m³ à 2,5 Da/m³, la variation est presque négligeable, elle est de 6 % du revenu de l'exploitant (tableau 3, figure 6). Le revenu minimum Rev_{min} (figure 2) provient essentiellement des cultures en sec telles que les céréales (blé, sorgho...) et les fourrages d'été et de l'arboriculture dans l'exploitation pratiqués par des techniques peu exigeantes en eau d'irrigation ou pratiquée avec des doses de survie, alors que l'écart entre un revenu minimum et un revenu moyen REV_{moy} correspondant est lié en à l'introduction de cultures maraîchères (tomate, pomme de terre...).

Tableau 3. Evolution du revenu et consommation en eau.

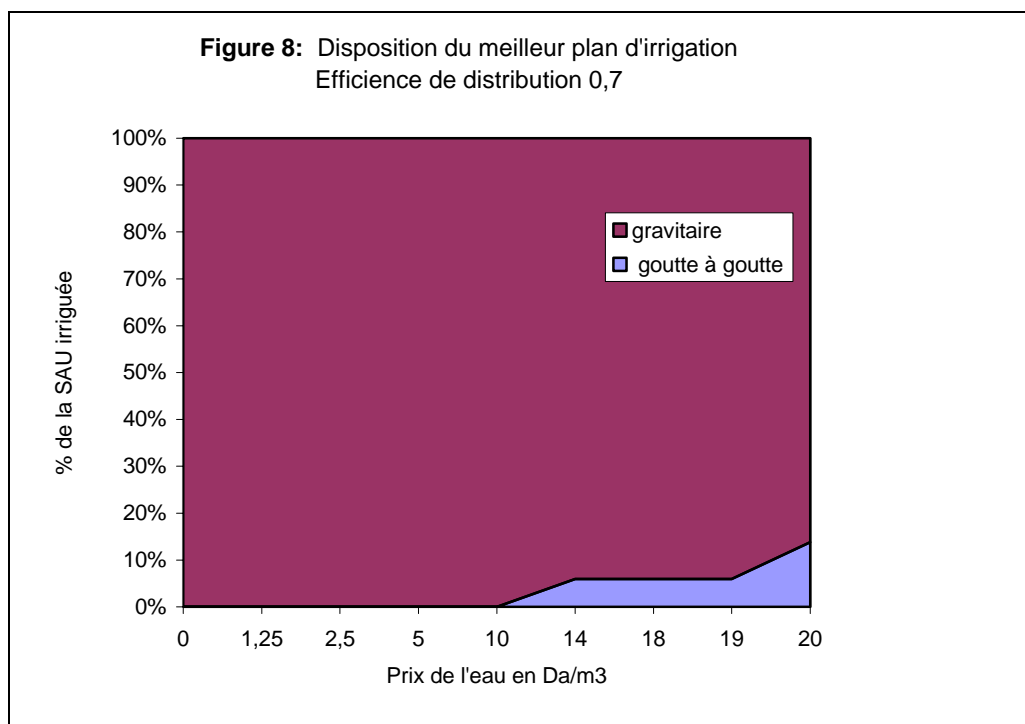
Prix de l'eau	Rmoy	Rmin	Rmax	Qmoy	Qmin	Qmax
	En milliers de Da			En milliers de m ³		
0	70,1	51,7	92,9	49,2	22,1	94,4
1,25	68,0	50,6	88,6	49,2	22,1	93,0
2,5	66,0	49,7	84,7	49,2	22,1	93,0
5	61,9	47,9	77,0	49,2	22,1	93,0
10	53,7	44,2	62,4	48,8	22,1	87,1
14	47,3	42,3	50,0	44,1	22,1	58,2
18	41,6	39,4	42,5	40,1	22,1	53,0
19	40,4	38,7	40,9	31,3	21,1	34,5
20	39,4	38,0	39,9	28,3	20,5	30,8





Les résultats d'analyses du modèle de programmation stochastique PSD suivant le scénario de base montrent que les usagers de l'eau n'emploient pratiquement que des techniques d'irrigation traditionnelle (figure 7).

Ce choix est dû en particulier à un faible prix de l'eau pratiqué par l'OPIM de 2,5 Da/m³ qui n'incite pas à l'économie de l'eau, et au montant élevé de l'investissement en technique économe en eau. Même si on double le prix de l'eau de 1,25 Da/m³ (ancien tarif) à 2,5 Da/m³, l'utilisateur n'aura sans doute pas recours à l'utilisation de techniques modernes comme le goutte à goutte (figure 7).



5.2.2 Cas du scénario 2

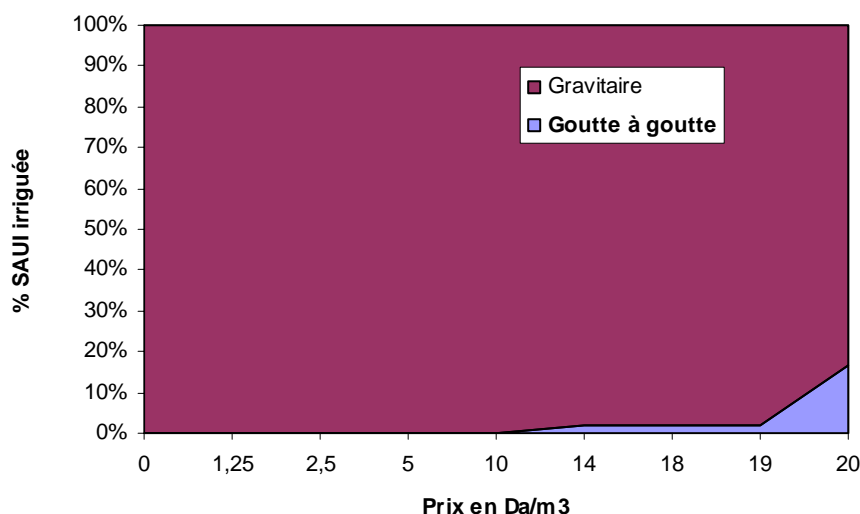
Le scénario 2 correspond à l'amélioration de l'efficacité d'utilisation du périmètre irrigué, dans le cadre du programme de réhabilitation du périmètre irrigué.

Dans le périmètre du Hamiz, on enregistre des taux de pertes en eau estimées à 30 %. Ces pertes sont imputables aux raccordements illicites des usagers, au gaspillage et à des fuites d'eau dans le réseau de distribution.

L'efficacité technique ou de production peut-être atteinte si le gaspillage des ressources est évité. Théoriquement, certains auteurs s'intéressent plus particulièrement à la notion de non gaspillage, d'autres à celle de moindre coût⁶. La notion de non gaspillage apparaît lorsque la ressource en eau est rare ; or pour ne pas consommer plus d'eau que ce qu'il est nécessaire, l'investissement nécessaire est parfois coûteux. Dans la notion de non gaspillage, l'efficacité est maximale si à aucun moment du processus de distribution il n'y a pas de gaspillage (Rao 1993). L'auteur distingue trois types d'efficacité : l'efficacité de transport (de la source jusqu'au canal tertiaire), l'efficacité de distribution (du canal tertiaire jusqu'à la surface à irriguer) et l'efficacité d'application à la surface irriguée (de la surface à la plante). Ces trois types réunis constituent l'efficacité totale du projet. La notion de moindre coût est atteinte quand le prix payé pour obtenir la ressource en eau reflète son coût total à savoir le coût d'amenée de l'eau, le coût d'opportunité et le coût social.

En augmentant l'efficacité de distribution de l'eau d'irrigation du périmètre, les résultats confirment les préférences des usagers qui présentent une tendance à utiliser plus des techniques traditionnelles (figure 9). Ce constat vient toujours du fait qu'une augmentation du prix de l'eau à 2,5 Da/m³ n'aura aucune influence sur le choix des techniques de modernisation du périmètre.

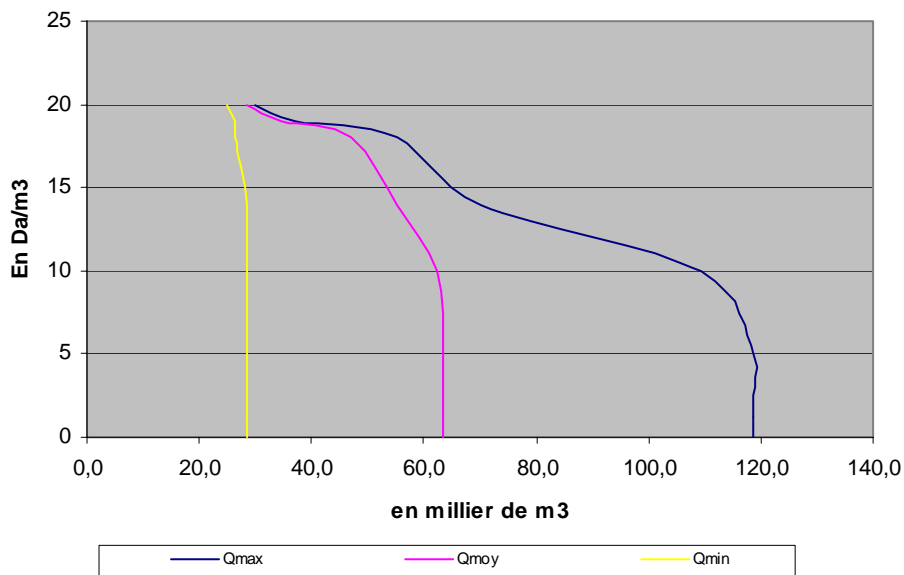
figure 9 : Disposition du meilleurs plan d'irrigation en :
Efficience en eau 0,9
Scénario 2



La figure 10 présente les résultats de programmation stochastique discrets pour une efficacité de distribution de l'eau 90 %, soit un taux de perte de 10 %. La demande en eau apparaît sensible au prix de l'eau à partir de 10 Da/m³, sauf pour l'état Qmin qui correspond à l'état de la nature Smin.

⁶ Une allocation efficace de l'eau est celle qui maximise le bénéfice total net qui peut être produit par la quantité disponible de la ressource réalisé par un état disponible de technologie (Yacov Tsur, Dinar Ariel 1997).

**figure 10 : Sensibilité de la demande en eau au prix de l'eau
Efficience de distribution de l'eau 0,9**



Si on augmente l'efficience d'irrigation de 20 % (figures 11 et 12), on constate une réduction de la superficie en sec dans l'exploitation pour l'état S1 et S2. La présence des cultures en sec montre que les dotations accordées pour chaque état de la nature sont très en dessous des besoins exprimés par les agriculteurs.

**Figure 11: Part de la surface irriguée en fonction des états de la nature
Efficience 70%**

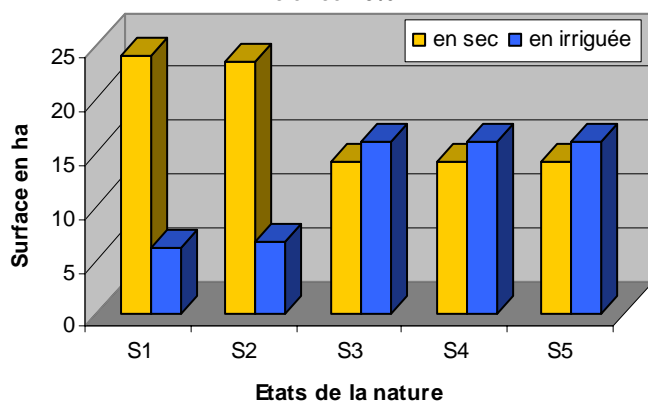
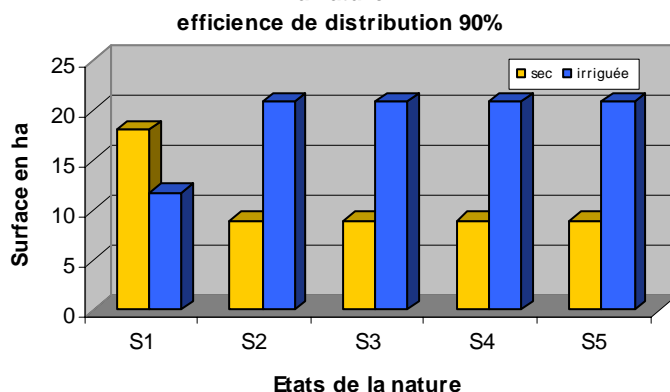


Figure 12 : Part de la surface irriguée en fonction des états de la nature



6 Conclusion

Les résultats d'analyses du modèle de programmation stochastique montrent que les usagers de l'eau dans la plaine de la Mitidja ont peu recours à l'utilisation des techniques modernes d'irrigation. L'une des raisons principales est due au faible prix de l'eau pratiqué par l'OPIM ($2,5 \text{ Da/m}^3$) qui n'incite pas les agriculteurs à économiser la ressource. Le manque d'eau dans le périmètre irrigué de la Mitidja Est conditionne aussi le choix des techniques de production de la région. La raison est due aux faibles dotations en eau accordées surtout pour les états S1 et S2 qui représentent plus de 60 % des probabilités de distributions dans le périmètre. Les usagers de l'eau sont confrontés à deux situations extrêmes de la disponibilité de la ressource : soit un état catastrophique attribué à une agriculture de survie, soit une disponibilité abondante de la ressource, état qui est observé très rarement dans le périmètre. Ces deux cas n'incitent pas l'utilisation des techniques de modernisation dans le périmètre, sauf pour un tarif de l'eau beaucoup plus élevé compris entre 5 et 10 Da/m^3 . Une augmentation de l'efficience de distribution d'eau d'irrigation dans le périmètre (scénario 2) réduit les pratiques en culture sèche dans l'exploitation mais n'incite pas les usagers à utiliser des techniques économes en eau. La raison est due principalement toujours à un faible tarif de l'eau. Les conditions extrêmes de la disponibilité de l'eau font apparaître des contraintes de l'agriculture irriguée. Par exemple, les opérations de répartition et de distribution de l'eau d'irrigation entre les usagers ne sont pas aisées en raison d'une forte demande en eau comparativement à l'offre (voir les fonctions de demande). Le manque d'eau conditionne les stratégies des agriculteurs qui essaient souvent de cultiver des superficies plus grandes que celles qu'ils ont souscrites auprès de l'OPIM, ce qui fait, qu'en début de campagne agricole la demande est souvent supérieure à l'offre.

Bibliographie

- Ait-ameur C., 1996. Diversification et irrigation. Application d'un modèle multi-périodique. Le cas de la plaine Biterroise France. Thèse Master of Science. IAM Montpellier.
- Ait-ameur C., 2004. Modernisation et gestion de l'eau dans les périmètres irrigués. Le cas du Hamiz. Communication séminaire Euro- Méditerranéen. La modernisation de l'agriculture irriguée. Rabat, Maroc 19 au 23 avril 2004.
- Apland J., Hauer G., 1993. Discrete stochastic programming: Concepts, examples and a review of empirical applications. University of Minnesota, St Paul United state of America. p. 93
- Blanco M., 1999. La economía del agua : analisis de políticas de modernisation y mejora de ragadios en Espana. Tesis doctoral, université politecnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de ingenieros Agronomos. 313 p.
- Bouzit A.M., Rieu T., Rio P., 1995. Modélisation du comportement des exploitants agricoles tenant compte du risque : application du Motad généralisé. Cemagref Editions, Antony. p. 75-79.
- Brooke A., Kendrick D., Meeraus A., 1988. General Algebraic modeling system GAMS A User's Guide. Boyd & Fraser publishing company, Danvers, Massachusetts.
- Bruce A. McC., Spreen T.H., 1997. Applied Mathematical Programming Using Algebraic System.

- Cocks K.D., 1968. Discrete stochastic programming. University of California Davis. *Management science*, 25 : 72-79.
- Chambers R.G., Just R.E., 1989. Estimating multioutput technologies. *American Journal of Agricultural Economics*, 71 : 980-995.
- Charnes A., Cooper W.W., 1959. Chance constrained programming. *Management Science*, 6 : 73-79.
- Consuelo Varela Ortega, José M. Sumpsi, Alberto Garrido, Maria Blanco, Eva Iglesias, 1998. Water pricing policies, public decision making and farmers' response: implications for water policy. *Agriculture economics* 1998, p 193-202.
- Dinar A., Yaron D., 1992. Adoption and abandonment of irrigation technologies, *Agricultural economics*, 6 : 315 – 32.
- Dinar A., Rosegrant M.W., Meinzen-Dick R., 1997. Water allocation mechanisms, principles and examples. World Bank, policy research, working paper 1779, Washington, DC.
- Garnier B.D., 1997. Some Implications of Federal Grazing, Timber, Irrigation, and Recreation Subsidies. *Choices*. Third Quarter: p. 9-14.
- Garrido A., Varela Ortega C., Sumpsi J.M., 1997. The Interaction of Agricultural Pricing Policies and Water Districts' Modernization Programs: A Question with Unexpected Answers". Paper presented to the Eighth Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists, Tilburg, Pays-Bas, 26-28 juin.
- Hardaker J.B. , G. Lien, 2003. Stochastic efficiency analysis with risk aversion bounds: A simplified approach. University of New England. Working paper series Agricultural and resource economics mars 2003.
- Hazell P.B.R., 1971. A linear alternative to quadratic and semi-variance programming farm planning under uncertainty. *American journal of agriculture economics* 53 : 239-252.
- Howe C., Schurmeier D.R., Shaw W.D, 1986. Innovation approaches to water allocation: the potential for water markets. *Water resources research*, 22 (4) : 439-445.
- Jacquet F., Pluvinage J., 1995. Climatic Uncertainty and farm Policy. A Discret Stochasting Programming Model for Cereal-Livestock Farms in Algeria. *Agricultural Systems*, 53 : 387-407.
- Johanson R.C., Tsur Y., Roe T.L., Doukkali R., Dinar A., 2002. Pricing irrigation water: A review of theory and practice. *Water Policy* 4 : 173-199.
- Kissira M. Encadrement PNDAR, Conseils pratiques pour l'investissement en irrigation. Ministère de l'agriculture et du développement rural. INSID 2002.
- Mejias P., Varela-Ortega C., Flichman G., 2003. Integrating Agricultural Policies and Water Policies under Water Supply and Climatic Uncertainty. International conference of Agricultural economies IAAE, 16-23 August.
- Markowitz H.M., 1959. Portfolio selection : Efficient diversification of investments. Wiley, New York, Etats-Unis.
- Montginoul, M., Rieu, T., 1997. Approche économique pour concilier irrigation et environnement dans le bassin versant de la Charente. *Water : Economics, management and demands*. E&FN SPON.
- Moore, M.R., Negri D.H., 1992. A Multi-crop Production Model of irrigated Agriculture, applied to water allocation policy of the bureau of reclamation. *Journal of Agricultural and resources Economies*. 17, p 30-43.
- Moore M.R., Gollehon N.R., Carey M.B., 1994. A Multicrop Production Decision in Western Irrigated Agriculture: The Role of Water Price. *American Journal of Agricultural Economies*, 11, p. 143-158.
- Hazell P.B.R, Norton R.D., (1986). *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. Mac Millan Publishing Company New York.
- Rae A. (1971): Stochastic programming utility and sequential decision problem in farm management . *American Journal of Agricultural Economies*, 53, pp 448-460.
- Rao P.S., 1993. Review of selected literature on indicators of irrigation performance, IIMI systems, research report 4, Washington DC, world resources institute, December.
- Sampath R. K., 1992. Issues in irrigation pricing in developing countries. *World Development*, 20 : 967-977.
- Seagrave J. A.; Easter, K. W. (1983): Pricing irrigation water in developing countries. *Water resources Bulletin* 4 : 663-671.
- Stephenson D., 1999. Demand management theory. *Water SA* 25 (2) : 117-122.
- Tsur Y., Dinar A., 1997. The relative efficiency and implementation costs of alternative methods for pricing irrigation water. » *The world bank economic review*, vol. 11, NO. 2: page 243-62.

Tsur Y., Zemel A. (1995). Uncertainty and irreversibility in groundwater resource management. *Journal of environmental economics and management*, 29 : 149-161.

Von Neuman J., Morgenstern, O., 1944. *Theory of games and economic behavior*. Princeton, NJ Princeton University Press.

Zilberman D., 1998. *Agricultural and Environmental Policies. Economics of Production, Technologies, Risk agricultural and environment*. Ed. Carlo Cafiero. University of California, Berkeley.