

La gestion intégrée de l'eau à l'échelle du bassin de Souss-Massa : développement d'un modèle intégré de Bassin

Elame F. ¹ ; Doukkali M. R. ², Fadlaoui A. ³

1- Chercheur Agroéconomiste, INRA Agadir

2- Enseignant, IAV Hassan II Rabat

3- Chercheur Agroéconomiste, INRA Mekness

Résumé

Les questions reliées à l'aléa climatique et la gestion de l'eau d'irrigation continuent à revêtir une importance majeure compte tenu de leurs impacts sur le milieu rural, en général, et l'allocation des ressources en eau, en particulier. L'agriculture marocaine reste donc dépendante de la forte variabilité des précipitations et de la fréquence élevée des sécheresses qui est devenu une contrainte structurelle pour notre pays.

Le présent travail élabore un prototype d'un modèle intégré de bassin versant (river basin model). La démarche proposée utilise les techniques d'optimisation et fait appel à la programmation mathématique positive pour la calibration d'un modèle empirique. Elle est basée sur un réseau de nœuds qui représente soit des entités physique ou bien des flux d'eau entre ces différentes entités.

Ce modèle permettra l'optimisation de l'allocation de l'eau au niveau du bassin de Sous-Massa entre les différents secteurs usagers de la ressource eau et le calcul du prix économique de l'eau à l'échelle du bassin.

Les résultats de cette étude montrent que la politique de la gestion de la demande doit être nuancée par bassin pour tenir compte des spécificités régionales. Le prix économique de l'eau au niveau du Bassin est supérieur au prix financier, ce qui veut dire que la politique de tarification de l'eau appliquée reste insuffisante pour une rationalisation de l'utilisation et une préservation de la ressource à long terme notamment en situation de sécheresse.

Mots clés: *Eau, irrigation, modèle intégré, bassin, programmation mathématique positive, prix économique.*

للحوض متكامل نموذج تطوير : درعة ماسة سوس حوض مستوى على للماء التدبير المتكامل

العم فؤاد، دوکالي محمد رشيد، فضلاوي عزيز

ملخص

القضايا المتعلقة بتغير المناخ وتسيير مياه الري لا تزال ذات أهمية كبيرة نظرا لتأثيراتها على المناطق الزراعية وخاصة فيما يتعلق بتوزيع الموارد المائية. وتبقى الزراعة في المغرب متأثرة بعدم إنتظام التساقطات وفترات الجفاف المتكررة، والتي أصبحت تشكل عائقا بنويا للمغرب.

يطور هذا البحث نمودجا متكاملًا للحوض المائي. النهج المقترح يستخدم تقنيات البرمجة الرياضية غير الخطية لمعايرة أو تقويم النمودج التجريبي. ويرتكز هذا النمودج على شبكة من الفروع أو ما يسمى بالعقد التي تمثل إما بنايات مادية أو تدفق المياه بين مختلف مكونات الشبكة الهيدرولوجية. ويقوم هذا النمودج بتحسين توزيع المياه على مستوى حوض سوس ماسة بين مختلف القطاعات المستعملة للموارد المائية، وكذا احتساب الثمن الاقتصادي للمياه على مستوى الحوض.

نتائج هذه الدراسة تظهر أن سياسة إدارة الطلب على الماء تستلزم التفعيل على مستوى الحوض مع مراعاة الخصائص الإقليمية لكل منطقة. الثمن الاقتصادي للمياه في حوض سوس ماسة يتجاوز السعر المالي، مما يعني أن سياسة التسعير المائي غير كافية من أجل الاستعمال الرشيد والمحافظة على الموارد المائية على المدى الطويل خصوصا في حالة الجفاف.

الكلمات المفتاح: مياه الري، نمودج متكامل أو مندمج، حوض، البرمجة الرياضية غير الخطية، ثمن اقتصادي.

INTEGRATED WATER MANAGEMENT IN THE SOUSS-MASSA BASIN: AN INTEGRATED RIVER BASIN MODEL DEVELOPMENT.

Abstract

The issues related to climate change and water irrigation management continue to be highly relevant in view of their impacts on rural areas and particularly in allocation of water resources. Agriculture in Morocco remains dependent on high rainfall variability and frequent drought periods, which have become a structural constraint for our country.

This work develops a prototype model of an integrated river basin model.

The proposed approach uses optimization techniques and positive mathematical programming for calibration of an empirical model. It is based on a network of nodes representing either physical entities or flow of water between these different ones.

This model will optimize the water allocation, of Souss-Massa basin, between different user sectors of the water resource and will calculate the economic price of water at the basin scale.

The results of this study show that the policy of demand management must be tempered by taking into account regional specificities. The economic price of water in the basin exceeds the financial price, which means that the pricing policy of water applied is insufficient for a rational use and a conservation of resources at the long-term especially in case of drought.

Keywords: *River basin, surface water, groundwater, irrigation, economic integrated model, positive mathematical programming, Souss-Massa, economical price.*

1. Introduction

Le Maroc est actuellement à la limite du stress hydrique évalué à 1000 m³/habitant /an et ses ressources seraient inférieures à 750 m³/habitant /an en 2020 (Secrétariat d'Etat chargé de l'eau, 2006). Les statistiques récentes montrent une nette tendance à la baisse des disponibilités globales et par habitant en eau. En plus des sécheresses récurrentes que le pays a connu au cours des trois dernières décennies, cette tendance s'est accentuée par une demande sans cesse croissante, notamment sous l'effet de la pression démographique et le développement socio-économique.

Une approche pour laquelle le Maroc a opté, et qui a été déjà adoptée par les pays occidentaux, est le développement de l'agriculture comme moteur du développement économique et social. En effet, depuis les années soixante, une politique et un ensemble de stratégies de développement de l'agriculture axés sur la valorisation et sur la protection des ressources en eau ont été entreprises. Cette politique sera matérialisée, notamment, par les programmes d'ajustement du secteur agricole et d'amélioration de la grande irrigation (Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes, 2004). Une infrastructure hydraulique considérable a été mise en place, ce qui a permis la mobilisation de la quasi-totalité des ressources en eau, économiquement exploitables.

Cette politique qui a soutenue efficacement la modernisation du pays fait l'objet actuellement d'une réévaluation et d'une réorientation à la lumière des nouveaux défis et contraintes à savoir (El Badraoui et Oubalkace, 2006; Doukkali M.R., 2005B) : a) des pénuries grandissantes observées au niveau de la majorité des bassins hydrauliques du pays au cours des dernières années ; b) l'épuisement des eaux souterraines ; c) la détérioration de la qualité des ressources en eau ; d) le renchérissement du coût de mobilisation des ressources en eau conventionnelles ; e) le rythme de perte de capacité des retenues de barrages par envasement ; f) le risque de diminution des disponibilités en eau sous l'effet des changements climatiques ; et g) la concurrence sur les ressources en eau qui ne cesse de croître entre les secteurs de l'agriculture, grand consommateur d'eau avec 85% des eaux mobilisées, l'eau potable, l'industrie et le tourisme.

Dans un contexte de rareté et d'une limitation des ressources hydriques, le Maroc est confronté à la nécessité de passer d'une politique d'offre à une politique de gestion de la demande. La mise en place d'une telle politique nécessite, certes, l'adoption de nouveaux outils de gestion et de nouvelles formes institutionnelles d'organisation. Afin de permettre une bonne gouvernance de l'eau, il faudra étudier de près la question des institutions en place. Une approche associant l'ensemble des acteurs est aussi nécessaire pour assurer la cohérence des politiques et la gestion rationnelle aussi bien à l'échelle macro, méso et microéconomique.

À l'échelle régionale, correspondant au niveau méso-économique, le bassin versant constitue l'unité de base adéquate pour une gestion globale et intégrée de l'eau puisque c'est le lieu où s'observent des conflits d'intérêts entre les différents agents ayant une action directe sur le système. Afin d'interpeller les principaux acteurs interagissant au niveau du bassin et de mettre en évidence les conflits d'usage autour de l'allocation de l'eau, une modélisation des ressources en eau au niveau du bassin s'avère déterminante et constituera un outil d'analyse et d'aide à la décision appréciable afin de gérer au mieux l'allocation de ces ressources. Le bassin de Souss-Massa renferme l'un des plus importants aquifères du pays. Le développement agricole, industriel et touristique qu'a connu cette zone depuis 1930, d'une part, et l'irrégularité combinée à l'insuffisance des ressources en eau de surface, d'autre part, ont entraîné une surexploitation des eaux souterraines dont les niveaux accusent une baisse continue (Baroud et El Arabi, 1996). En plus de l'épuisement de cette ressource, les coûts de sa mobilisation ne cessent de croître en raison de l'augmentation des profondeurs de pompage et des coûts de l'énergie. L'analyse du bilan actualisé des nappes de l'année 2003 montre qu'un déficit annuel de près de 228 Mm³ est enregistré au niveau de la nappe de Souss. La nappe de Chtouka connaît un déficit très important de 58 Mm³ résultant du développement du pompage dans la partie nord de la plaine. Ce déficit ne dépassait pas les 19 Mm³ en 1998 (Agence du Bassin Hydraulique de Souss-Massa, 2007). Eu égard à ces constats, il est indispensable pour la zone de Souss-Massa de disposer d'instruments efficaces, en vue de gérer et d'organiser la répartition et le contrôle de l'utilisation des ressources en eau et d'en assurer également la protection et la conservation.

La présente étude s'insère dans cette optique et met en œuvre les bases nécessaires à l'élaboration d'un modèle intégré au niveau du bassin de Souss-Massa. Dans un premier temps, ce travail permettra de déterminer les principaux acteurs et intervenants impliqués dans la gestion de l'eau au niveau du bassin de Souss-Massa, une spécification du modèle de bassin par la conception du réseau hydrologique des interconnexions entre les différents secteurs de demande en eau et la collecte des données hydrologiques, agronomiques et des données économiques liées à l'usage d'eau et leur intégration au niveau du modèle du bassin. Entre autre, ce modèle optimisera l'allocation de l'eau pour les différents secteurs de demande en eau, de chercher les assolements optimaux, d'évaluer quantitativement les ressources en eau au niveau des barrages et des nappes, et plus important encore, de calculer la valeur économique de l'eau pour les différents secteurs et particulièrement le coût d'opportunité de l'eau destinée aux différents périmètres d'utilisation de l'eau d'irrigation.

2. Méthode d'approche : Le modèle du bassin versant (River Basin Model)

2.1. Introduction et études antérieures de modélisation

Pour une meilleure allocation et valorisation de l'eau de l'irrigation, plusieurs recherches et études ont été entreprises. On peut distinguer parmi ces groupes d'outils, l'approche filière qui a permis de mesurer les différences de valorisation de l'eau des cultures irriguées et ont comparé la compétitivité internationale de ces cultures.

Cependant, l'approche filière souffre de quelques limitations sachant qu'elle ne tient pas compte des contraintes institutionnelles, de disponibilité des ressources ou d'accès à la technologie au sein des exploitations agricoles.

Un autre type d'outils basé sur les méthodes de modèles de ferme qui a permis de dériver économiquement les fonctions de demande de l'eau d'irrigation des différents types d'exploitations agricoles selon les situations et de calculer les prix économiques (Shadow prices) pour orienter la tarification de l'eau au niveau d'un périmètre d'irrigation donné. La modélisation sectorielle appliquée au secteur agricole a permis de démontrer les différences de la valorisation de l'eau et du prix économiques entre les différentes zones agro-écologiques. Cependant, ces modèles ont conduit à des résultats limités puisqu'ils n'intègre pas les autres secteurs de l'économie nationale.

Pour compléter ces efforts et pallier aux insuffisances des modèles économiques précités, cette étude propose un modèle économique intégré de bassin versant qui appartient à la lignée des travaux de modélisation entrepris au niveau international, notamment par l'IFPRI (International Food Policy Research Institute)¹, (Cai X., 1999; Rosegrant *et al.*, 2000; Ringler *et al.*, 2004).

Ce travail développe un modèle hydrologique-économique intégré de bassin basé sur la simulation des flux d'eau, sur les équations d'équilibre des ressources-emplois des retenues d'eau et des nappes et les flux d'eau au niveau des différentes unités hydrologiques. En plus de refléter la dynamique d'interactions entre les différentes composantes hydrologiques, agronomiques et économiques, ce modèle permet de simuler le développement des cultures sous différents scénarios de disponibilité et de choix de politique d'allocation de la ressource eau. Une fois établi, ce modèle constituera un outil de prise de décision en matière de choix de politique concernant l'allocation de la ressource eau au niveau du bassin. Il a été conçu de telle manière à répondre à des questions telles que : a) la compétition et la demande en eau de plus en plus importante ; b) la gestion durable et l'allocation efficiente et équitable de la ressource eau, tout en tenant compte des contraintes institutionnelles tel que le droit d'usage de l'eau.

2.2. Structure du modèle de bassin

En plus des flux qui relient les différentes unités spatiales, le modèle inclut trois composantes à savoir : les composantes hydrologiques, économiques et agronomiques.

Le modèle intégré proposé pour le bassin de Souss-Massa est un modèle d'optimisation qui se base sur les rapports réels entre les différentes interconnexions du réseau hydrologique. Ces interconnexions appelées 'nœuds' représentent des entités physiques qui peuvent être soit des afflux, des barrages, des nappes ou bien des sites de demande en eau.

1- **Rosegrant *et al.***, 2000. Modelling Water Resources Management at the Basin Level., Methodology and Application to the Maipo River Basin. International food policy research institute washington, d.c. research report 149.

Les liens entre ces différents nœuds simulent le flux d'eau entre ces différentes entités le long de la rivière (cf. *figure 1*). La distribution de l'eau distingue entre les différents usages agricoles, industriels et municipaux. Alors que pour le secteur agricole l'allocation de l'eau d'irrigation se fait selon l'efficacité de l'utilisation de l'eau, les besoins et la rentabilité de chaque culture, pour les autres secteurs cette allocation est déterminée de façon exogène dans le modèle.

2.3. Spécification du modèle

La tâche majeure dans le développement de la structure d'un modèle économique-hydrologique intégré est la détermination de la résolution spatiale adéquate et l'agrégation des composantes économiques et hydrologiques, qui permettent une intégration cohérente et logique de ces rapports et cela tout en harmonisant les échelles spatiales entre les composantes économiques et hydrologiques. Le modèle proposé est basé sur un réseau de nœud. Les éléments spatiaux (nœuds de demande et de source) sont tracés afin que la variabilité spatiale des ressources en eau et l'allocation à divers sites de demandes d'eau puissent être bien reflétées. L'allocation d'eau et les balances sont simulées à plusieurs échelles spatiales: les champs de cultures, les sites de demande, les nœuds de source (barrages, nappes, portées de rivière). Le profit d'usage d'eau d'irrigation est calculé au niveau de la parcelle et puis agrégé au niveau des sites de demande et du bassin entier. Les diverses échelles spatiales permettent la génération de résultats raisonnables en comparaison avec les données réelles observées, incluant les flux d'eau en aval, les pertes d'eau, l'eau potable, les surfaces irriguées, les rendements, la production, et les flux de retour des différents usages.

- **Paramètres exogènes** : cette partie englobe les principaux paramètres de la production végétale ainsi que d'autres paramètres qui se présentent pour les différents secteurs.

- **Paramètre agronomique** : les rendements par culture, le prix de vente des productions, prix des intrants, besoins en intrants, les superficies par cultures, la pluie effective, prix de vente de l'eau d'irrigation, évapotranspiration maximale par culture, coefficient de réponse du rendement par culture.

- **Paramètre non agronomique** : prix de vente de l'eau municipale, quantités consommées par secteur...

- **Paramètre technique et hydrologique** : Efficacité de production des stations d'énergie, Capacité de production des stations d'énergie, Taux perte eau agriculture, Taux perte eau municipale, Taille de la population demandant eau par site, Evapotranspiration du barrage, Volume maximal de chaque nappe, Coefficient de stockage de chaque nappe, Gradient de chaque nappe, Profondeur des nappes, perméabilité des nappes, volume régularisé du barrage.

- **Paramètres endogènes** : Différentes variables agronomiques, hydrologiques et économiques sont calculées par le modèle, notamment, les flux d'eau au niveau des nœuds du bassin, entrées et sorties des nappes, balance du barrage, demande en eau par culture, déficit hydrique des cultures, demande en eau d'irrigation par secteur agricole, les coûts marginaux de l'utilisation de l'eau et de la terre, etc.

Les composantes décrites ci-dessus sont intégrées dans une structure cohérente d'allocation de l'eau qui, tout en tenant compte du fonctionnement hydrologique des différents systèmes et des règles d'allocation de l'eau au niveau des sites de demande, permet d'évaluer les conséquences environnementales et de rentabilité économique d'une telle allocation.

La demande en eau est déterminée de façon endogène en se basant sur les rendements agricoles empiriques et les fonctions de production des cultures. A l'échelle de chaque secteur agricole, l'eau est allouée aux cultures en fonction de leurs stades de développement et de leurs besoins. L'offre de l'eau est obtenue de l'équilibre entre l'offre et la demande, résultant d'un comportement de maximisation du revenu net global à l'échelle du bassin sous des contraintes physiques, techniques et de choix politiques.

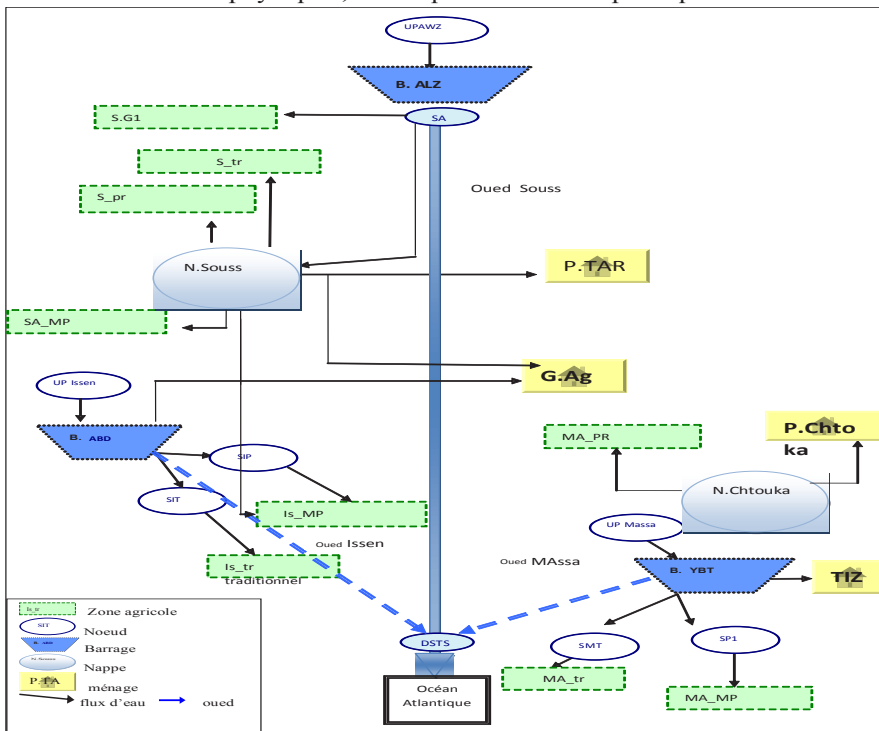


Figure 1. Schéma simplifié du réseau de nœuds du bassin Sous-Massa

2.4. Hypothèses du modèle

Le modèle calcule la valeur économique de l'eau pour les différents usagers au niveau du bassin qui sont l'agriculture et les ménages. Les ressources terre, eau d'irrigation et main d'œuvre sont utilisées de la manière optimale afin de maximiser le revenu au niveau des exploitations agrégées.

- Droit d'usage de l'eau de surface : L'eau est distribuée selon les besoins en eau des cultures et selon les surfaces allouées à ces cultures.
- Pompage : Dans le cas du bassin étudié, le pompage de l'eau à partir des nappes est illimité. Les agriculteurs peuvent pomper l'eau sans contrainte limitante.
- Contrainte terre : La surface totale au niveau du bassin (Bour+Irriguée) est entièrement utilisée. Notant que la surface irriguée ne peut pas dépasser la surface totale irriguée alors que les terres Bours peuvent dépasser la surface totale consacrée aux cultures non irriguées et peuvent même être cultivées sur les terres irriguées. Ce qui permettra un inter-changement et une conversion des terres irriguées en terres Bour, alors que le sens inverse n'est pas permis.

2.5. Calibration du modèle

Avant l'utilisation du modèle, il faut s'assurer qu'il reproduit bien la réalité. Le calibrage consiste à trouver les bons paramètres et à vérifier la cohérence interne et les relations algébriques du modèle et surtout à reproduire la situation de base. Généralement, on ne peut avoir toutes les données nécessaires sur le terrain pour l'élaboration des modèles de ce genre et donc la calibration s'impose. L'une des méthodes performantes de calibration est la programmation mathématique positive. En effet, la PMP permet de calibrer de manière exacte les modèles d'exploitation agricole en utilisant un ensemble restreint de données tout en ne figeant pas le modèle. La calibration de ce modèle est faite avec la programmation mathématique positive selon la part de chaque culture dans la SAU. Cette procédure de calibration permet de capter les données manquantes et garantit que le modèle reproduit l'allocation de la terre de l'année de base.

3. Analyse des résultats du modèle d'optimisation économique

L'objectif de ce modèle est de maximiser la fonction du profit net à l'échelle du bassin sujette à un ensemble de contraintes. Plusieurs équations sont intégrées dans le modèle exprimant les différentes demandes en eau, les flux d'eau à partir des barrages et des nappes, les flux d'eau entre nappes, des équations de formation du rendement tenant compte des contraintes de la disponibilité en eau et de la terre.

Ces résultats doivent être raisonnables et indicatifs et permettront de montrer les changements prévus pour les paramètres économiques et hydrologiques principaux. En effet, le modèle de Souss-Massa est calibré de façon à reproduire la situation de base observée de la part de chaque culture dans la SAU totale. Il optimise la fonction « Objectif » tout en tenant compte des valeurs marginales des contraintes d'utilisation de l'eau et de la terre dans cette fonction.

- les assolements optimaux

La superficie agricole cultivée dans le Souss-Massa avoisine les 160.410 ha dont 78224 ha sont des terres irriguées et 82186 ha représentent des terres Bours. On distingue 9 secteurs irrigués.

Le secteur 'Souss Amant moderne privé' avec 40400 ha, ensuite vient le secteur 'Massa moderne public' avec 10092 ha, le secteur 'Souss Amant moderne public' avec 6120 ha, le 'Massa privé' avec 5789 ha, le secteur S_G1 avec 4666 ha, le secteur 'Issen traditionnel' avec 4325 ha, 'Issen moderne public' avec 4018 ha et finalement le Souss traditionnel et le Massa traditionnel avec successivement 2114 ha et 702 ha (voir figure 2,3 et 4 en annexe).

- Les rendements obtenus par secteur agricole et par culture dans le Souss-Massa sont très importants par rapport aux rendements moyens observés et ont tendance à s'approcher voire même égaliser les rendements maximums observés dans les différentes zones. En effet, l'apport d'eau est réalisé de la manière la plus efficace tout en tenant compte de l'évapotranspiration, de la pluie efficace, du coefficient de lessivage du sol et de sa perméabilité.

- Prix économique de l'eau « Shadow price »

Le prix économique d'un bien est défini comme étant le prix d'une unité supplémentaire de ce bien. Dans notre cas, il est défini comme étant le supplément de valeur ajoutée par m³ attribué à l'eau d'irrigation. Il s'agit d'un paramètre important qui permet d'apprécier la valeur économique de l'eau dans une zone agricole.

Dans le bassin de Souss-Massa, le prix économique de l'eau de surface est de l'ordre de 4 DH par mètre cube. Alors que le prix économique moyen de l'eau au niveau du bassin est de 1.983 DH par mètre cube. Cela veut dire que si on augmente l'utilisation de l'eau d'une unité équivalente à 1 m³ donc la fonction «Objectif» qui représente le profit agricole augmentera de 1.983 DH. Cependant, cette valeur reste sous-estimée car il n'y a pas de limitation sur les ressources souterraines.

Généralement, le prix financier de l'eau d'irrigation de surface ou souterraine, par zone agricole, reste faible par rapport au prix économique qui parfois dépasse de loin le prix financier appliqué par l'ORMVASM. Pour les zones qui pompent l'eau souterraine, le prix financier s'approche du prix économique car il n'y a pas de limitation de la ressource souterraine notamment par la taxation.

De ce fait, la politique de tarification de l'eau appliquée reste insuffisante pour une rationalisation de l'utilisation et une préservation de la ressource à long terme et donc les tarifs devront être revus à la hausse.

Si on suit l'évolution du prix économique moyen '*shadow price*' de l'utilisation de l'eau au cours de l'année, on constate que ce prix est relativement stable. Alors qu'il est très variable d'une zone à une autre.

Le tableau ci-dessous présente la valeur du prix économique de l'eau par secteur de demande agricole.

Tableau 1. *la valeur du prix économique de l'eau par sous secteur agricole*

La valeur marginale du prix de l'eau d'irrigation (DH/m ³)	MA_MP	MA_tr	MA_PR	Is_MP	Is_tr	S_G1	SA_MP	S_TR	S_pr
	4.481	3.981	1	4,319	3,783	0.238	0,62	0,41	1

- Ressources en eau du Bassin

L'eau de surface :

Les graphes 5, 6 et 7, en annexe, présentent les flux d'eau entre les différents nœuds des principaux barrages. La quantité d'eau apportée par l'Oued Souss est de **80,063 Mm³**, alors que la quantité d'eau totale qui sort du barrage vers le nœud qui suit est de **103,65 Mm³**. Une partie de la quantité totale provenant de l'amont du bassin sera stockée au niveau du barrage. Pour le barrage de Youssef ben tachfin, les entrées sont de l'ordre de **82,19 Mm³** alors que les sorties sont égales à **89,56 Mm³**. Concernant le Barrage Abdelmoumen, les apports de l'oued Issen représentent **47,88 Mm³** alors que les outputs du barrage égalisent **57,65 Mm³**.

On constate que les trois graphes suivent la même allure. Les apports d'eau au niveau des trois barrages sont très importants à partir du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril; cette période correspond à des mois où la pluviométrie est importante. Alors que cet apport diminue progressivement et devient faible à partir du mois de Mai.

L'évolution du niveau d'eau au niveau de ces barrages suit l'évolution des précipitations dans le bassin. En effet, le stockage de l'eau dans le barrage se fait à partir des eaux de pluies et des apports des oueds. Le volume d'eau des barrages commence à augmenter à partir du mois d'Octobre jusqu'à ce qu'il atteigne le niveau maximum en mois de Mars, c'est la période de surplus. Ensuite, on assiste à un abaissement de ce volume pour atteindre un volume final qui peut arriver jusqu'à 30% du volume maximal (période de déficit). Cette diminution des volumes des barrages est due à la diminution des eaux de pluies et à l'augmentation des besoins en eau des secteurs agricoles qui seront comblés par les lâchers de ces barrages. Notons que pour le barrage d'Aoulouz, on assiste pendant quelques mois à des décharges importantes d'eau suite à la recharge artificielle de la nappe de Souss.

L'eau souterraine :

Les deux figures 8 et 9 montrent que les deux nappes sont déficitaires. Ce déficit est dû essentiellement au pompage de l'eau destinée à l'irrigation. En effet, le début de la campagne coïncide avec une période d'augmentation du pompage suite au besoin en eau de plantation des cultures. Ensuite, on constate une nette augmentation de la recharge des deux nappes au mois de Novembre et ce est dû à la recharge par les pluies et à la diminution du pompage. Il s'agit d'une courte période de surplus qui dure environ deux mois (voir annexe).

A partir du mois de Décembre, on assiste à un déficit qui atteint son maximum en mois de Juillet et qui est égal à -6 Mm^3 pour la nappe de Chtouka. Ce déficit est causé par la surexploitation des deux nappes. Pour la nappe de Souss, le déficit hydrique est très important malgré qu'il soit atténué par la recharge artificielle de la nappe et n'atteint son maximum qu'on mois d'Août et avoisine -54 Mm^3 .

- Usage de l'eau

L'utilisation mensuelle de l'eau d'irrigation au niveau du bassin de Souss-Massa est constituée essentiellement des apports d'eau de surface qui représente $159,049 \text{ Mm}^3$ soit 28.6% de la consommation totale de l'eau d'irrigation et le pompage de l'eau à partir des nappes qui représente $397,023 \text{ Mm}^3$ soit 71.6%. La part d'eau totale consommée (eau superficielle et souterraine) par chaque secteur en Mm^3 est représentée dans la figure 10. Le secteur 'Massa moderne publique' consomme 40% des apports d'eaux de surface destinées à l'irrigation. Alors que pour l'eau souterraine, le Souss privé s'empare de la grande part avec 72% des apports totaux.

La demande en eau est élevée au début de la campagne agricole lors de la plantation (Septembre, Octobre) et devient de plus en plus importante à partir du mois d'Avril ou les précipitations deviennent trop faibles (voir figure 11). Il ressort de cette figure que la demande des cultures en eau d'irrigation est importante au début de la campagne agricole. A partir du mois de mars où les pluies commencent à devenir moins abondantes et les besoins en eau des cultures s'accroissent, la demande en eau d'irrigation devient plus importante et elle atteint un maximum de 84 Mm^3 au mois de Juillet.

Conclusion générale

Au cours des vingt dernières années, le Maroc a souffert d'un déficit permanent en eau, dû essentiellement à des conditions climatiques très irrégulières et une demande croissante en eau. Cette faiblesse des disponibilités hydriques peut entraver l'essor économique du pays et compromettre les perspectives de croissance de nombreux secteurs d'activités, dont le tourisme, l'industrie et l'agriculture.

La vulnérabilité de l'agriculture vis-à-vis de la rareté de l'eau s'explique par sa forte consommation en eau, d'où la nécessité d'une réflexion sur les outils et instruments d'évaluation de la situation et d'orientation des politiques vers une meilleure valorisation de l'eau.

Cette étude vise l'élaboration d'un modèle de programmation non linéaire. Il s'agit d'un outil d'analyse et d'aide à la décision, en matière de choix de politique concernant l'allocation de la ressource eau tout en permettant une meilleure réflexion sur la question de la valorisation de l'eau par le secteur agricole.

L'analyse des résultats révèle des écarts importants entre les prix économique de l'eau selon les zones agricoles.

Le prix économique moyen de l'eau à l'échelle du bassin s'élève à 1.983 DH le mètre cube et de l'ordre de 4 DH le mètre cube pour l'eau de surface ce qui explique la rareté de l'eau au niveau de ce bassin. En effet, les nappes sont déficitaires même dans une année normale, -6 Mm³ pour la nappe Chtouka et -54 Mm³ pour la nappe Souss. Cette situation devra s'accroître avec les années de sécheresse.

Vu ce constat, la recherche de nouveaux instruments de contrôle comme la taxation de l'eau souterraine s'impose si on souhaite augmenter le prix de l'eau, préserver au mieux les réserves en eau et éviter un recours massif de l'agriculture de la région à l'eau souterraine, ce qui peut avoir des conséquences graves sur le plan environnemental.

Concernant l'eau superficielle, le tarif actuel s'est avéré très bas dans certaines zones agricoles par rapport au coût d'opportunité de la ressource eau au niveau du bassin et donc la révision de ce tarif à la hausse est nécessaire pour que le m³ d'eau d'irrigation puisse être valorisé le mieux possible.

Références bibliographiques

Agoumi A., A. Debbarh, Ressources en eau et bassins versants du Maroc : 50 ans de développement (1955-2005).

A.B.H.S.M, Agence du bassin hydraulique du **Souss-Mass** (www.abhsm.ma)

Agence du Bassin Hydraulique de Souss-Massa, Etude de révision du Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau (PDAIRE) des bassins du Souss Massa ; Mars 2007

A.G.R., 1996. Étude de la tarification de l'eau d'irrigation au Maroc. Mission 1.2 et 1.3 diagnostique du système tarifaire.

A.G.R., 2002. Administration du génie rural. Etude de l'irrigation privée - DDGI 2002.

Akesbi N., 2005. Evolution et perspectives de l'agriculture marocaine.

Arfini F., Q. Paris, 1995. A positive mathematical programming model for regional analysis of agricultural policies. Proceedings of the 40th Seminar of the European Association of Agricultural Economists. Ancona, Italy, pp. 17-35.

Barkaoui A., J.P. Butault, 1999. Positive Mathematical Programming and Cereals and Oilseeds Supply within EU under Agenda 2000. Paper presented at the IX European Congress of Agricultural Economists, Varsaw, August 24-28 1999.

Baroud et El Arabi, 1996 . Les ressources en eau et les équipements hydro-agricoles dans la zone du Souss Massa.

Barreteau O. et al., 2006. Niveaux d'organisation pour la gestion des conflits d'usage: étude de cas dans le bassin versant de l'Orb. janvier 2006.

Belghiti M., 2005. Gestion de l'eau d'irrigation au Maroc. Rabat 2005.

Bourchich N., 2004. Mémoire de fin d'étude : gestion de la rareté et valorisation de l'eau d'irrigation, cas du périmètre des Doukkala. Juillet 2004.

Bzioui M., 2004. Rapport national sur les ressources en eau au Maroc. Novembre 2004
Projet de Gestion des Ressources en eau. Etude de l'irrigation privée. Inventaire et potentialités.

Cai X., 1999 A Modeling Framework for Sustainable Water Resources Management; Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy. The University of Texas at Austin

Cai X., et al., 2004 Modeling Water Resources Management at the Basin Level. Methodology and Application to the Maipo River Basin. International food policy research institute Washington, d.c. research report 149.

Chantreuil F., A. Gohin, 1999. La programmation mathématique positive dans les modè-

les d'exploitation agricole. Mars 1999.

Charnes A., W.W. Cooper, and E. Rhodes, 1978. Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.

Doukkali M.R., 2005A. Conférence du DSH. Gestion de l'Eau d'Irrigation dans le Contexte de Libéralisation du Commerce Extérieur. 3 Février 2005

Doukkali M.R., 2005B. Water institutional reforms in Morocco. *Water Policy* 7 pp. 1-19. IWA Publishing 2005.

Doukkali M.R., T. Roe, Y. Tsur, and A. Dinar, 2004. Irrigation Water Pricing: Policy implications based on international comparison. *Environment and development Economics*, 9: 6 pp. 735-755. Cambridge University Press.

Economie de l'eau d'irrigation, 1999. Transfert de technologie en agriculture. N°58. juillet 1999.

El Badraoui et Oubalkace, 2006. Gestion de la demande en eau en méditerranée, progrès et politiques : réorientation de la politique nationale de l'eau.

FAO., 2006. Stakeholder-oriented valuation to support water resources management processes.

Hazell P.B.R., R.D. Norton, 1986. Mathematical programming for economic analysis in agriculture. Macmillan Publishing Compagny.

Heckelei T., 1997. Positive Mathematical Programming : review of the standard approach. Working paper 97/03. CAPRI.

Heidecke, C., A. Kuhn, 2006. Calculating Feasible Charges for Irrigation Water in the Drâa Valley in Southern Morocco. In: *Journal of Agriculture and Marine Science*. Oman.

Herzenni A., 2000. Les offices régionaux de mise en valeur agricole (ORMVA), les associations d'usagers des eaux agricoles (AUEA) et la gestion participative de l'irrigation (GPI). Janvier 2000.

Howitt, R. E., (1995). Positive mathematical programming. *American journal of agriculture economics*, 77 pp. 329-342.

McKinney, D.C., X. Cai, M.W. Rosegrant, C. Ringler, and C.A. Scott., 1999. Integrated Basin-Scale Water Resources Management Modeling: Review and Future Directions, IWMI SWIM Paper No. 6. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

Ministère de l'Agriculture, du Développement rural et des Pêches maritimes, 2004.

Montginoul M., 1997. Une approche économique de la gestion de l'eau d'irrigation: des instruments, de l'information, et des acteurs. Thèse en sciences économiques, Université Montpellier I, 1997.

ORMVASM : Office régional de mise en valeur agricole de Souss-Massa., Décembre intégré centré sur la petite et moyenne hydraulique (DRI-PMH). 30 avril 2001.

Ringler *et al.*, 2004. Water allocation policies for the Dong Nai River Basin in Vietnam: an integrated perspective, EPTD discussion papers 127, International Food Policy Research Institute (IFPRI).

Rosegrant *et al.*, 2000. Integrated economic-hydrologic water modeling at the basin scale. The Maipo River basin. *Agricultural Economics* 24(1): 33-46.

Rosegrant M. W., C. M. Daene, X. Cai, C. Ringler, and C. A. Scott, 2006. Modeling Water Resources Management at the Basin Level: Review and Future Directions.

Secrétariat d'Etat chargé de l'eau, Débat national sur l'eau, novembre 2006.

Rosegrant *et al.* 2004, Water and Food to 2025. Policy Responses to the Threat of Scarcity

Yacoubi soussane M., 1999. Ressources en eau du Maroc bilan, perspectives et plan d'action.

Young, R.A., 1995. Coping with a severe sustained drought on the Colorado river: Introduction and overview. *Water Resources Bulletin* 31(5): 779-788.

Annexes

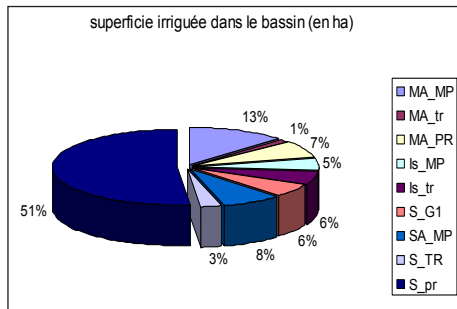


Figure 2. Répartition des terres irriguées

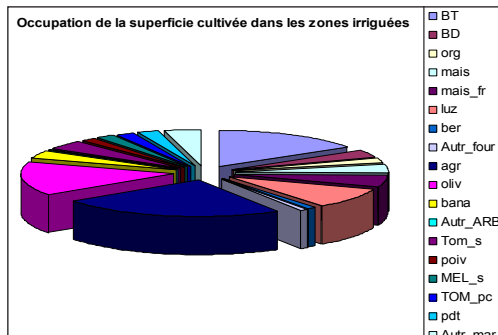


Figure 3. Occupation de la superficie cultivée dans les zones irriguées

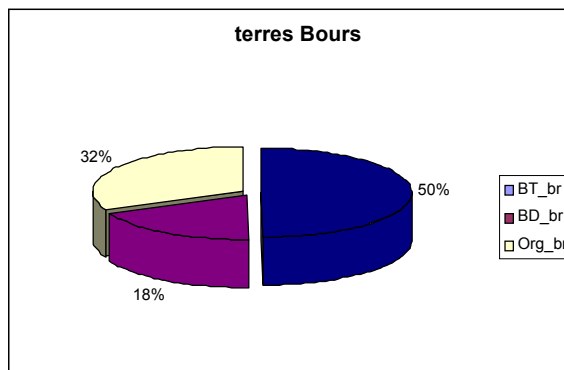


Figure 4. Occupation des terres cultivées en Bour

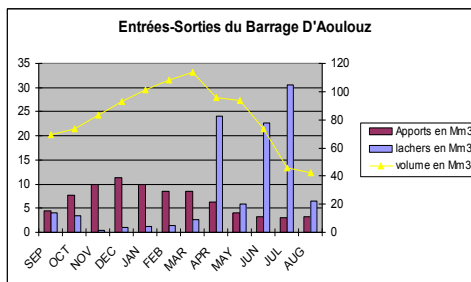


Figure 5. L'évolution des entrées, des sorties du barrage Aoulouz

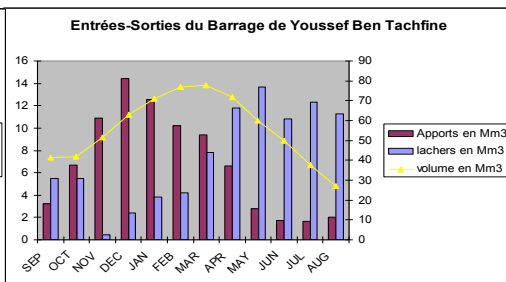


Figure 6. L'évolution des entrées, des sorties et du volume du barrage Youssef Ben Tachfin

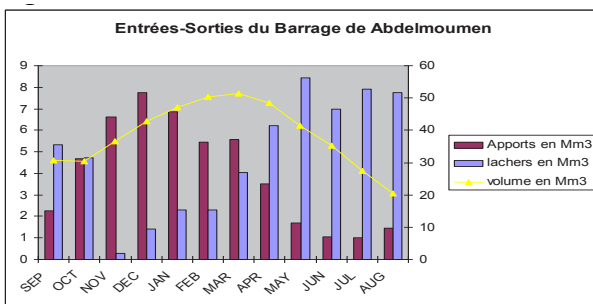


Figure 7. L'évolution des entrées, des sorties et du volume du barrage Abdelmoumen

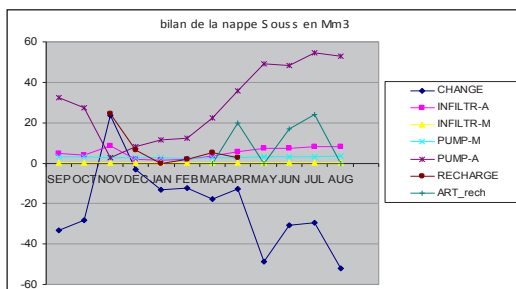


Figure 8. Bilan de la nappe Sous

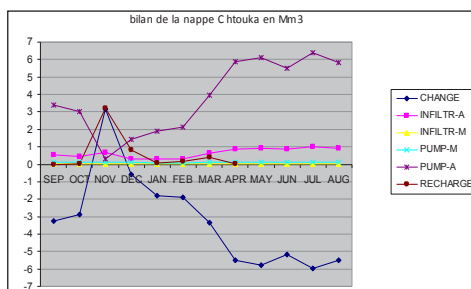


Figure 9. Bilan de la nappe Chtouka

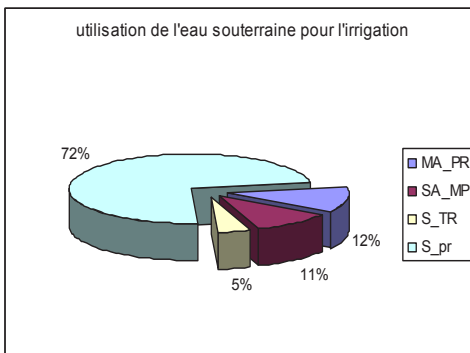
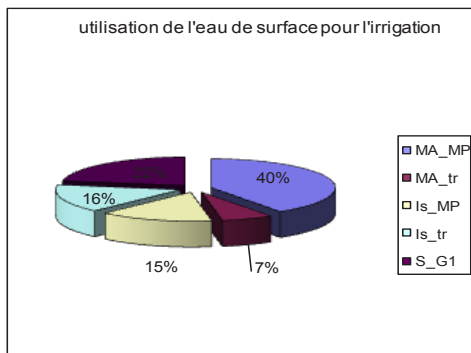


Figure10. Les volumes d'eau utilisés pour l'irrigation par zone agricole

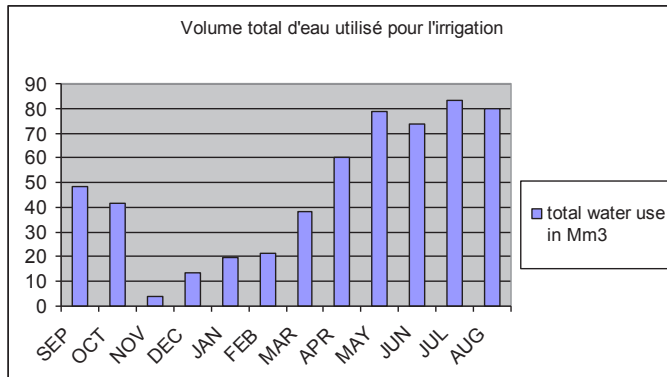


Figure 11. Evolution de la demande en eau d'irrigation au niveau du bassin de Souss-Massa (Mm³)