



UNIVERSITE SULTAN MOULAY SLIMANE
Faculté des Sciences et Techniques
Béni-Mellal

Centre d'Etudes Doctorales « Sciences et Techniques »
Formation Doctorale « Ressources Naturelles, Environnement et Santé »

THÈSE

Présentée par

Hayat LIONBOUI

Pour l'obtention du grade de

Docteur

Spécialité : Sciences de l'environnement
Option : Gestion et valorisation des ressources en eau

**Modélisation agro-économique dynamique pour la
gestion durable des ressources en eau dans les zones arides
et semi-arides : cas du sous bassin de Tadla, Maroc**

Soutenue le 19 Juillet 2018 devant la commission d'examen:

Khalid HABBARI , Vice-Doyen chargé de la Recherche Scientifique. FST, Béni Mellal.	Président
Abdelaziz ABBAD , Professeur à la Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech.	Rapporteur
Abderrahim JAOUAD , Professeur à la Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech.	Rapporteur
Mustapha MABROUKI , Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques, Béni Mellal.	Rapporteur
Zehor AIT YACINE , Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques, Béni Mellal.	Examinatrice
Abdelali BOULLI , Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques, Béni Mellal.	Directeur de thèse
Aziz HASIB , Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques, Béni Mellal.	Co-Directeur de thèse

AVANT PROPOS

- **Nom et Prénom de l'auteur :** Hayat LIONBOUI.

- **Intitulé du sujet de recherche :**

Modélisation agro-économique dynamique pour la gestion durable des ressources en eau dans les zones arides et semi-arides.

- **Laboratoire de recherche :**

Laboratoire Environnement et Valorisation des Agro-Ressources (EVAR) de la faculté des sciences et techniques, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal en collaboration avec l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Unité de Recherche sur les Systèmes de Production en Irrigué (URSPI).

- **Noms et Prénoms des directeurs de recherche :**

- Co-encadrant : Professeur Aziz HASIB. Faculté des sciences et techniques, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal.

- Encadrant : Professeur Abdelali BOULLI. Faculté des sciences et techniques, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal.

- **Date de commencement de la recherche :** Septembre 2014.

- **Production scientifique :**

a) Publications :

1. Lionboui H., Benabdelouahab T., Hasib A., Elame F., Boulli A. (2018) Dynamic Agro-Economic Modeling for Sustainable Water Resources Management in Arid and Semi-arid Areas. In: Hussain C. (eds) Handbook of Environmental Materials Management. Springer, Cham. Doi.org/10.1007/978-3-319-58538-3_114-1.
2. Lionboui, H., Benabdelouahab, T., Elame, F., Hasib, A., et Boulli, A. (2018). Estimating the economic impacts of climate change on agricultural water management indicators. *Pertanika Journal of Science and Technology*. 26 (2): 749 - 762 (2018). ISSN: 0128-7680 © 2018 University Putra Malaysia Press.
3. Lionboui, H., Benabdelouahab, T., Elame, F., Hasib, A., et Boulli, A. (2016). Multi-year agro-economic modelling for predicting changes in irrigation water

management indicators in the Tadla sub-basin. *International Journal of Agricultural Management*. Volume 5(4):96-105.

4. Lionboui, H., Benabdelouahab, T., Hasib, A., et Boulli, A. (2016). Analysis of Farms Performance Using Different Sources of Irrigation Water: A Case Study in a Semi-Arid Area. *International Journal of Agricultural Management and Development*. Volume 6(2): 145-154.
5. Lionboui, H., Fadlaoui, A., Elame, F., et Benabdelouahab, T. (2014). Water pricing impact on the economic valuation of water resources. *International Journal of Education and Research* Volume 2(6):147-166.

b) Communications orales :

- Hayat LIONBOUI, Fouad ELAME, Tarik BENABDELOUAHAB, Aziz HASIB, et Abdelali BOULLI. « Impacts économiques des changements climatiques sur la gestion de l'eau au Tadla ». La 6^{ème} édition du congrès international Eaux, Déchets et Environnement. 12 – 14 Décembre 2017, à la Faculté des sciences et techniques, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal, Maroc.
- Hayat LIONBOUI, Tarik BENABDELOUAHAB, Aziz HASIB et Abdelali BOULLI. « Analyse des performances des exploitations agricoles utilisant différentes sources d'irrigation : cas du périmètre irrigué de Tadla ». Premier Congrès International Polydisciplinaire CIP1 sur "les Enjeux stratégiques du Développement durable Intégré en Afrique". 5-6 Juin 2015, à la Faculté Polydisciplinaire, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal, Maroc.

Dédicace

A ma chère mère. Maman tu me manques tellement, j'aurais vraiment voulu te garder plus longtemps. Repose en paix et sois certaine de toujours rester vivante en moi car : « Les morts ne sont pas morts, seul l'oubli des vivants qui fait mourir les morts ».

A mon Cher père. Tu es mon tout premier enseignant, tu m'as légué le sens de l'engagement. Merci pour tous les bienfaits et sacrifices consentis pour moi. Merci d'avoir été tout simplement mon papa, que Dieu te garde pour nous protéger encore et encore.

A mon cher mari. Tu étais toujours présent pour m'aider et pour enrichir ce travail. Merci d'avoir toujours fait preuve de patience à mon égard, Merci pour ton adaptation à une série d'événements parfois pour les moins inattendus. Merci à Dieu de t'avoir mis sur mon chemin.

A mes enfants Alae et Ahmed. Vos sourires me comblent de bonheur et ravivent chez moi la motivation et l'espoir à chaque fois que je vous regarde. Votre présence dans ma vie m'a permis de réaliser cette thèse avec davantage de sérénité.

Remerciements

Après un long parcours et à l'heure où j'apporte la touche finale à ce document, je tiens à remercier tout d'abord les personnes qui sans lesquelles ce parcours n'aurait pas été réalisé.

En premier lieu, je voudrais exprimer ma profonde gratitude à Messieurs le Doyen **Professeur Ahmed ZEGHAL** et le Vice doyen de la recherche scientifique **Professeur Khalid HABBARI**, pour leurs efforts et leur contribution pour le bon déroulement des procédures administratives aboutissant à la soutenance de notre thèse.

Je remercie également Monsieur le Directeur du Centre des Etudes Doctorales de la faculté des sciences et techniques de Béni Mellal **Professeur Abderrazak EL HARTI**. Qu'il trouve ici ma reconnaissance et mon respect.

Je tiens ensuite à exprimer mes plus sincères remerciements et ma grande reconnaissance à mon encadrant **Professeur Abdelali BOULLI** pour le plaisir que j'ai eu en travaillant avec lui. La clarté de ses idées et sa rigueur scientifique m'ont beaucoup apporté tout au long de ce parcours. J'ai trouvé dans ses paroles un jugement juste et de valeur, des remarques constructives sur l'orientation des principaux axes de cette thèse. Son soutien moral m'a donné toute la force pour mener à bien cette recherche. Je lui suis profondément reconnaissante et je lui manifeste toute ma gratitude et mon respect.

Je tiens à remercier également **Professeur Aziz HASIB** le Co-encadrant de ce travail de thèse, qui s'est investi dans le suivi de mon travail avec un intérêt et une grande confiance qui ont été pour moi de très forts encouragements. Grand merci encore à lui en tant que Responsable de mon laboratoire d'accueil, Environnement et Valorisation des Agro-Ressources (**EVAR**). Je le suis profondément reconnaissante.

Mes remerciements spéciaux vont à la structure à laquelle j'appartiens, à savoir **l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)**, pour m'avoir autorisé à effectuer cette thèse de doctorat. Merci d'avoir cru en moi et de m'avoir donné l'opportunité de réaliser ce projet si cher à ma personne. J'adresse mes remerciements aussi à tous mes collègues à l'INRA.

A Messieurs **Les membres de jury**. J'exprime ma plus profonde reconnaissance pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de faire partie de mon jury de thèse. Nul doute que leurs remarques et suggestions ne manqueront pas d'enrichir ce travail. Qu'il soit permis de vous témoigner ma très haute considération et ma profonde gratitude.

Je tiens à exprimer également ma gratitude à tous le personnel de l'Office de Mise en Valeur Agricole, du Centre Régional de Météorologie et de la Direction Régionale de l'Agriculture, pour leur collaboration et leur serviabilité.

Enfin, c'est ici l'occasion de remercier aussi chaleureusement ma famille, ma belle-famille, mes proches et mes amis. Ils sont des piliers sur lesquels je me suis toujours appuyée.

Résumé

La ressource eau est devenue de plus en plus rare, rareté qui se posera avec acuité pendant les années à venir au Maroc et dans d'autres pays du monde. En outre, l'utilisation non rationnelle des ressources en eau d'irrigation représente une contrainte majeure au développement dans les zones agricoles du Maroc, y compris le sous-bassin de Tadla. Une meilleure valorisation et l'adoption de pratiques plus économes de l'eau s'avèrent de plus en plus indispensables, surtout dans des régions arides et semi-arides. Ceci peut être accompli en s'inscrivant dans une vision exhaustive de gestion et de suivi de l'eau d'irrigation en intégrant les dimensions agronomique, économique et hydrologique dans l'analyse de la gestion de cette ressource au niveau des régions étudiées. Ainsi, il est essentiel que ces zones disposent d'instruments efficaces pour gérer et organiser le contrôle et l'allocation des ressources en eau et assurer leur protection et leur conservation.

Dans ce contexte, cette recherche s'est focalisée sur le cas du sous-bassin de Tadla, où il y a eu une diminution marquée de l'approvisionnement en eau d'irrigation. L'objectif est de procéder à une analyse de la pérennité des ressources hydriques dans le contexte actuel de politiques agricoles tout en estimant les évolutions probables des paramètres de gestion de l'eau et de la sensibilité du secteur agricole à d'éventuels chocs externes. Compte tenu de la nature multidimensionnelle de la gestion de l'eau, cette recherche présente une modélisation agronomique, économique et hydrologique intégrée pour le sous-bassin de Tadla au Maroc, qui classe les zones agricoles selon les différentes sources d'eau d'irrigation. Pour alimenter la base de données de ce cadre de modélisation, et pour donner une idée claire du fonctionnement du système agro-économique, à la base de la gestion actuelle de l'eau dans la zone d'étude, nous avons caractérisé l'efficience technico-économique et la valorisation de l'eau à travers l'étude des principales filières agricoles dans la zone de Tadla. Ainsi, l'efficience technico-économique a été analysée pour les exploitations agricoles de Tadla par la méthode d'analyse par enveloppement des données (DEA). La caractérisation du système agro-économique, a été suivie par une modélisation de ce système et ensuite par une analyse de gestion de l'eau au niveau de la zone d'étude. Le modèle proposé est désagrégé par unité territoriale, par communes, par sources d'irrigation et par spéculations agricoles. Cet outil permet de prévoir les variations interannuelles de certains indicateurs socio-économiques de gestion de l'eau selon différents scénarii. Pour tester la sensibilité de la valorisation de l'eau à des chocs externes au niveau du modèle, nous avons simulé, d'abord, l'impact d'une augmentation du taux d'équilibre d'eau d'irrigation appliquée à l'eau de surface au niveau du périmètre irrigué de Tadla. Ensuite, nous avons testé un autre type de chocs exogènes relatif aux changements climatiques et nous avons examiné leurs impacts potentiels sur la gestion de l'eau agricole à long terme au niveau de la région. Parmi les principaux résultats de cette recherche, le prix économique de l'eau d'irrigation qui est de l'ordre de 1.33 MAD/m³ pour le sous bassin de Tadla. Globalement, le modèle élaboré peut constituer un outil d'analyse et d'aide à la prise de décision en matière de choix politique concernant l'allocation de la ressource eau et permet une évaluation de la valorisation de l'eau à l'échelle du bassin de Tadla.

Enfin, cette recherche fournit un cadre de modélisation viable pour la gestion durable des ressources en eau afin d'aider les décideurs à améliorer la gestion de l'eau d'irrigation et à atténuer les effets de chocs exogènes sur la durabilité du système au niveau des zones arides et semi-arides.

Mots-clés :

Gestion de l'eau ; Modélisation intégrée ; Changements climatiques ; Profit agricole ; Efficience technico-économique ; Valorisation de l'eau ; Tadla.

ملخص

أصبحت الموارد المائية نادرة على نحو متزايد، هذا الوضع من شأنه أن يظهر بشكل حاد خلال السنوات القادمة في المغرب وبلدان أخرى. بالإضافة إلى ذلك، فإن الاستخدام غير المعقلن لمياه الري يشكل عائقاً كبيراً أمام التنمية الزراعية بالأحواض المائية في المغرب، بما في ذلك الحوض المائي لتادلة.

إن استغلالاً أنجع للمياه وكذا اعتماد أساليب أكثر كفاءة لاقتصاد مياه الري أصبحت من الأهمية بمكان، وخاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. يمكن تحقيق هذا المبتغى من خلال الانخراط في رؤية شاملة لإدارة ومراقبة مياه الري عبر دمج الأبعاد المتمثلة في الجوانب الزراعية والاقتصادية والهيدرولوجية في تحليل إدارة هذا المورد في المناطق التي شملتها الدراسة.

بالتالي، فمن المفروض أن تتوفر هذه المناطق على أدوات فعالة لإدارة وتنظيم مراقبة الموارد المائية من جهة، ومن جهة أخرى من أجل تأمين توزيع ناجح للموارد المائية وحمايتها والحفاظ عليها. وفي هذا السياق، ركزت هذه الدراسة على حالة حوض تادلة، حيث لوحظ انخفاض مهم في إمدادات مياه الري. الهدف من هذا البحث هو تحليل استدامة الموارد المائية في السياق الحالي للسياسة الزراعية مع مراعاة التغيرات المحتملة في مشاريع إدارة المياه وحساسية القطاع الزراعي للصدمات الخارجية المحتملة.

ونظراً للطبيعة المركبة ومتعددة الأبعاد لإدارة المياه، يقدم هذا البحث نمذجة تأخذ بعين الاعتبار الجوانب الهيدرولوجية، الزراعية والاقتصادية للحوض الفرعي لتادلة بالمغرب، وتصنف المناطق الزراعية وفقاً للمصادر المختلفة لمياه الري. تمت تغذية قاعدة البيانات الخاصة بإطار النمذجة، وكذا إعطاء فكرة واضحة عن كيفية عمل نظام الزراعة الاقتصادية، على أساس إدارة المياه الحالية في منطقة الدراسة. كما تم تقييم الكفاءة الفنية والاقتصادية لتأمين استغلال المياه من خلال دراسة القطاعات الزراعية الرئيسية في منطقة تادلة. وهكذا، تم تحليل النجاعة التقنية والاقتصادية لمزارع تادلة اعتماداً على الطريقة التحليلية لتغليف البيانات.

بعد توصيف نظام الزراعة الاقتصادية، تمت نمذجة هذا النظام ومن ثم تحليل إدارة المياه في منطقة الدراسة. النموذج المقترح مصنف حسب الوحدات والجماعات الترابية وكذا أنواع مصادر الري وأنواع المزرعات. هذه الأداة تتوقع الاختلافات بين السنوات من خلال تتبع بعض المؤشرات الاجتماعية والاقتصادية لإدارة المياه في ظل سيناريوهات مختلفة.

من أجل اختبار حساسية النموذج لتأمين المياه في ظل الصدمات الخارجية، فقد تمت محاكاته، أولاً، لتأثير زيادة معدل توازن مياه الري المطبقة على المياه السطحية في المنطقة المروية من تادلة، ثانياً، تم اختبار نوع آخر من الصدمات الخارجية المتصلة بتغير المناخ ودرسا التأثيرات المحتملة على إدارة المياه الزراعية على المدى الطويل في المنطقة.

أظهرت نتائج هذا البحث، أن النموذج المطور يمكن أن يكون أداة للتحليل ويساعد في اتخاذ الخيارات السياسية والقرارات المتعلقة بتخصيص الموارد المائية، كما يمكن من إنجاز تقييم عام لتأمين المياه بحوض تادلة. من بين النتائج الرئيسية لهذا البحث، يبلغ السعر الاقتصادي للمياه 1.33 درهماً / متر مكعب في المتوسط.

وأخيراً، قدم هذا البحث في إطار نموذج قابلة للتطبيق من أجل الإدارة المستدامة للموارد المائية من أجل مساعدة واضعي السياسات على تحسين إدارة مياه الري والتخفيف من آثار الصدمات الخارجية على استدامة النظام في المناطق القاحلة وشبه القاحلة.

كلمات المفتاح:

إدارة المياه؛ النمذجة المتكاملة؛ التغير المناخي؛ الربح الزراعي؛ التقنية والكفاءة الاقتصادية؛ كفاءة استخدام المياه؛ تادلة.

Abstract

The water resource has become increasingly scarce. This situation will become acute in the future years in Morocco and in other countries of the world. Furthermore, non-rational use of irrigation water resources constitutes a major constraint on agricultural development in Morocco's watersheds, including the Tadla sub-basin. A better valuation and adoption of more water-efficient practices are becoming increasingly necessary, especially in arid and semi-arid regions. Thus, it is essential in these areas to have effective instruments to manage and organize the control and allocation of water resources and ensure their protection and conservation.

In this context, the aim of this work is to analyze water resources sustainability in the current context of agricultural policies with estimating the likely changes in water management parameters and in the sensitivity of the agricultural sector to possible external shocks. Given the multidimensional nature of water management, this research presents an integrated agronomic, economic and hydrological modeling for the Tadla sub-basin in Morocco, which classifies agricultural areas according to different sources of irrigation water. To promote the database of this modeling framework and to give a clear idea about the agro-economic system functioning underlying the current water management in the study area, we have characterized Technico-economic efficiency and water valuation through the study of the main agricultural crops in the Tadla region. Hence, technico-economic efficiency was analyzed for the Tadla farms using the Data Envelopment Analysis method (DEA). The characterization of the agro-economic system was followed by a modeling of this system and then by an analysis of water management in the study area. The proposed model is disaggregated by territorial unit, municipalities, water irrigation sources and by crops. This tool allows decision-makers to predict the interannual variations of selected socio-economic indicators of water management according to different scenarios. To test the sensitivity of water valuation to external shocks, we first simulated the impact of an increase in the selling price of irrigation water applied to surface water in the irrigated perimeter of Tadla. Another type of exogenous shocks related to climate change was tested and we examined their potential impacts on the long-term agricultural water management in the region. Among the main results of this research, the water shadow price which is of 1.33 MAD/m³ on average for Tadla sub-basin.

Overall, this research provides a viable modeling framework for sustainable water resources management in order to help decision-makers to improve irrigation water management and mitigate the exogenous shocks effects on the system sustainability in arid and semi-arid areas.

Keywords:

Water Management, system sustainability, integrated modeling, climate change, Technico-economic efficiency, water valuation.

Liste des abréviations

A_GW du réseau	Agriculteur ayant un accès facile à la nappe et n'ayant pas accès à l'eau du réseau
A_SGW	Agriculteur ayant un accès facile à la nappe et un accès à l'eau du réseau
A_SW réseau	Agriculteur ayant un accès restreint à la nappe et un accès à l'eau du réseau
ABHOER	Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia
CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CESE	Conseil Economique Social et Environnemental
CONOPT	Solveur pour optimisation non linéaire
COP	<i>Conferences of the Parties</i>
CRS	Modèle à rendement d'échelle constant
DEA	Méthode d'analyse par enveloppement des données
DMN	Direction de la Météorologie Nationale
DMU	Unité de prise de décision
EA	Efficiencce allocative
EE	Efficiencce économique
ET	Efficiencce technique
ETG	Efficiencce technique globale
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
GH	Grande hydraulique
Ha	Hectare
IP	Irrigation Privée
m ³	Mètre cube
MAD	Dirham marocain
MAPM	Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime
MCOC	Méthode des moindres carrés ordinaires corrigés
MEMEE	Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement
MV	Méthode de maximum de vraisemblance
ONU	Organisation des Nations Unies
ORMVAs	Offices Régionaux de Mise en Valeur Agricole

ORMVAT	Office Régionale de Mise en Valeur Agricole de Tadla
PAR	Plan Agricole Régional
PGF	Productivité Globale des Facteurs
PMH	Petite et moyenne hydraulique
PMV	Plan Maroc Vert
PNEEI	Programme National d'Economie de l'eau et d'irrigation
R_A	Agriculteur ayant un accès restreint à la nappe et n'ayant pas accès à l'eau du réseau
TadMod	Modèle de Tadla pour la gestion de l'eau
UTA	Unité Territoriale Agricole
UTA*	Unité de Travail Agricole
VA	Valeur Ajoutée
VRS	Modèle à rendement d'échelle variable

Liste des figures

Figure 1 : Connexions entre les chapitres de la table des matières	5
Figure 2: Organisation du secteur de l'eau au Maroc	9
Figure 3: La frontière de production stochastique et déterministe.	25
Figure 4 : Trame en irrigation gravitaire	36
Figure 5 : Evolution des redevances d'eau d'irrigation au niveau de Tadla.	41
Figure 6 : Situation géographique du sous- bassin de Tadla.....	47
Figure 7 : Précipitations et températures moyennes à Tadla.....	48
Figure 8 : Les ressources hydriques au niveau de Tadla.....	49
Figure 9: évolution de la superficie des principales cultures au niveau du périmètre irrigué de Tadla.....	51
Figure 10: Efficience technico-économique moyenne selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation.....	60
Figure 11: Efficience économique moyenne et valorisation de l'eau d'irrigation au niveau des différents types d'exploitations agricoles.....	63
Figure 12 : Valorisation de l'eau et marge nette moyennes des principales cultures.	65
Figure 13 : La structure du modèle de gestion de l'eau élaboré pour le sous-bassin de Tadla.....	71
Figure 14 : Parts des cultures observées dans les différentes unités territoriales agricoles du sous-bassin de Tadla (2009-2010).....	74
Figure 15 : L'évolution du prix économique de l'eau d'irrigation au niveau du sous-bassin de Tadla.....	77
Figure 16 : Evolution des consommations en eau au niveau des unités territoriales agricoles du sous-bassin de Tadla.....	78
Figure 17 : L'évolution de la valeur ajoutée totale au niveau du sous-bassin de Tadla au cours des années.....	82
Figure 18 : L'évolution du prix économique de l'eau d'irrigation selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation au cours de l'année de base.....	89
Figure 19 : L'évolution de l'offre et de la demande en eau d'irrigation au niveau du périmètre irrigué de Tadla au cours de l'année de référence.....	91
Figure 20 : Effet de la sécheresse sur le prix économique de l'eau d'irrigation au niveau du périmètre irrigué de Tadla selon le mode d'accès à l'eau.	93
Figure 21 : Effet de sécheresse sur l'utilisation de l'eau d'irrigation	95
Figure 22 : Effet de l'augmentation du tarif de l'eau d'irrigation sur les consommations en eau.	99
Figure 23 : Le linkage du modèle de Tadla proposé.....	108
Figure 24: Le réseau des nœuds au niveau du sous-bassin de Tadla	109
Figure 25 : Evolution de la marge nette à l'hectare selon les scénarii climatiques.....	111
Figure 26 : Evolution du profit agricole total selon les scénarii climatiques.....	112
Figure 27 : Evolution du prix économique de l'eau d'irrigation selon les scénarii climatiques	113
Figure 28 : Evolution de la consommation totale en eau selon les scénarii climatiques	114
Figure 29 : Evolution des parts de cultures selon les scénarii climatiques	116

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Efficiences globales du système gravitaire en %	38
Tableau 2 : la moyenne des dix dernières années des pertes d'eau d'irrigation	38
Tableau 3 : Volumes d'eau moyens consommés par culture au Tadla (Campagnes agricoles 2005-2014)	39
Tableau 4 : Part du prix de l'eau d'irrigation par rapport aux charges totales	42
Tableau 5 : Taux de subventions des projets d'irrigation localisée et aménagements complémentaires.....	43
Tableau 6: Répartition du nombre d'exploitations par classe de taille.	52
Tableau 7 : Distribution de fréquence des indices d'efficience	58
Tableau 8 : Valorisation de l'eau et marge net selon les différents types d'exploitations agricoles	62
Tableau 9 : Valorisation de l'eau par les principales cultures de Tadla.....	64
Tableau 10 : Distribution de fréquence des valeurs du prix économique de l'eau d'irrigation au niveau des zones agricoles observées	76
Tableau 11 : Variation de la part des cultures au niveau du sous-bassin de Tadla	80
Tableau 12 : Valeur ajoutée au niveau des unités territoriales agricoles observées	81
Tableau 13 : Valeur du coût d'opportunité de l'eau au Tadla par zone agricole et par mode d'accès à l'eau (MAD/m ³).....	90
Tableau 14 : Marge nette selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation au niveau du périmètre irrigué de Tadla	92
Tableau 15 : Valeur du prix économique de l'eau au Tadla par zone agricole selon le mode d'accès à l'eau	94
Tableau 16 : Superficies cultivées au niveau du périmètre irrigué de Tadla.	96
Tableau 17 : La marge nette réalisée selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation.	97
Tableau 18 : Prix économique de l'eau au Tadla par zone agricole selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation.....	98
Tableau 19 : Effet de l'augmentation du tarif de l'eau d'irrigation sur la superficie allouée aux cultures	100
Tableau 20 : Variation de l'assolement induite par une augmentation du prix de l'eau.....	101
Tableau 21 : Taux de diminution de la marge nette par hectare selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation.....	102
Tableau 22 : Principaux résultats de la simulation : Augmentation de prix de l'eau en conditions de sécheresse.....	103

Table des matières

AVANT PROPOS	I
Dédicace.....	III
Remerciements.....	IV
Résumé.....	VI
Résumé en Arabe	VII
Abstract	VIII
Liste des abréviations.....	IX
Liste des figures	XI
Liste des Tableaux	XII
Introduction générale	1
Partie 1 : Etude bibliographique	6
Chapitre I : L’agriculture irriguée et changements climatiques	7
I.1. Changements climatiques et incertitudes dans l'approvisionnement en eau.....	7
I.2. Le secteur de l’irrigation au Maroc	10
I.2.1. La grande hydraulique	11
I.2.2. La petite et moyenne hydraulique.....	11
I.2.3. L’irrigation Privée.....	12
I.3. Le choix de l’échelle bassin	13
I.3.1. Définition d’un bassin versant	13
I.3.2. Gestion intégrée de l’eau au niveau du bassin versant	14
I.3.2.1. A l’échelle mondiale.....	14
I.3.2.2. A l’échelle du Maroc	15
Chapitre II : Efficience et modélisation appliquées à l’allocation de l’eau.....	17
II.1. Concepts de mesure de l’efficience	17
II.1.1. L’approche paramétrique	17
II.1.2. L'approche non paramétrique	26
II.2. Les modèles de gestion de l’eau à l’échelle du bassin versant.....	29
II.2.1. La prise en compte du prix de l’eau dans la modélisation des ressources hydriques	31
II.2.2. La prise en compte des changements climatiques dans la modélisation des ressources hydriques	33

Chapitre III : Etats des lieux sur la gestion de l'eau au niveau de Tadla	35
III.1. Les conditions de mise en valeur et de gestion de l'eau	35
III.2. Efficience du système d'irrigation	38
III.3. Volumes d'eau livrés aux cultures	39
III.4. La tarification de l'eau d'irrigation	40
III.5. La charge de l'eau d'irrigation dans le processus de la production	42
III.6. Les subventions hydro-agricoles	42
Partie 2 : Etude expérimentale	45
Chapitre I : Présentation de la région	46
I.1. Choix du sous-bassin de Tadla.....	46
I.2. Situation géographique.....	46
I.3. Climat.....	47
I.4. Ressources en eau	48
I.5. Pédologie.....	50
I. 6. Occupation des sols.....	50
I.7. Structure des exploitations agricoles.....	51
Chapitre II : Efficience technico-économique et valorisation de l'eau des exploitations agricoles de Tadla	53
II. 1. Introduction.....	53
II. 2. Méthodologie	54
II.2.1. Démarche méthodologique.....	54
II.2.2. Analyse des données par la méthode DEA	55
II.2.3. Indicateur de valorisation de l'eau	56
II.2.4. Données	57
II.2.5. Questionnaire.....	57
II.3. Résultats et discussions.....	58
II.3.1. Efficience technico-économique des exploitations agricoles de Tadla.....	58
II.3.2. Efficience des exploitations agricoles selon le mode d'accès à la ressource eau d'irrigation	59
II.3.3. Efficience et valorisation de l'eau d'irrigation.....	62
II.3.4. Valorisation de l'eau par les principales cultures de Tadla.....	64
II.4. Conclusion	66
Chapitre III : Modélisation interannuelle pour le suivi des indicateurs socio-économique de gestion de l'eau	68
III.1. Introduction	68

III.2. Méthodologie.....	69
III.2.1. Structure du modèle proposé.....	69
III.2.2. Données du modèle.....	73
III.3. Résultats et discussions	75
III.3.1. Prix économique de l'eau.....	75
III.3.2. L'évolution de la consommation en eau d'irrigation au niveau du sous-bassin de Tadla.....	78
III.3.3. Système de cultures.....	79
III.3.4. Valeur ajoutée	81
III.4. Conclusion.....	82
Chapitre IV : Test du modèle statique : La tarification comme instrument incitatif de l'économie de l'eau d'irrigation.....	85
IV.1. Introduction	85
IV.2. Méthodologie	86
IV.2.1. La prise en compte de la simulation test dans le modèle.....	86
IV.2.2. Les simulations appliquées pour tester le modèle statique.....	87
IV.3. Résultats et discussions	88
IV.3.1. Analyse de la situation de référence	88
IV.3.2. Résultats de la simulation « Situation de sécheresse ».....	93
IV.3.3. Résultats de la simulation : Augmentation du prix de l'eau d'irrigation... ..	98
IV.3.4. Résultats de la simulation augmentation de prix de l'eau en conditions de sécheresse.....	103
IV.4. Conclusion	104
Chapitre V : Test du modèle dynamique : Impacts économiques des changements climatiques sur la gestion de l'eau au Tadla.....	106
V.1. Introduction	106
V.2. Méthodologie.....	107
V.2.1. Linkage du modèle.....	107
V.2.2. Description du Modèle.....	108
V.3. Résultats et discussions	111
V.3.1. Profit agricole.....	111
V.3.2. Prix économique de l'eau.....	112
V.3.3. Consommation en eau	114
V.3.4. Utilisation des terres agricoles	115
V.4. Conclusion.....	116

Conclusion et perspectives	119
Références bibliographiques	
Annexe 1	
Annexe 2	

Introduction générale

Introduction générale

Le monde est confronté à des défis majeurs et croissants pour maintenir la durabilité des ressources hydriques et répondre à la demande croissante en eau (Bastiaanssen et al., 2007). La gestion durable des ressources en eau est devenue un sujet central pour la mise en œuvre de politiques sectorielles liées aux ressources en eau et un des problématiques les plus étudiées dans les laboratoires de recherches œuvrant sur les questions de gestion des ressources naturelles (Xi et Poh 2013, Qian 2016, Fu et al. 2017). Compte tenu de cette importance, la gestion de l'eau dans le monde a figuré parmi les problématiques urgentes à prendre en charge lors de la Conférence de l'ONU sur les changements climatiques (COP 22) qui a eu lieu à Marrakech en Novembre 2016. D'autant plus que la moitié des produits alimentaires dans le monde proviennent des zones irriguées et des terres drainées (Bastiaanssen et al., 2000, Lobell et al., 2003).

Au Maroc, les effets des changements climatiques peuvent être dramatiques sur l'agriculture dont la production est très liée à la quantité et à la distribution des précipitations annuelles dans les régions pluviales, d'une part, et à la quantité d'eau stockée dans les barrages et les nappes phréatiques pour les périmètres irrigués d'autre part (Benabdelouahab et al., 2016). En outre, la concurrence pour l'accès aux ressources en eau ne cesse de croître entre les secteurs. Dans ce contexte, l'agriculture considérée comme le secteur le plus consommateur d'eau avec plus de 78% des eaux mobilisées, selon le Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, risque de faire face aux problèmes liés à la gestion de l'eau qui s'imposent. Par conséquent, ce secteur est amené à augmenter sa productivité en pratiquant des assolements qui optimisent l'utilisation de l'eau de manière efficiente. Toutefois, et puisque l'eau est à la disposition des utilisateurs avec un prix fortement subventionné, les utilisateurs n'ont aucune incitation à conserver cette ressource et elle est des fois surexploitée ou gaspillée au lieu de la traiter comme une ressource rare (Lionboui et al. 2014). En plus, le coût de mobilisation de l'eau, de plus en plus élevé observé au cours des dernières années, traduit un déséquilibre croissant entre l'offre et la demande en eau au niveau de la majorité des bassins hydrauliques du pays. L'épuisement alarmant des eaux souterraines, le tarissement des sources, la détérioration de la qualité de ces eaux, ainsi que le risque de diminution des ressources en eau sous l'effet des changements climatiques, sont

autant de signes de l'aggravation de la situation (MDCE, 2015). Cela a conduit à une forte mobilisation pour asseoir des réformes institutionnelles et de politiques agricoles pour une allocation plus efficiente des ressources en eau entre les différents utilisateurs.

Avec l'entrée en vigueur des lois sur l'eau d'abord la loi 10-95 et ultérieurement la loi 36-15, les politiques de l'Etat ont été réorientées vers une gestion décentralisée des ressources en eau selon les règles de bonne gouvernance.

La gestion des ressources en eau est une thématique interdisciplinaire. Par conséquent, la modélisation intégrée, obtenue à l'aide de modèles hydro-économiques, qui représentent les aspects hydrologiques, environnementaux et économiques des systèmes de ressources en eau dans un cadre cohérent, apparaît actuellement importante (Brouwer et Hofkes 2008, Blanco-Gutiérrez et al. 2013, Kahil et al. 2016, Momblanch et al. 2016). Ces modèles ont permis aux gestionnaires de l'eau de passer d'une vision statique d'un simple problème de gestion de l'offre en eau avec un seul objectif, à une vision sur la gestion de la demande en liaison avec le concept économique à long terme (Harou et al., 2009). Souvent, les hydrologues et les agronomes s'intéressent plus au fonctionnement des systèmes hydrologiques (réservoirs ou aquifères) et agronomiques (plantes) sans tenir compte des principes économiques qui sont essentiels au développement durable. Les économistes des ressources naturelles, de leur part, ont apporté une contribution significative à la modélisation du développement durable. Cependant, leur travail simplifie généralement la complexité physique qui affecte les décisions prises sur tout le système de ressources naturelles. D'où la nécessité de rapprocher le travail des hydrologues, des agronomes et des économistes pour développer un cadre analytique visant une gestion durable des ressources en eau.

Dans cette optique, différents types de cadres de modélisation interdisciplinaire ont été mis au point pour répondre aux différentes échelles, notamment dans le domaine agro-économique (Esteve et al. 2015, Peña-Haro et al. 2009).

Dans le but d'analyser et préserver la pérennité des ressources hydriques au niveau de Tadla, une étude de modélisation des ressources en eau a été réalisée au niveau du sous bassin de Tadla. Dans cet objectif, la problématique de recherche a été définie comme la gestion à long terme et durable des ressources en eau dans les bassins versants qui se

caractérisent par un climat semi-aride et par une forte dépendance à l'agriculture irriguée et aux aléas climatiques. La gestion durable de l'eau a été prise ici comme la capacité stable et flexible d'approvisionnement en eau d'irrigation à long terme, pour répondre aux besoins en eau des cultures.

D'une manière globale, ce travail de thèse développe une méthodologie générale pour la modélisation de la gestion de l'eau dans les bassins versant dominés par une agriculture irriguée. La méthodologie adoptée est appliquée à l'étude de cas, du bassin versant de Tadla. La recherche s'est basée sur des données de terrain collectées et des enquêtes réalisées dans la région. Les problèmes dans la zone d'étude sont spécifiquement analysés, et des suggestions sont présentées sur la base des résultats de la modélisation à travers ce document.

Après cette introduction générale, le présent document est structuré en deux principales parties, en plus d'une partie relative aux conclusions et perspectives. La première partie, qui représente la partie bibliographique, met le point sur les problématiques qui s'opposent à la bonne gestion des ressources hydriques dans le contexte actuel et étale une revue bibliographique sur les méthodes utilisées lors de ce travail. La deuxième partie ou la partie expérimentale comporte cinq chapitres. D'abord, un premier chapitre introduisant la zone concernée par cette recherche. Ensuite, un deuxième chapitre qui caractérise l'efficacité technico-économique et la valorisation de l'eau à travers l'étude des principales filières agricoles dans la zone de Tadla. Une fois le système est caractérisé, l'étape suivante sera consacrée à modéliser ce système dans le troisième chapitre et par la suite à analyser et à simuler le système de gestion de l'eau au niveau de la zone d'étude. Pour tester la sensibilité de la valorisation de l'eau à des chocs externes au niveau du modèle statique, nous avons simulé dans le quatrième chapitre l'impact d'une augmentation du taux d'équilibre d'eau d'irrigation appliquée à l'eau de surface au niveau du périmètre irrigué de Tadla. Après la validation du modèle statique, le cinquième chapitre permet de tester un autre type de chocs exogènes dynamique relatif aux changements climatiques et d'examiner leurs impacts économiques potentiels sur la gestion de l'eau agricole à long terme. Enfin, en conclusion générale, une discussion globale est faite, reprenant les points clés de la thèse, puis des conclusions sont tirées et des perspectives sont proposées (Figure 1).

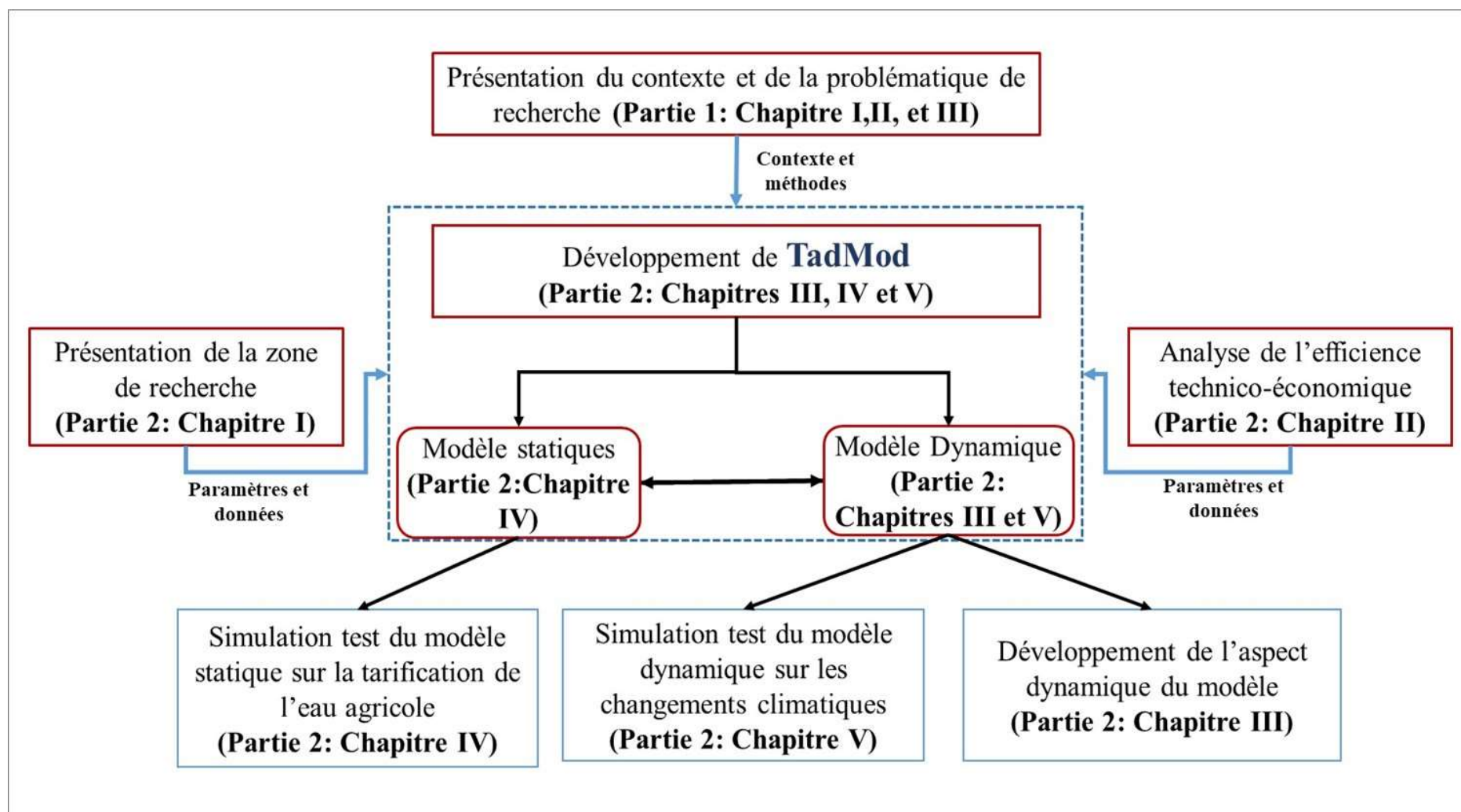


Figure 1 : Connexions entre les chapitres de la table des matières (Les flèches indiquent le sens des contributions)

Partie 1 : Etude bibliographique

Chapitre I : L'agriculture irriguée et changements climatiques

L'agriculture irriguée est un secteur stratégique important pour le Maroc, contribuant à la sécurité alimentaire et à l'emploi. Elle occupe 15% (environ 1,5 million d'hectares) de la superficie cultivée marocaine totale et contribue à hauteur de 45% en moyenne dans la valeur ajoutée agricole (MAPMDREF, 2017). Depuis son indépendance, l'irrigation a joué un rôle indéniable dans le développement socio-économique du Maroc grâce aux grands efforts déployés par les pouvoirs publics. Le code des investissements agricoles a été instauré en 1969 et devait organiser les conditions de mise en valeur des terres irriguées, favoriser la modernisation des exploitations et intensifier la production (Dahir, 1969). Aussi, de grands aménagements hydrauliques et hydro-agricoles ont été mis en œuvre, pour atteindre l'objectif escompté d'irriguer plus d'un million d'hectares.

Globalement les retombées positives de l'irrigation sur l'économie du pays ont été ressenties. L'irrigation a permis de contribuer à satisfaire les besoins alimentaires croissants de la population, d'une part, et de promouvoir un développement économique et social autour des périmètres irrigués, d'autre part (Kadiri et Abdellaoui, 2015). En fait, les zones irriguées ont joué un rôle déterminant, tant au niveau local qu'au niveau régional national. Néanmoins, avec les effets des changements climatiques ressentis, le système de production en irrigué est confronté au souci de la durabilité des ressources hydriques vu que le Maroc est actuellement classé comme étant un pays à stress hydrique (Tianyi, 2018). Par conséquent, les gestionnaires des systèmes d'irrigation doivent s'assurer que l'irrigation est optimale dans les périmètres irrigués pour faire face aux pénuries d'eau.

I.1. Les Changements climatiques et les incertitudes dans l'approvisionnement en eau

Les variations climatiques représentent l'une des incertitudes majeures autour du futur approvisionnement en eau (Asseng, 2015). Le climat et le cycle hydrologique mondial sont, en fait, deux éléments du même processus d'échange d'eau dans l'écosphère, en fonction du bilan énergétique mondial et de la circulation atmosphérique générale (Cai, 1999). Par conséquent, les changements climatiques exerceront des répercussions profondes sur les flux dans les cours d'eau et les rivières naturelles et sur la distribution

de l'eau dans les systèmes d'eau conçus artificiellement, en particulier dans les territoires semi-arides (Golubev, 1993). Au Maroc, ce sont les ressources en eau disponibles qui limitent le potentiel irrigable (Lionboui et al., 2016b). Globalement, les apports pluviométriques sur l'ensemble du territoire sont évalués à 140 milliards de mètres cubes très inégalement répartis entre les différentes régions (MEMEE, 2012). Ainsi, 15 % de la superficie totale du pays reçoit presque 50 % des apports pluviométriques. A cette variation spatiale, s'ajoute une variation inter et intra-annuelle des apports pluviométriques. Le potentiel hydraulique mobilisable par les moyens technologiques actuels (en année pluviométrique moyenne) s'élève à 22 milliards de mètres cubes dont 18 milliards en eaux de surface et 4 milliards en eaux souterraines réparties sur près de 130 nappes identifiées (MEMEE, 2014).

L'alternance de période de sécheresse et de flux hydriques considérables, voir même anormaux, est une particularité de plus en plus marquante des régimes climatiques et hydrologiques du pays (IRES, 2014). Elle diminue progressivement en allant vers l'Est dans la zone méditerranéenne et en allant vers le Sud dans la zone atlantique. Les précipitations moyennes annuelles varient de 500 à 1.000 mm dans la zone la plus arrosée du Nord-Ouest et à moins de 100 mm dans les zones arides du Sud du pays. Les apports pluviométriques sont ainsi inégalement répartis sur le territoire national. Les régions du Nord- Ouest sont plus arrosées que le reste du royaume (MEMEE, 2012). Pour assurer une bonne adéquation entre besoins et ressources en eau et satisfaire de manière cohérente l'ensemble des usagers, un ensemble d'instances et d'établissements publics et privés s'organisent pour l'application de la stratégie Nationale de l'Eau (Figure 2).

Cette stratégie repose sur trois piliers à savoir ; la gestion de la demande et la valorisation de l'eau, la gestion et le développement de l'offre et enfin la préservation et la protection des ressources en eau du milieu naturel et des zones fragiles.

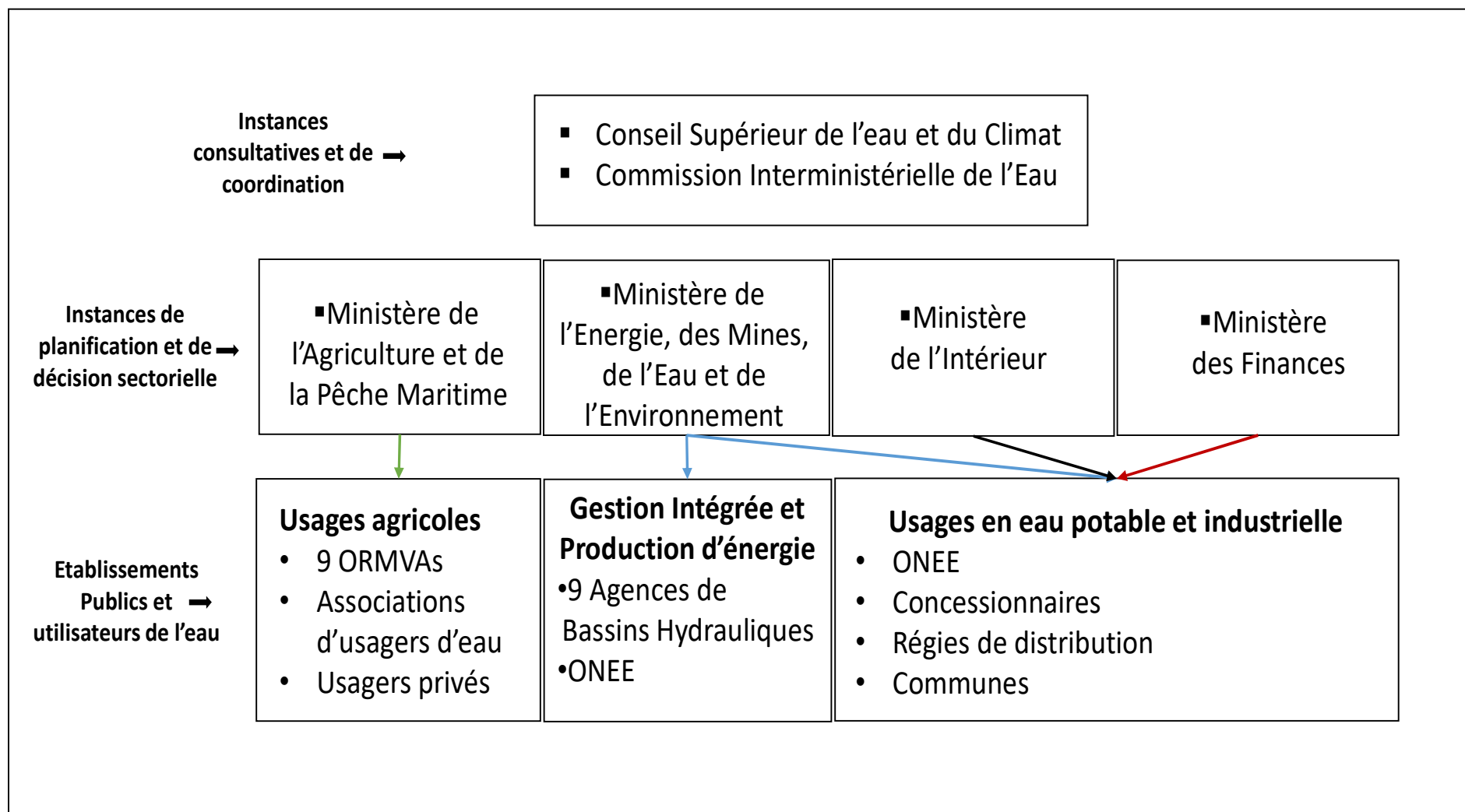


Figure 2: Organisation du secteur de l'eau au Maroc (Serraj, 2013).

La partie la plus importante des eaux mobilisées est utilisée en agriculture. Cependant, cette dominance tend à s'atténuer avec les années. Alors qu'en 1990, l'irrigation représentait 93% des usages d'eau, celle-ci ne représente plus que 80% (Elame et Lionboui, 2014). L'agriculture constitue une priorité pour le Maroc. Elle a été toujours considérée comme étant un secteur stratégique pour le développement socio-économique du pays. L'importance de ce secteur se justifie par le poids du secteur dans l'économie nationale en termes de contribution au produit intérieur brut, à la sécurité alimentaire, aux exportations, à l'emploi et aux revenus des ménages (Lionboui et al., 2014). Pour atteindre les objectifs assignés au secteur, celui-ci doit relever de nombreux défis, notamment de celui de la compétitivité internationale et de l'augmentation de la productivité, tout en assurant la durabilité des ressources naturelles et la préservation de l'environnement. Ceci suppose, entre autres, une allocation plus efficiente et une meilleure valorisation des ressources, et plus particulièrement celle de l'eau de l'irrigation qui constitue la ressource la plus rare et le facteur le plus limitant (Elame et al., 2016). Ainsi, l'enjeu est double. D'une part, les investissements importants, consentis pendant les dernières décennies par les pouvoirs publics pour la mobilisation de cette ressource, doivent être rentabilisés économiquement et socialement. D'autre part, la tendance à la raréfaction de cette ressource, induite par les changements climatiques projetés, impose une meilleure allocation et une plus grande valorisation de celle-ci.

I.2. Le secteur de l'irrigation au Maroc

Dans le monde, les zones irriguées produisent plus de la moitié de toutes les denrées alimentaires et contribuent ainsi de manière significative à la sécurité alimentaire (Molden, 2013). Cependant, cette activité consomme environ 72% des ressources en eau disponibles (Geerts et Raes, 2009; Seckler et al., 1999). Par ailleurs, avec les changements climatiques, une température plus élevée et une variabilité accrue des précipitations réduiront les rendements des grandes cultures à travers le monde (Lesk et al., 2016; Lobell et al., 2011; Sage et al., 2015). Au Maroc, la disponibilité en eau est l'un des principaux facteurs limitants pour obtenir de bons rendements. Bien que l'agriculture irriguée n'occupe que 15% de la superficie cultivée marocaine (environ 1,5 million d'hectares), elle contribue à environ 45% 75% des exportations agricoles, selon

les saisons. Cette contribution est plus importante pendant les saisons sèches où la production dans les zones Bour est sévèrement touchée (MAPM, 2012). Dans ce contexte, les objectifs globaux attendus par les acteurs et les gestionnaires dans le périmètre irrigué sont axés sur l'augmentation de la production, sur le contrôle de la gestion de l'eau et la rationalisation de l'irrigation qui constituent un défi de la politique agricole. C'est pourquoi les décideurs et les gestionnaires marocains encouragent constamment les agriculteurs à promouvoir l'économie de l'eau grâce à la supervision et à l'encadrement technique, à l'octroi de subventions aux équipements d'irrigation et à l'adoption de lois régissant la mobilisation et l'utilisation rationnelle des ressources en eau (Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat, loi n ° 10-95).

Le développement de l'irrigation a, en outre, permis l'implantation en milieu rural d'une industrie agroalimentaire et de transformations créatrices d'emploi et de valeur ajoutée. Il a induit également la création de petites entreprises de commerce et de services insérés dans le tissu socio-économique rural. Les secteurs irrigués constituent de véritables pôles de développement tant au niveau local que régional avec des retombés sur l'économie nationale dans son ensemble (MEF, 2015).

I.2.1. La grande hydraulique

L'essentiel de l'effort de l'Etat a été consenti à la grande irrigation, au départ, qui a bénéficié de plus de la moitié des investissements réservés à l'agriculture. Neufs grands périmètres ont été créés dans les bassins hydrauliques du pays. La mise en valeur dans ces périmètres a réalisé des progrès notoires. Le potentiel irrigable actuel dans les périmètres de grande hydraulique est estimé à 880.160 ha (Agoumi et Debbarh, 2006). Le taux d'intensification a augmenté progressivement et de nouvelles orientations sont tracées par l'Etat pour répondre aux exigences d'une agriculture irriguée performante et durable (Oussible et Bourarach, 2009). Parmi ces orientations on note d'une part, une adaptation beaucoup plus précise aux impératifs d'économies de valorisation de l'eau. Ceci a été réalisé à travers une révision judicieuse des formes d'aménagement et des choix techniques qui leurs sont associés et par une meilleure implication du secteur privé dans l'effort national de développement de l'irrigation. D'autre part, la réhabilitation et la modernisation des réseaux d'irrigation, notamment l'irrigation localisée encouragée

par le Programme National d'Economie de l'eau et d'irrigation (PNEEI). Pour une meilleure valorisation des productions agricoles les missions des Offices de mise en valeur Agricoles ont été orientées sur la gestion de l'eau et des aménagements, le conseil et l'organisation professionnelle (Jouve, 2006).

I.2.2. La petite et moyenne hydraulique

Composée par une multitude de périmètres traditionnels, la petite et moyenne hydraulique désigne des périmètres irrigués traditionnels de taille faible (moins de 100 ha), à taille moyenne (3.000 ha à 5.000 ha). La PMH représente 35% du potentiel national irrigable de façon pérenne, 484.000 ha et 300.000ha de superficie irrigable saisonnière. La part de la production agricole des périmètres de la PMH est estimée à 58% pour les cultures maraîchères, 25% pour les fourrages, 23% pour les agrumes et 21% pour les légumineuses (Laith, 2009).

L'existence des périmètres de petite et moyenne hydrauliques leur confère un rôle important dans l'équilibre socio-économique régional. Ils sont répartis sur l'ensemble du territoire national entre montagnes et plaines, et entre grands périmètres irrigués et zone Bour. La nouvelle approche de l'Etat pour le développement des périmètres de PMH repose sur les principes constitutifs de la territorialisation, l'intégration et la participation. En effet, la taille des périmètres, faible à moyenne, permet la mise en œuvre d'un développement intégré local et participatif qui associe à l'aménagement des infrastructures d'irrigation, l'intensification des productions agricoles et la réalisation des équipements socio-économiques (Bekkari, 2009).

I.2.3. L'irrigation Privée

Au Maroc, la superficie de l'irrigation privée aménagée et gérée par des investisseurs privés représente un tiers de l'ensemble de la superficie irriguée (CESE, 2014). L'action de l'Etat s'est caractérisée dans ce sous-secteur par la mise en place de système d'incitation financière et technique. Les pouvoirs publics ont initié en 1979 le projet primeur pour développer le maraîchage primeur en zone de pompage privé sur le littoral atlantique sur une superficie de 18 000 ha (Polti et al., 1979). Au cours des dernières

années, l'Etat s'est préoccupé de la sauvegarde de certaines zones où l'irrigation privée est menacée par la surexploitation des ressources en eau souterraines.

Etant considérée comme une composante essentielle du potentiel de l'irrigation au Maroc, l'irrigation privée comprend tous les aménagements d'irrigation réalisés par initiative privée. Elle peut ainsi couvrir un large champ d'investissement pouvant aller du simple puits pour l'irrigation de moins d'un hectare à un aménagement moderne pour l'irrigation de plusieurs centaines d'hectares. Selon l'étude du plan directeur d'aménagement des eaux des bassins Sud atlasiques, le pompage privé a connu un développement important et non contrôlé à partir des années 1980 et sert de complément pour les eaux du réseau collectif de grande hydraulique ou de PMH (ABHOER, 2012). Ainsi, l'évolution non contrôlée de ce type d'irrigation perturbe l'évaluation de la demande en eau d'irrigation et des bilans hydrauliques des ressources en eau superficielles et souterraines (Houdret et Bonnet, 2016). Il est donc absolument nécessaire de quantifier cette demande par nappe, par cours d'eau, par bassin ou par région administrative afin de délimiter et maîtriser cette catégorie d'irrigation.

I.3. Le choix de l'échelle bassin

I.3.1. Définition d'un bassin versant

La définition d'un bassin versant change selon que l'on s'intéresse à l'eau de surface ou à l'eau souterraine. Cependant, ces deux sources d'eau sont intimement liées. Ainsi, un bassin versant est une entité de gestion globale et intégrée de l'eau, dans lequel se pratiquent les activités humaines (agriculture, industrie, urbanisation et tourisme) et les aménagements (barrages, digues) qui influencent la qualité des milieux et la sécurité des populations (Wang et al., 2016). Le bassin versant s'impose comme un territoire de gestion de l'eau le plus approprié pour les dimensions sociale, économique et environnementale. En hydrologie, le terme bassin versant désigne le territoire sur lequel toutes les eaux de surface s'écoulent vers un même point appelé exutoire du bassin versant (Banton et Bangoy, 1999). Ce territoire est délimité physiquement par la ligne suivant la crête des montagnes, des collines et des hauteurs du territoire, appelée ligne des crêtes ou ligne de partage des eaux.

En parallèle, le bassin versant souterrain est l'homologue souterrain du bassin versant. Il représente le milieu dans lequel toutes les eaux souterraines s'écoulent vers un même exutoire ou groupe d'exutoires (Le Moine, 2008). Ainsi, dans la gestion intégrée de l'eau, le bassin versant est défini comme un volume entier et non pas seulement comme une surface. En plus du territoire où les eaux de surface s'écoulent vers un même exutoire, le bassin versant comprend tout ce qu'il contient, c'est-à-dire les eaux de surface, les eaux souterraines, les sols, la végétation, les animaux et les humains (Burton, 2001). En outre, un bassin versant comporte tous les sous-bassins qui alimentent un point quelconque situé dans le premier bassin versant. Ainsi, les bassins versants se trouvent ainsi imbriqués les uns dans les autres, depuis l'amont jusqu'à l'aval d'un cours d'eau. Chaque tributaire d'une rivière a un bassin versant qui lui est propre, lequel constitue un sous-bassin du bassin versant de la rivière principale. La taille du bassin versant grandit lorsque l'exutoire de ce dernier est situé en aval sur une rivière. Dans la littérature, on considère souvent que les bassins versants de surface et souterrains ont les mêmes limites, ce qui est très difficile en réalité. Ceci facilite la prise en compte simultanée des eaux de surface et des eaux souterraines qui représente une exigence de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant selon Gariépy (2001).

I.3.2. Gestion intégrée de l'eau au niveau du bassin versant

I.3.2.1. A l'échelle mondiale

La gestion intégrée de l'eau par bassin versant est un concept très large qui encourage la gestion coordonnée de l'eau au sein d'un bassin versant à long terme. Elle vise l'optimisation du bien-être socio-économique à l'intérieur des limites de ce bassin, d'une manière équitable, sans altérer la pérennité des écosystèmes vitaux (Friesen et al., 2017). La gestion intégrée de l'eau par bassin versant peut concerner toutes les problématiques que l'on peut trouver dans un bassin versant. Dans une certaine mesure, les objectifs pour lesquels un bassin versant est géré dépendent de l'environnement physique du bassin en question. Ainsi, chaque pays l'applique en l'adaptant selon l'intensité des problèmes liés à l'eau, et selon ses conditions naturelles et socio-économiques (Zhang et Guo, 2016).

La gestion de l'eau au niveau du bassin versant implique l'intervention de toutes les parties prenantes. La maîtrise collective de l'eau conduit à des formes de coordination, de régulation et de contrôle de mises en œuvre à différentes échelles de temps, d'espace et d'organisation (Huang et al., 2016).

Le concept de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant a fait l'objet d'un très grand nombre de recherches scientifiques à l'échelle mondiale. Ce concept de gestion de l'eau a bénéficié d'une attention spéciale à l'occasion du sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, dans lequel l'ONU s'est doté d'un cadre d'action de lutte contre le réchauffement climatique : la CCNUCC (Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques). Depuis cette date, cette convention réunit les représentants de presque tous les pays du monde une fois par an depuis 1995 lors des COP (Conferences of the Parties). La gestion intégrée de l'eau par bassin versant a bénéficié également d'un intérêt particulier lors du 3ème Forum mondial de l'eau tenu à Kyoto en 2003 qui a appelé à son adoption (Sghaier et al., 2006). La popularité du concept tient sans doute à son objectif rassembleur qui encourage la protection et la restauration de la ressource eau, des écosystèmes qui lui sont associés ainsi que de leurs usages pour le bien-être des êtres vivants. La nécessité de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant pour assurer une bonne gouvernance de l'eau fait maintenant l'unanimité dans le monde. Par conséquent, les gestionnaires sont amenés à recourir aux points de vue de disciplines et d'acteurs multiples puisqu'ils sont devant un processus de prise de décision complexe.

I.3.2.2. A l'échelle du Maroc

Au Maroc, la gestion intégrée de l'eau par bassin versant a été soutenue par l'adoption de la loi 10-95 sur l'eau en 1995 et confirmée ultérieurement par la loi 36-15, promulguée par le Dahir n°1-16-113 en 2016. Cette loi regroupe un ensemble d'instruments juridiques dont l'objectif est de surmonter les défis liés à l'eau que confronte le pays. Ces défis concernent la rareté croissante de l'eau, la forte pression de la demande en cette ressource, le renchérissement du coût de l'eau et la dégradation de la qualité de l'eau et de l'environnement naturel. Parmi les principes essentiels de gestion de l'eau, adoptés par cette loi, nous pouvons citer d'abord, la domanialité publique de l'eau ; toutes les eaux font partie du domaine public hydraulique à l'exception des droits

d'eau traditionnels dont la propriété est juridiquement déjà établie ou reconnue par une procédure appropriée. Ensuite, l'unicité de la ressource ; la ressource en eau est unitaire et les aspects quantitatifs et qualitatifs des eaux souterraines et de surface sont indissociables. Puis nous pouvons parler de l'unité de la gestion de l'eau, puisque la gestion de l'eau est menée à l'échelle du bassin hydraulique, cadre géographique approprié pour appréhender le développement et la gestion de l'eau (Dahir, 2016). La reconnaissance de la valeur économique de l'eau est considérée aussi parmi les principes les plus intéressants de la loi sur l'eau. Ce principe consiste à appliquer, d'abord, le principe préleveur-pollueur-payeur qui est une mesure incitative beaucoup plus que dissuasive pour assurer l'économie de l'eau, par la régulation de la demande en eau (MUAT, 2017). Le principe de solidarité nationale et régionale vient par la suite, qui à travers la création des agences de bassins vise notamment l'instauration de mécanismes de solidarité dans les processus de gestion de l'eau, entre usagers, entre secteurs et entre régions (Hachimi, 2009). L'action de ces organismes se situe à l'amont des organismes publics de distribution de l'eau (ORMVA'S, Régies, Collectivités, etc.) qui continuent à gérer l'eau au niveau de la distribution. Dans un contexte marqué par les changements climatiques, le principal défi de la gestion intégrée de l'eau, au niveau du Maroc, consiste à atteindre un équilibre entre l'utilisation de l'eau et sa conservation en vue de garantir la pérennité des écosystèmes. En conséquence, la gestion intégrée doit prendre en compte les exigences et les menaces liées à cette ressource (Lionboui et al., 2016a).

Chapitre II : Efficiences et modélisations appliquées à l'allocation de l'eau

Le deuxième chapitre de la partie bibliographique met l'accent sur l'état de l'art en matière d'efficiences et de modélisations appliquées à l'allocation des ressources en eau. De la sorte, les méthodes de mesure de l'efficiences du système de production agricole sont présentées en premier lieu dans ce chapitre. Ensuite, des travaux de modélisation de la gestion des ressources en eau sont examinés afin de trouver des implications pour la durabilité du système hydro-agricole à l'échelle du bassin versant. Dans les recherches citées, nous nous concentrons sur la gestion de l'eau dans les bassins dominés par l'irrigation. La gestion de l'irrigation est revue dans le cadre de la modélisation intégrée du bassin versant. Les productions agricoles (rendement et profit des cultures par rapport à l'utilisation de l'eau) expliquent le lien critique entre les composantes hydrologiques, agronomiques et économiques prises dans les différents travaux de modélisation.

II.1. Concepts de mesure de l'efficiences

Dans l'économie moderne, le débat sur la mesure de l'efficiences d'une entreprise en général a débuté avec Debreu (1951) et Koopmans (1951). Ce dernier juge qu'une entreprise est techniquement efficace si elle se situe sur la frontière de son ensemble de production ; en d'autres termes, un producteur est techniquement efficace si l'augmentation de la production d'un output quelconque nécessite la réduction de la production d'au moins un autre output ou l'utilisation d'une plus grande quantité d'au moins un input. Dans la même logique pour les facteurs de productions, une réduction de la quantité utilisée de n'importe quel input impose une plus grande utilisation d'un input substituable ou la réduction d'au moins un output (Asfaw et al., 2017).

Le producteur techniquement efficace n'est pourtant pas assuré de maximiser son profit. En effet, le profit dépend aussi des prix prévalant sur les marchés (des biens produits, des consommations intermédiaires et des facteurs de production). La prise en compte de ces prix est nécessaire pour que le producteur soit capable de maximiser son profit. L'efficacité allocative, selon Farrell (1957), traduit la capacité du dirigeant à retenir

parmi les programmes de production techniquement efficaces celui qui assure le profit maximal, c'est-à-dire à définir de façon optimale les proportions des inputs utilisés et la taille de l'entreprise. En conséquence, l'efficacité économique est la somme de l'efficacité technique et de l'efficacité allocative.

Ainsi la mesure de l'efficacité s'est développée en suivant deux directions qui dépendent de la manière dont les différents auteurs ont estimé la frontière de production. Principalement, il existe donc deux groupes de méthodes pour estimer la frontière de production selon deux approches : l'approche paramétrique et l'approche non paramétrique (Ferrara et Vidoli, 2017).

Dans la littérature relative à la mesure de l'efficacité économique, l'analyse de l'efficacité se fait soit par des méthodes paramétriques ou non-paramétriques. Le choix de la méthode a fait l'objet de tout un débat. Une vaste littérature a traité la mesure de l'efficacité à l'aide des approches paramétriques et non paramétriques. Des chercheurs comme (Berger, 1993; Henningsen et al., 2017; Hoang, 2014; Zhou et al., 2012), préfèrent les méthodes paramétriques alors que d'autres comme (Florens et Simar, 2005; Hampf et Krüger, 2017; Lin et Zhao, 2016; Seiford et Thrall, 1990; Simar et al., 2016) optent pour les méthodes non-paramétriques. Ainsi, la multitude de recherches entreprises, dans le cas des deux approches, semblent confirmer le fait qu'aucune approche n'est strictement préférable à une autre, chacune a ses propres avantages et inconvénients (Murillo-Zamorano, 2004).

II.1.1. L'approche paramétrique

L'approche paramétrique suppose que l'on sache spécifier correctement la fonction de production, de coût ou de profit, qui peut être de type Cobb-Douglas (Aiyar et Dalgaard, 2009; Costa et al., 2015; Nikkhah et al., 2016), Translog (Archambault et al., 2014; Kwan et Eisenbeis, 1997; Lin et Atsagli, 2017; Pablo-Romero et Gómez-Calero, 2013) ou Fourier (Altunbas et al., 2001; Kim et al., 2016; Min et al., 2015; Tsai et Chen, 2017).

Si nous considérons la fonction de production suivante :

$$Y(t) = F(A(t), K(t), L(t)) \tag{1}$$

Où :

Y(t) : l'agrégat des outputs ;

K(t) : l'agrégat du capital ;

L(t) : l'agrégat du travail ; et

A(t) : le déplaceur de la fonction de production.

Donc la croissance de la production peut être réalisée soit par un déplacement le long de la fonction de production (cas d'accroissement des intrants **K** et **L**) ou par l'augmentation de la valeur du déplaceur de la fonction de production que nous appelons aussi la Productivité Globale des Facteurs. Ainsi nous écrivons :

$$A(t) = PGF \tag{2}$$

Si on note pour une variable X avec la considération du temps :

$$\dot{X}(t) = \frac{dX(t)}{dt} \tag{3}$$

Et le taux de croissance est donné par :

$$\frac{\dot{X}(t)}{X(t)} \tag{4}$$

Nous obtenons pour la dérivée de la fonction de production par rapport au temps l'équation suivante :

$$\frac{dY(t)}{dt} = \dot{Y}(t) = \frac{\partial F}{\partial A} \dot{A}(t) + \frac{\partial F}{\partial K} \dot{K}(t) + \frac{\partial F}{\partial L} \dot{L}(t) \tag{5}$$

Si on divise par Y(t), l'équation (5) devient :

$$\frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} = \left(\frac{\partial F}{\partial A} \frac{A(t)}{Y(t)} \right) \frac{\dot{A}(t)}{A(t)} + \left(\frac{\partial F}{\partial K} \frac{K(t)}{Y(t)} \right) \frac{\dot{K}(t)}{K(t)} + \left(\frac{\partial F}{\partial L} \frac{L(t)}{Y(t)} \right) \frac{\dot{L}(t)}{L(t)} \quad (6)$$

En utilisant les notations suivantes :

$$PGF(t) = \left(\frac{\partial F}{\partial A} \frac{A(t)}{Y(t)} \right) \frac{\dot{A}(t)}{A(t)}, S_K(t) = \left(\frac{\partial F}{\partial K} \frac{K(t)}{Y(t)} \right), \text{ et } S_L(t) = \left(\frac{\partial F}{\partial L} \frac{L(t)}{Y(t)} \right) \quad (7)$$

Avec S_K et S_L les parts dans la production globale du capital et du travail respectivement.

L'équation du taux de croissance devient :

$$\frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} = PGF(t) + S_K(t) \cdot \frac{\dot{K}(t)}{K(t)} + S_L(t) \cdot \frac{\dot{L}(t)}{L(t)} \quad (8)$$

Dans le cas de rendement d'échelle constant le PGF se réduit en :

$$PGF = \frac{\dot{A}(t)}{A(t)} \quad (9)$$

Et si les quantités des intrants restent inchangées, le taux de croissance devient alors :

$$\frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} = PGF(t) \quad (10)$$

Les travaux de Aigner et Chu (1968); Bjurek et al. (1990); Forsund et Hjalmarsson (1979); Nishimizu et Page (1982); Timmer (1971) figurent parmi les références les plus

pertinentes dans ce domaine de recherche. Le principal inconvénient de l'approche paramétrique est que les paramètres ne sont pas estimés statistiquement mais calculés à l'aide de techniques de programmation mathématique. Ceci complique l'inférence statistique concernant les paramètres calculés (Zacks, 1981). Dans une tentative d'adapter les techniques économétriques à la théorie économique, une large littérature relative à l'estimation des fonctions de frontière a été élaborée au cours des dernières décennies. Ces tentatives peuvent être classées en deux groupes principaux, selon la spécification du terme d'erreur, à savoir les approches déterministes et stochastiques.

a. Approche déterministe

Les fonctions frontières déterministes peuvent être résolues soit en utilisant une programmation mathématique, soit au moyen de techniques économétriques. Le travail de Farrell (1957) était à l'origine de l'approche paramétrique déterministe. Il a proposé l'approximation de la fonction de production efficiente par une forme fonctionnelle connue a priori. Par conséquent, une spécification plus facile et une meilleure analyse des différentes propriétés algébriques de cette fonction sont possibles. Il a utilisé la forme fonctionnelle Cobb Douglas pour illustrer l'utilisation de cette approche sur des données agricoles de quarante-huit États américains, tout en imposant des rendements d'échelle constants. Ensuite, Aigner et Chu (1968) ont continué sur la même voie en utilisant également la forme fonctionnelle Cobb-Douglas pour estimer une fonction de production frontière à partir d'un échantillon de firmes manufacturières américaines. Ils ont par ailleurs préféré l'hypothèse moins contraignante de l'homogénéité de la fonction de production en défaveur de l'hypothèse des rendements d'échelle constants.

La méthode des moindres carrés ordinaires corrigés (MCO) a été proposée par la suite par (Richmond, 1974) pour estimer la fonction frontière déterministe. Cette méthode consiste à estimer la fonction de production moyenne pour l'ensemble de l'échantillon. En effet le rangement des observations selon les degrés d'efficience qu'elle évalue est plus fiable. Cependant, on ne peut pas considérer une très grande confiance au niveau absolu de la valeur numérique attribuée par cette méthode à l'efficacité de chaque observation (Chatterji et Lobato, 2015). Ainsi, elle fait en sorte qu'une seule entreprise

est parfaitement efficace et que les niveaux d'efficacité des autres entreprises sont calculés par rapport à cette entreprise.

Une autre méthode qui a été adoptée pour l'estimation de la frontière déterministe est la méthode de maximum de vraisemblance (Afriat, 1972; Chatterji et Lobato, 2015; Greene, 1980; Kenne Pagui et al., 2015). Plus spécifiquement, selon Afriat (1972), l'une des façons de déterminer la fonction frontière, est de traiter les termes d'erreur comme une variable aléatoire qui prend des valeurs entre 0 et 1, tout en assignant la distribution Bêta aux termes d'erreur. Alors que Greene (1980) a proposé d'assigner la distribution Gamma aux termes d'erreur. Cette méthode suppose que les termes d'erreurs traduisant les indices d'inefficacité technique des firmes sont indépendants et identiquement distribués, et qu'aucune firme n'est parfaitement efficace (Nguyen, 2010).

Dans l'esprit de l'approche probabiliste, Timmer (1971) a préféré une autre façon d'estimer la frontière de production déterministe. Sa proposition consiste à estimer de façon économétrique, dans un premier temps, une fonction de production moyenne. Ensuite, plusieurs autres estimations successives sont répétées en éliminant chaque fois un certain pourcentage d'observations parmi les moins efficaces. Plus précisément, à chaque itération, seulement les observations dont les résidus issus de l'estimation précédente sont positifs, sont considérées. Ces estimations vont permettre de faire en sorte que la fonction de production sera continuellement poussée vers la frontière qui reflétera les firmes les plus efficaces de l'échantillon (Chernyshov et Jharko, 2016; Houshyar et al., 2015). Supposons qu'après plusieurs régressions successives, la fonction de production frontière soit atteinte. Une estimation de l'efficacité de la firme i est donnée par le ratio :

$$\frac{Y_{io}}{Y_{if}}$$

Où :

Y_{io} est la production observée,

Y_{if} est la production estimée située sur la frontière.

La firme « i » sera efficace à 100% si :

$$\frac{Y_{io}}{Y_{if}} \geq 1 \tag{11}$$

Par contre, si :

$$\frac{Y_{io}}{Y_{if}} < 1 \tag{12}$$

Dans ce cas, son indice d'efficacité est donné par l'expression :

$$(Y_{io}/Y_{if}) \times 100$$

Ce type de modèle a fait l'objet de quelques applications empiriques dans le domaine agronomique aussi tel que les travaux de Amara et Romain (2001); (Bayramoglu et Chakir, 2016; Di Falco et al., 2010; Donfouet et al., 2017); Romain et Lambert (1995). La spécification déterministe suppose que tous les écarts par rapport à la frontière efficace sont sous le contrôle de l'agent. Cependant, il existe certaines circonstances hors du contrôle qui peut également déterminer l'inefficacité des firmes. Des facteurs tels que les conditions météorologiques, la chance, les facteurs socio-économiques et démographiques, l'incertitude, etc., ne devraient pas être considérés comme une efficacité technique. De plus, tout problème de spécification est également considéré comme une inefficacité du point de vue des techniques déterministes (Daraio et Simar, 2007).

b. Frontière stochastique

Les limites assignées à l'approche déterministe étaient à l'origine de développement de l'approche stochastique qui modélise à la fois les défaillances de spécification et les facteurs incontrôlables indépendamment de la composante de l'inefficacité technique en introduisant une erreur aléatoire dans la spécification du modèle frontière. Les

spécifications stochastiques ne sont estimées que par des techniques économétriques (Amsler et al., 2016).

Dans les méthodes considérant la frontière stochastique, on considère que le coût total d'une firme est fonction de sa production (output) et du prix des inputs, selon l'approche néo-classique standard, selon laquelle une firme minimise ses coûts (en considérant que la firme est preneur de prix sur le marché des inputs) pour un niveau de production donné (ou maximise son niveau de production pour un niveau de coût total donné) (Miotti et Plihon, 2001).

L'approche stochastique ou d'erreur composée, a été initialement proposée par Aigner et al. (1977), et améliorée, par la suite, par Jondrow et al. (1982) pour permettre l'estimation d'indices d'efficacité technique spécifique à chaque firme. Cette approche considère que le terme d'erreur est composé de deux parties indépendantes, soit une composante purement aléatoire (V) qui se trouve dans n'importe quelle relation et qui se distribue de chaque côté de la frontière de production (two-sided error term), et une composante représentant l'inefficacité technique (U) et qui est répartie d'un seul côté de la frontière (one-sided error term) (Bhaumik et al., 2012; El Mehdi et Hafner, 2014; Soguel, 2004).

Pour illustrer les différences entre la frontière de production stochastique et la frontière de production déterministe, nous considérons deux firmes « i » et « j » (figure 3). Ces deux firmes utilisent les quantités d'intrants X_i et X_j , pour produire, respectivement, les produits Y_i et Y_j . D'une part, nous constatons, pour la firme « i », que le niveau optimal de production Y_i^* , qui correspond à la frontière stochastique : $f(X_i) \times \exp(V_i)$, est supérieur à $Y_i = f(X_i)$, soit le niveau de production obtenu lorsque la frontière est

déterministe.

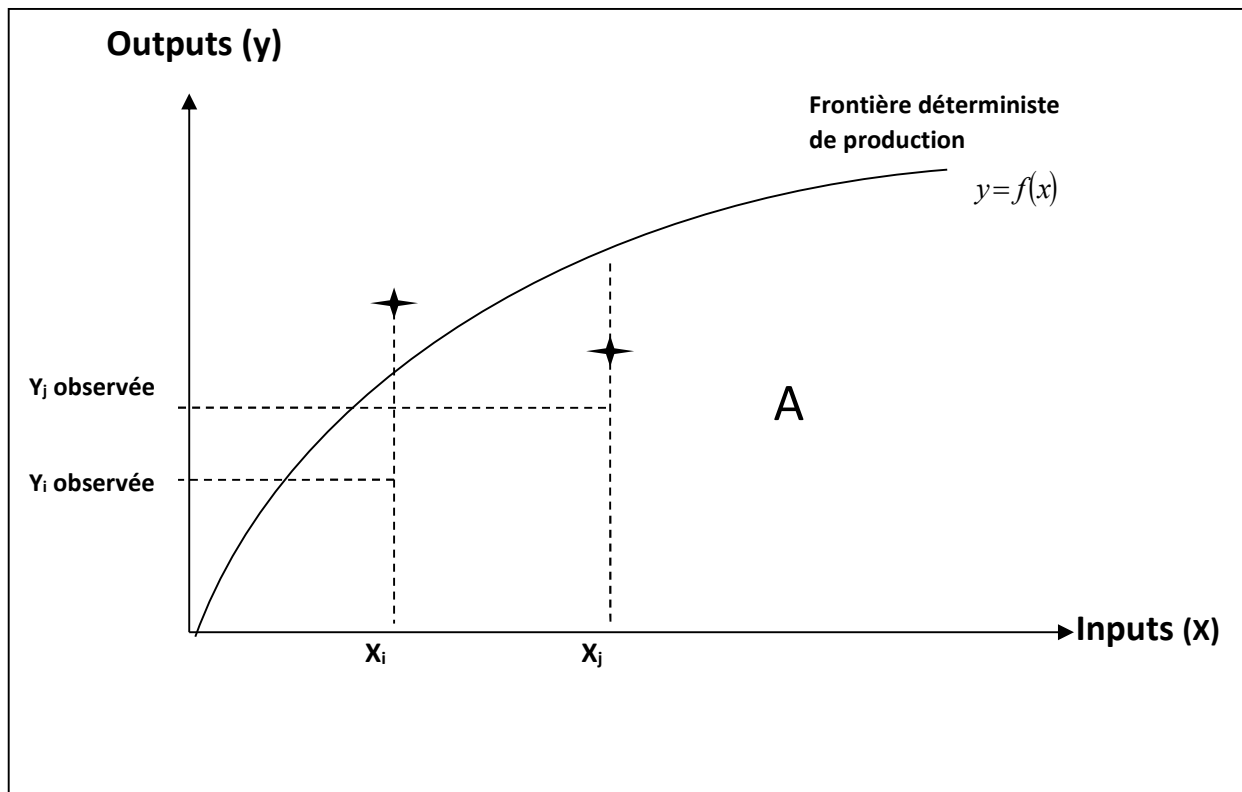


Figure 3: La frontière de production stochastique et déterministe. (Battese et Coelli, 1992)

Cela est probablement dû au fait que cette firme n'a pas été confrontée à des conditions défavorables hors de son contrôle, c'est-à-dire que le terme d'erreur aléatoire V_i est positif. D'autre part, pour la firme «j», le niveau de production stochastique Y_j^* , est inférieur au niveau de production déterministe $Y_j=f(X_j)$, ce qui indique que le terme d'erreur V_j est négatif. Dans les deux cas, la production observée est inférieure à la production frontière. Comme le souligne Battese et Coelli (1992), il est possible, selon la méthode de fixation de la frontière déterministe préconisée, que la production observée Y et la production optimale en utilisant la frontière stochastique $Y^*=f(X)\times\exp(V)$, se situent au-dessus de la production obtenue par la frontière déterministe $f(X)$.

D'une façon analytique, la frontière de production stochastique est définie par :

$$Y = f(X) \times \exp(V-U);$$

Où Y est le vecteur d'extrants, X est le vecteur d'intrants et V et U définis auparavant.

La fonction de production frontière associée à cette fonction de production est donnée par l'expression $f(X) \times \exp(V)$. L'inefficacité technique relative à la frontière stochastique de production est reflétée par la composante d'erreur $\exp(-U)$, U étant supérieur ou égal à zéro. Cette condition assure que toutes les observations se situent sur la frontière ou bien au-dessous de la frontière de production. Dans sa version initiale, cette approche, ne permet pas de différencier les deux composantes pour chaque observation (Forsund et al., 1980), Elle ne permet que de calculer la moyenne du niveau d'efficacité pour tout l'échantillon. La méthode de maximum de vraisemblance (MV) permet d'estimer cette fonction frontière et de séparer la composante d'erreur reflétant l'inefficacité technique U de l'autre composante d'erreur qui est purement aléatoire V . Ce type d'utilisation de l'approche stochastique a fait l'objet de plusieurs applications empiriques par la suite, tels que les travaux de Aigner et al. (1977), Ivan (2015), lee et Tyler (1978), Meeusen et Van den Broeck (1977), Tsionas (2012) et le travail de Seo et Jeong (2016).

II.1.2. L'approche non paramétrique

L'approche non paramétrique a été traditionnellement associée à la méthode d'analyse par enveloppement des données (*Data Envelopment Analysis*, DEA); Un modèle de programmation mathématique appliqué aux données observées servant à la construction des frontières de production et au calcul des scores d'efficacités (Coelli et al., 1998). Le but de cette approche non-paramétrique de la mesure de l'efficience productive est de définir une enveloppe frontière pour toutes les observations. Cette surface est déterminée par les unités les plus efficaces de l'échantillon. Ainsi, les unités qui ne se trouvent pas sur cette surface peuvent être considérées comme inefficaces et un score d'inefficacité individuelle sera calculé pour chacune d'elles (Galán-Martín et al., 2016; Gerdessen et Pascucci, 2013).

La méthode DEA a été conçue au départ pour mesurer l'efficience technique relative des organisations opérant dans des secteurs comme l'éducation, la justice ou la santé, secteurs dans lesquels il n'existe pas a priori de marché concurrentiel (Galán-Martín et al., 2016; López-Espín et al., 2014). De telles organisations se caractérisent par le fait qu'elles utilisent plusieurs inputs pour produire plusieurs outputs, et la technologie de production n'est pas clairement identifiée. Le mot « relative » signifie que l'organisation

est comparée à un ensemble d'unités opérant de façon similaire où les inputs et les outputs sont homogènes. Dans la méthode DEA, de pareilles unités sont appelées unités de prise de décision ou DMU (de l'anglais, *Decision Making Units*). Plus précisément, cette méthode mesure l'efficience d'une DMU sous un angle empirique en calculant l'écart relatif séparant le point représentant les valeurs des inputs et outputs observés par rapport à un point hypothétique sur la frontière de production. On peut de cette manière estimer le degré d'efficience de chaque DMU par rapport à cette frontière qui détermine les meilleures pratiques (Coelli et Rao, 2005).

L'utilisation de la méthode d'analyse d'enveloppement de données (DEA) est motivée par le fait qu'elle reste plus appropriée pour les échantillons de petite taille et qu'elle n'exige pas une connaissance a priori de la forme fonctionnelle de la fonction de production et de la structure des termes d'erreurs ou d'inefficience (Avkiran, 1999; Evanoff et Israilevich, 1991; Isik et Hassan, 2003; Kao, 2013; Kauppinen, 2016; Rahman et al., 2016; Sathye, 2001; Wheelock et Wilson, 1999). Elle présente toutefois l'inconvénient majeur de ne pas prendre en compte l'existence d'erreurs de mesures ou de données (DIAGNE, 2006).

La méthode non paramétrique de mesure de l'efficience DEA peut être une méthode extrêmement flexible dans la modélisation de la technologie de production des exploitations agricoles d'un échantillon dans un cadre multi- inputs et multi- outputs. Elle n'impose aucune forme fonctionnelle ou structure d'erreurs sur les données et utilise la programmation linéaire pour construire la frontière de production ayant une forme linéaire convexe.

Dans le cas où elle est orientée input, la méthode DEA nous permet de déterminer l'économie de coûts d'inputs qu'il est possible de réaliser pour chaque unité de production de l'échantillon si elle était techniquement et allocativement efficiente. L'efficience allocative (EA) mesure la réduction proportionnelle des coûts qu'il est possible de réaliser si l'exploitation agricole choisit la combinaison optimale d'inputs étant donnés leurs prix. L'efficience technique (ET) mesure la réduction proportionnelle dans l'utilisation des inputs qui peut être atteinte si l'exploitation agricole opère sur la frontière de production efficiente (Lionboui et al., 2016b). L'approche DEA permet aussi

de décomposer l'efficience technique globale (ETG) en ses deux composantes : l'efficience technique pure et l'efficience d'échelle. D'une part, l'efficience technique pure représente la réduction proportionnelle de l'utilisation des inputs si ceux-ci ne sont pas gaspillés. D'autre part, l'efficience d'échelle mesure la réduction proportionnelle si l'exploitation agricole atteint l'échelle d'équilibre c'est à dire si elle opère à rendements d'échelle constants (en anglais, *Constant Returns to Scale* CRS). Pour la détermination des scores d'efficience, il s'agit de résoudre pour chacune des firmes (ou observation) une séquence de programmes linéaires (Sahoo et al., 2014).

a. Le modèle à rendement d'échelle constant (CRS)

Dans le cas d'un échantillon de K firmes qui opèrent à rendements d'échelle constants (CRS), où nous considérons que chaque firme utilise M intrants pour produire N extrants différents. La méthode d'analyse d'enveloppement de données (DEA) réduit les paniers d'intrants et d'extrants à un couple (extrant, intrant) que Charnes et al. (1978) qualifient d'extrant fictif (Virtual output) et d'intrant fictif (Virtual input). Le niveau d'efficience technique, relatif à une firme est calculé par le ratio entre l'extrant fictif et l'intrant fictif de la même firme (Sahoo et al., 2016). Si nous prenons le cas d'une firme « i » de l'échantillon, cette mesure peut être obtenue en solutionnant le modèle de programmation mathématique suivant ::

$$\text{Max}_{\alpha, \beta} \alpha Y_i / \beta X_i$$

Sous la contrainte suivante :

$$\alpha Y_j / \beta X_j \leq 1$$

Pour $j = 1, 2, \dots, K$

Notons que α et β sont les vecteurs des coefficients à estimer et Y_i et X_i représentent, respectivement, les vecteurs d'extrants et d'intrants de la firme « i ».

Il s'agit dans ce cas d'un problème de maximisation, qui maximise le ratio extrant / intrant, pour chaque firme, tout en le contraignant à ne pas dépasser la valeur 1. Ainsi, toutes les firmes de l'échantillon sont situées obligatoirement sur ou au-dessous de la frontière d'efficience (Lionboui, 2008).

b. Le modèle à rendement d'échelle variable (VRS)

Le modèle à rendement d'échelle constant (CRS) exploré dans la section précédente n'est appropriée que lorsque toutes les entreprises fonctionnent à une échelle optimale, tel que mentionné par Coelli et al. (1998). Banker et al. (1984) ont été les premiers à proposer le modèle à rendement d'échelle variable (en anglais, Variable Returns to Scale VRS) qui n'est en fait qu'une extension du modèle CRS. Seulement, le modèle VRS tient compte des situations où les rendements à l'échelle ne sont pas constants. L'application du modèle CRS, lorsque les firmes n'opèrent pas toutes à une échelle optimale, conduit à des mesures de l'effizienz qui confondent l'effizienz technique et l'effizienz d'échelle (Sahoo et al., 2016; Seiford et Thrall, 1990; Seol et al., 2011).

L'utilisation d'un modèle de DEA du type VRS permet d'obtenir une mesure de l'effizienz exempte de l'effet d'échelle. Selon Coelli et al. (1998), la différence entre l'indice d'effizienz technique obtenu par le biais du modèle DEA de type CRS et celui de la même firme, obtenu par le modèle DEA de type VRS constitue une bonne mesure de l'effizienz d'échelle pour cette firme. Pour obtenir une telle mesure, ils suggèrent d'effectuer, sur la même base de données, un modèle DEA de type CRS et un autre de type VRS. Si pour une firme donnée, il y a une différence dans les indices d'effizienz mesurés par ces deux types de modèles, ceci indique que la firme n'opère pas à une échelle optimale. L'ineffizienz d'échelle est alors donnée par la différence entre l'ineffizienz technique calculée à partir d'un modèle CRS et l'ineffizienz technique calculée sur la base d'un modèle VRS (Kox et van Leeuwen, 2013).

II.2. Les modèles de gestion de l'eau à l'échelle du bassin versant

La gestion de l'eau a été fortement présente dans la littérature économique au cours des dernières décennies. Dans de nombreuses régions semi-arides du monde, les questions liées à la rareté des ressources en eau revêtent une importance capitale pour surmonter les obstacles au développement (Cirilo, 2008). La valeur de l'eau augmente et se présente comme une contrainte quantitative et qualitative à son usage domestique, industriel et particulièrement agricole. À l'échelle internationale, les premiers travaux ont porté sur une seule source d'eau : soit de surface ou souterraines (e.g. Gisser et Sánchez (1980) et Feinerman et Knapp (1983) qui ont abordé les aspects économiques de la gestion des

eaux souterraines). Cependant, dans la plupart des bassins versants, il y a une utilisation conjointe des eaux souterraines et de surface pour l'irrigation. Par conséquent, une importance croissante a été accordée à la gestion conjointe de l'utilisation de l'eau souterraine et de surface (Buras, 1963; Burt, 1964), étant entendu que les eaux souterraines et de surface sont deux composantes d'un seul système et doivent être gérées conjointement (Masahiko et Tsur, 2007). Dans un modèle statique simple de l'utilisation conjonctive de l'eau, Tsur (1990) a identifié une valeur spécifique des eaux souterraines pour servir de tampon contre la variabilité des eaux de surface. Ensuite, Tsur et Graham-Tomasi (1991) ont calculé une autre valeur pour les eaux souterraines dans un contexte dynamique, qu'ils ont appelé par la suite : la valeur tampon des eaux souterraines. Cette valeur des eaux souterraines a été ensuite analysée par Masahiko et Tsur (2007). Pour répondre à la complexité de la gestion conjointe de l'eau, une approche innovante a émergé avec le travail de recherche de Cai (1999) pour le bassin versant de Syr Darya au centre de l'Asie, qui a développé un modèle dynamique interannuel qui intègre des composantes hydrologique, économique, agronomique et institutionnelle pour modéliser et analyser les questions de durabilité liés à la gestion des ressources en eau. La sensibilité de la gestion de l'eau aux variations de flux, le coût de l'amélioration des techniques d'irrigation, et le problème de salinité ont été intégrés ensuite par Rosegrant et al. (2000) dans son modèle sur le Bassin versant du Maipo au Chili. Postérieurement, Albek et al. (2004) a calibré son modèle sur la base des données passées ainsi qu'il a intégré des simulations sur les changements climatiques.

L'évaluation des politiques de développement agricole a été également présente dans ces travaux de recherche qui ont développé des modèles de bassin versant (Cai et Wang, 2006; Pulido-Velázquez et al., 2006; Ward et al., 2006). Cai et al. (2003) ont évalué le rôle des investissements et l'impact des taxes et subventions sur l'allocation de l'eau; ainsi qu'ils ont déterminé la sensibilité de l'allocation de l'eau à l'augmentation de la demande en eau, et à l'évolution des prix de l'eau. La sensibilité de l'eau aux stratégies de répartition de cette ressource a été également présente dans d'autres travaux de recherches et on cite comme exemples : (Biewald et al., 2015; Draper et al., 2003; Howitt et al., 2012; Jakeman et Letcher, 2003; Jenkins et al., 2004; Kosolapova et al., 2017; Letcher et al., 2004; Wang et al., 2017; White et al., 2015).

Dans les expériences effectuées au Maroc, les travaux de recherche ont porté sur quatre bassins versants au Maroc, à savoir : les bassins versants du Loukkos et de Tadla (Elame et Farah, 2008), le bassin du Draâ (Heidecke et al., 2008). Seul le modèle qui a été développé pour le bassin versant du Draâ, a été relativement développé dans ses aspects dynamiques pour tester la faisabilité de la conduite de simulations à long terme. Cependant, ce modèle représente une zone agricole comme une seule exploitation agricole. Or, dans la même zone agricole, il existe plusieurs modes d'accès à l'eau d'irrigation ainsi que les chances pour accéder à cette ressource sont différentes, chose qui peut influencer négativement les résultats (Lionboui et al., 2016a). Les modèles au niveau des trois autres bassins, sont restés au stade d'ébauches de modèles de type statique où les systèmes de production ne sont pas introduits de façon explicite. En outre, les politiques agricoles régionales n'ont pas été impliquées dans aucun de ces travaux de recherche menés au niveau national.

En tenant en compte des différences qui se présentent entre les exploitations agricoles selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation, cette recherche s'intègre dans la lignée des travaux de modélisation cités auparavant, dans les conditions de politiques agricoles marocaines actuelles.

II.2.1. La prise en compte du prix de l'eau dans la modélisation des ressources hydriques

Selon la théorie économique néoclassique, les hausses de prix d'un bien entraîneront une réduction de sa demande. Par conséquent, un agriculteur devrait également répondre à une augmentation du prix de l'eau en réduisant sa consommation (Gómez-Limón et Riesgo, 2004). La tarification est un instrument politique important dans les régions irriguées du monde. Ses principaux objectifs incluent d'une part, l'efficacité économique de l'allocation des ressources hydriques rares et l'accès abordable à ces ressources d'irrigation pour la sécurité alimentaire et la viabilité financière du système de tarification d'autre part (Zhao et al., 2016). Cependant, les gestionnaires régionaux de l'eau se trouvent encore confrontés à la difficulté de gérer les modèles d'utilisation de l'eau pour accroître la productivité de l'agriculture irriguée (Huang et al., 2010). Le prix

de l'eau d'irrigation, lorsqu'un tel prix existe, peut fournir un signal important qui guide ses modèles d'utilisation (Griffin, 2001).

Toutefois, la fixation du prix de l'eau d'irrigation dépend de plusieurs facteurs qui varient selon les objectifs visés par cette tarification. Un certain nombre d'études, par exemple, concluent que les prix de l'eau devraient récupérer les coûts totaux d'approvisionnement (Bithas et al., 2014; Brooks, 2006; Brooks et Harris, 2014; Kostas, 2008; Rogers et al., 2002). De nombreuses autres études suggèrent que le prix de l'eau d'irrigation devrait favoriser un accès plus généralisé à l'eau pour tous les utilisateurs surtout les plus défavorisés (Abu-Zeid, 2001; Carriazo et al., 2013; Walsh et al., 2017; Whiteley et al., 2008). La tarification volumétrique est un signal important pour éviter d'utiliser de l'eau à coût élevé pour des utilisations à faible valeur ajoutée (Easter et Liu, 2005; Ward, 2007). Cependant, les coûts de mise en œuvre de la tarification volumétrique peuvent être élevés (Tsur, 2005). Une autre méthode de tarification de l'eau moins utilisée est la tarification au coût marginal. Cette méthode peut améliorer l'efficacité économique de l'utilisation agricole de l'eau (Le Gal et al., 2003; Tardieu et Préfol, 2002; Veetil et al., 2011). Cependant, elle peut compromettre la satisfaction des besoins d'eau de subsistance pour la sécurité alimentaire lorsque le coût marginal de l'offre augmente considérablement lors de sécheresses sévères ou durables très courantes au niveau des régions arides et semi-arides du monde (Dinar et Mody, 2004). Un autre groupe de travaux ont suggéré l'adoption d'une tarification à deux niveaux, puisque l'agriculture englobe à la fois l'agriculture de subsistance et l'agriculture commerciale ou agriculture à plus grande échelle (Aidam, 2015; Nikouei et Ward, 2013; Veetil et al., 2011). Ce type de tarification établit une distinction entre l'eau pour soutenir le droit à la production alimentaire de subsistance (sécurité alimentaire) et l'utilisation de l'eau pour l'irrigation commerciale (Bar-Shira et al., 2006; Barberán et Arbués, 2009; Garcia et Reynaud, 2004). Pour atteindre l'objectif de la politique de sécurité alimentaire, la fourniture d'eau pour la production vivrière de subsistance serait fixée à un prix abordable, tandis que l'eau serait évaluée à son coût marginal pour son utilisation commerciale dans l'agriculture irriguée (Baye, 2017).

La tarification de l'eau d'irrigation est souvent considérée comme un outil principal pour atteindre un meilleur niveau de valorisation des ressources en eau (Singh, 2007). L'importance de la tarification de l'eau d'irrigation peut être double. Premièrement, les agriculteurs seront plus conscients de l'importance économique de l'eau et de sa rareté. Ensuite, la tarification encourage les agriculteurs à réfléchir à un modèle de production plus productif. Cependant, des études ont montré que la tarification de l'eau ne stimulerait pas toujours les changements souhaités dans l'utilisation de l'eau en raison de la faible élasticité de la demande d'eau d'irrigation (Berbel et Gómez-Limón, 2000; Gómez-Limón et Riesgo, 2004). En outre, la mise en œuvre de la tarification de l'eau pourrait également engendrer des effets collatéraux tels qu'une diminution du revenu agricole et de la demande de main-d'œuvre dans les zones rurales.

Ainsi, le défi de politiques agricoles consiste donc à trouver un mécanisme de tarification efficace qui soutient le droit à la production vivrière de subsistance tout en reflétant la rareté de l'eau et en récupérant également les coûts financiers de l'approvisionnement de l'eau d'irrigation (Lionboui et al., 2014).

II.2.2. La prise en compte des changements climatiques dans la modélisation des ressources hydriques

L'agriculture irriguée est l'utilisatrice la plus importante de l'eau dans la plupart des régions arides et semi-arides du monde (Biswas, 2007; Brooks, 2007; Varis, 2007). Malgré son utilisation intensive de l'eau, l'irrigation contribue de façon importante à la sécurité alimentaire dans de nombreux pays du monde (Varis, 2007). Alors que l'irrigation produit souvent de faibles valeurs marginales de l'eau dans certaines régions, celle-ci peut créer des opportunités énormes pour certains agriculteurs et réduit leur vulnérabilité aux aléas climatiques et aux phénomènes météorologiques extrêmes (Tyler, 2007). La sécheresse, les pénuries liées à l'eau, en plus des mauvaises règles de partage de l'eau d'irrigation sont des sources majeures de risque pour la sécurité alimentaire dans ces régions (Li et al., 2011); Les problèmes liés aux méthodes actuelles de partage de l'eau résultent de plusieurs facteurs. Par conséquent, un défi difficile et continu est de faire correspondre les programmes et les politiques de l'eau aux besoins des petits agriculteurs (Namara, 2010). La nécessité d'élaborer des règles d'allocation

d'eau d'irrigation plus souples peut devenir des mesures importantes pour s'adapter aux impacts de la variabilité climatique future pour soutenir la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance socio-économiques aux niveaux des régions arides et semi-aride du monde (Ward et al., 2013).

La production scientifique sur l'impact économique des changements climatiques a été fortement présente dans la littérature au cours des dernières décennies. Plusieurs modèles ont été adoptés pour déterminer et évaluer les dommages causés par les changements climatiques afin de développer des politiques d'adaptation. Cependant, la plupart de ces modèles ont été basés sur une modélisation biophysique qui focalise sur une spécifique dimension du changement climatique, comme la dimension hydrologique (Immerzeel et al., 2010; Nepal, 2016), ou agronomique (Iocola et al., 2017; Moriondo et al., 2010; Ventrella et al., 2012). Pour la dimension économique, les modèles utilisés pour l'évaluation de l'impact économique peuvent être classés en deux types principaux, à savoir des modèles d'équilibre général et des modèles d'équilibre partiel. Les premiers modèles prennent l'économie comme un système complet d'éléments interdépendants. Les seconds sont basés sur l'analyse d'une partie de l'économie dans son ensemble comme un marché unique ou des sous-ensembles de marchés ou secteurs. En raison de la sophistication impliquée dans son utilisation, les modèles d'équilibre général sont généralement impropres pour les pays en développement (Baby et al., 2014) comme le Maroc. Par conséquent, les modèles d'équilibre partiel sont normalement les plus appropriés dans notre cas pour l'évaluation de l'impact économique des changements climatiques sur le secteur agricole (Mishra et Sahu, 2014). Dans la littérature, nous pouvons citer, d'une part, les modèles reposant sur l'approche Ricardienne (Mendelsohn et al., 1994) ou méthode des prix hédoniques. Cependant, dans la théorie économique, cette méthode s'applique préférentiellement à des biens de consommation qu'à des facteurs de production (Martin et Vaitkeviciute, 2016). D'autre part, nous trouvons des modèles reposant sur l'approche agronomique économique et/ou hydrologique (D'Agostino et al., 2014; Esteve et al., 2015; Hurd et Coonrod, 2012) qui sont basés sur des expériences contrôlées dans les milieux de terrain ou en laboratoire et que nous avons adopté pour cette recherche.

Chapitre III : Etats des lieux sur la gestion de l'eau au niveau de Tadla

Nous avons tous conscience aujourd'hui que l'eau se considère parmi les clés de développement de la majorité des secteurs économiques de la région de Tadla, notamment le secteur agricole. Devant une telle situation, des efforts considérables en matière de recherche scientifique doivent être entrepris pour accompagner les stratégies de développement du plan Maroc vert dans le but d'assurer une gestion plus rationnelle et optimale des ressources hydriques dans le périmètre irrigué de Tadla. Avant de procéder à la modélisation de ce système de production, il est important de mieux comprendre la situation actuelle de l'exploitation des ressources hydriques au niveau régional. Ainsi, ce chapitre est consacré à la présentation des règles d'allocation et de gestion de l'eau, pour usage agricole, dans le périmètre irrigué de Tadla.

III.1. Les conditions de mise en valeur et de gestion de l'eau

Les périmètres de grande hydraulique de Beni Moussa et Beni Amir ont été aménagés au départ suivant les deux trames d'aménagement A et B. Le canevas hydraulique a été conçu de telle sorte que dans un même bloc (20 à 30 ha) et pour une main d'eau de 25l/s, les agriculteurs utilisent en commun tous les canaux. Un bloc est découpé en bandes rectangulaires dont la largeur est comprise entre 80 et 100m et perpendiculaires au canal tertiaire. Un arroseur quaternaire en terre dessert chacune d'elles sur toute sa longueur, de 400m environ. Pour la trame A, les exploitations sont en général délimitées par deux arroseurs. En trame B chaque bande correspond à une sole, le bloc est divisé en 5 soles en moyenne ; une exploitation recoupe toutes les soles et se présente sous forme d'un rectangle dont le sens de la longueur est perpendiculaire aux arroseurs (figure 4).

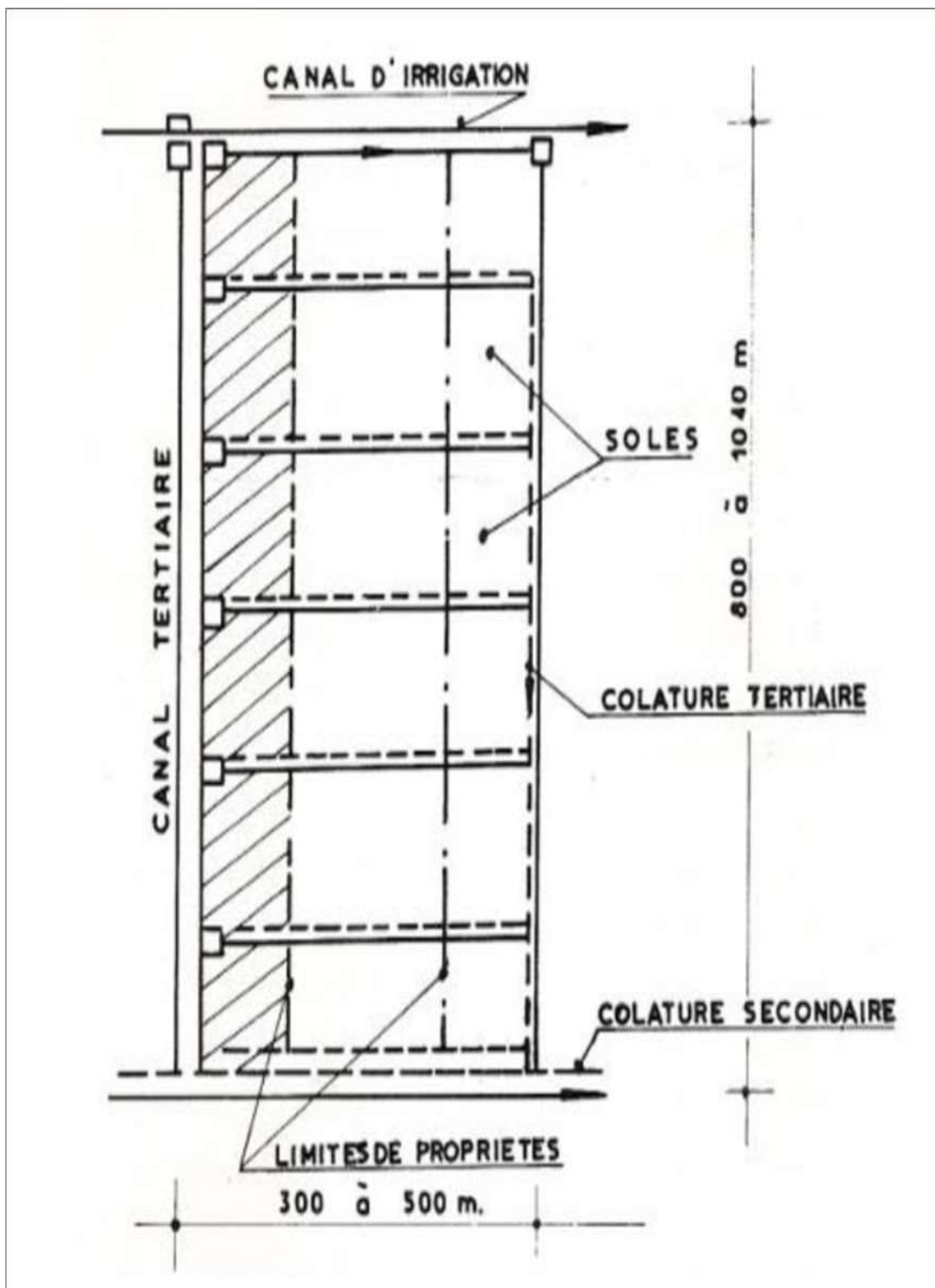


Figure 4 : Trame en irrigation gravitaire (D'après l'ORMVAT de Tadla).

Depuis 1962, la trame B a été choisie, de préférence à la trame A, pour atteindre les quatre objectifs principaux :

- La mise en place d'assolements prescrits afin de répondre aux objectifs de production ;
- La mécanisation collective des petites exploitations agricoles;
- L'irrigation suivant un tour d'eau identique pour tous les agriculteurs en fonction de l'occupation des sols par les cultures ;
- L'introduction de la raie longue comme technique efficiente de l'irrigation à la parcelle.

En pratique, la mécanisation collective n'a jamais été adoptée par les agriculteurs. Les pertes par infiltration dans les arroseurs pénalisent bien entendu les parcelles les plus éloignées du tertiaire. Or, en trame B, les parcelles situées à une distance donnée du tertiaire appartiennent au même exploitant. L'exploitation agricole qui se trouve à l'aval des arroseurs est systématiquement défavorisée alors que celle qui se trouve à l'amont bénéficie toujours du débit maximal. Suite à ces contraintes, la trame B a été abandonnée et les assolements ont été libéralisés. La répartition en surface des cultures sur une exploitation est fonction de la dotation en eau accordée et du volume des ressources en eau disponibles (Lionboui, 2010).

La distribution de l'eau à l'intérieur du périmètre se fait suivant le système du tour d'eau. C'est-à-dire la main d'eau (8 heures/ha) et d'un débit d'environ 25l/s qui circule à l'intérieur d'un ou plusieurs blocs d'irrigation selon un programme préétabli en fonction des cultures mises en place (Yacoubi soussane et al., 1999).

Actuellement, comme les assolements sont libéralisés, les tours d'eau sont établis sur la base des demandes des agriculteurs individuels exprimées en surfaces irriguées par culture, transformées en dotation horaire à partir des besoins en eau des cultures. Les agriculteurs peuvent irriguer chaque semaine. Cependant, le dysfonctionnement de certains ouvrages de régulation ainsi que l'absence d'un réseau de mesure fiable empêchent une équitable distribution des volumes sur tous les secteurs du périmètre.

En terme de techniques d'irrigation, la méthode la plus utilisée est la technique gravitaire dite la "Robta" qui consiste à irriguer à la raie courte ou à plat dans des bassins de petite taille (50m²). Il convient de rappeler que dans le périmètre du Tadla, le choix du mode d'irrigation est porté exclusivement sur le gravitaire au début de son aménagement. Ce choix se justifie à l'époque de l'équipement par des considérations socio-économiques, c'est-à-dire, l'utilisation de plus en plus de main d'œuvre et de peu d'équipements importés (Boularbah, 2015). Cependant, la technique d'irrigation en gravitaire nécessite un aménagement interne correct des parcelles, et souvent le mauvais état des arroseurs et du nivellement rend impossible l'application des doses d'eau préconisées dans le plan d'aménagement (Taky et al., 2004).

III.2. Efficience du système d'irrigation

Le système d'irrigation gravitaire dans le périmètre irrigué du Tadla, est à l'origine de grands gaspillages d'eau, que ce soit au niveau du réseau de distribution ou au niveau de la parcelle. Il en résulte des rendements de l'irrigation qui atteignent des niveaux très bas. En effet, l'efficience du système d'irrigation gravitaire est estimée 40% nettement inférieure à celle de l'irrigation localisée qui est de 90% (Tableau 1).

Tableau 1 : Efficiences globales du système gravitaire en %

Réseau	Parcelle	Globale
80	50	40

(Source : d'après les données de l'ORMVAT, 2014)

Les pertes d'eau d'irrigation dans le système d'irrigation gravitaire au Tadla sont estimées à 365 Mm³/an, soit 60 % du volume d'eau alloué en tête du périmètre (Tableau 2) (ORMVAT, 2014).

Tableau 2 : la moyenne des dix dernières années des pertes d'eau d'irrigation

Superficie (Ha)	Volume d'eau fourni en tête du périmètre (Mm ³)	Perte d'eau au niveau du réseau (Mm ³)	Perte d'eau au niveau de la parcelle (Mm ³)	Pertes totales (Mm ³)
114 942	608	122	243	365

Les pertes d'eau, non utilisées pour les besoins des cultures ne peuvent être considérées comme totalement récupérables à l'échelle du système d'irrigation gravitaire adopté dans le Tadla. En effet, les performances intrinsèques au système d'irrigation gravitaire adopté imposent des limites hydrauliques qui engendrent des pertes inévitables d'eau d'irrigation. En plus du système d'irrigation gravitaire, les principales causes responsables des pertes d'eau sont : la vétusté des infrastructures d'irrigation, la dégradation du nivellement, l'absence de comptage individualisé et le non recouvrement de l'arroseur (quaternaire) (ORMVAT, 2014).

III.3. Volumes d'eau livrés aux cultures

Les cultures adoptées dans la région ont besoin de quantités d'eau plus ou moins importantes selon son type de production. Cela dépend des besoins physiologiques de chaque plante (Tableau 3) (ORMVAT, 2016).

Tableau 3 : Volumes d'eau moyens consommés par culture au Tadla (Campagnes agricoles 2005-2014)

Culture	Superficie moyenne ha	Volume moyen Mm ³	Part de consommation en eau %
Céréales	45 352	136	18
Betterave	14 247	114	15
Maraîchage	10 746	54	7
Agrumes	7 784	93	13
Olivier	15 235	91	12
Fourrages	21 310	256	34
Total	115 210	744	100

Durant ces campagnes agricoles, les plantes fourragères ont consommé plus de 34% du volume total distribué, suivi des céréales, environ 18%. Ces cultures représentent la majorité de la superficie cultivée au niveau du périmètre irrigué de Tadla.

III.4. La tarification de l'eau d'irrigation

Dans le but de promouvoir un usage efficient de l'eau, parmi les défis que le Maroc a pris dès les années soixante est la tarification de l'eau d'irrigation. Dans le système de tarification, la structure de la redevance payée à l'eau est assise sur le volume d'eau consommé, ce qui fournit à l'utilisateur un signal tarifaire transparent et simple et l'incite à adopter un comportement économe vis-à-vis de l'eau. La tarification de l'eau a été instaurée par le code des investissements agricoles (CIA) en 1969, par le Dahir 1-69-25 Juillet 1969 et le décret 2-69-37, relatif aux conditions de distribution et d'utilisation de l'eau dans les périmètres d'irrigation. Elle a été sujette de plusieurs discussions dans le but de concilier entre la recherche de l'équilibre financier des charges de services de l'eau et d'assurer la valorisation du potentiel de productivité et de l'eau pour que les agriculteurs aient la capacité de payer l'eau à un tarif qui assure la durabilité de leur système (Belghiti, 2005). La participation financière des bénéficiaires se présente sous deux formes. D'une part, une participation directe à la valorisation des terres. Elle consiste à payer une partie des frais de création des périmètres d'irrigation par une participation directe à la valorisation des terres irriguées rapportée à l'hectare équipé. D'autre part, une redevance pour l'usage de l'eau d'irrigation pour la couverture de la totalité des charges d'exploitation d'entretien et d'amortissement des équipements externes d'irrigation (Lionboui et al., 2014).

Depuis la fixation des premières redevances d'eau d'irrigation en 1969, celles-ci ont connu de nettes augmentations. En effet, le tarif de l'eau d'irrigation en 2005 est 10 fois le prix de base de 1969 (figure 5). Cette augmentation reste faible si l'on compare à l'augmentation des prix des intrants et des matériels d'équipement.

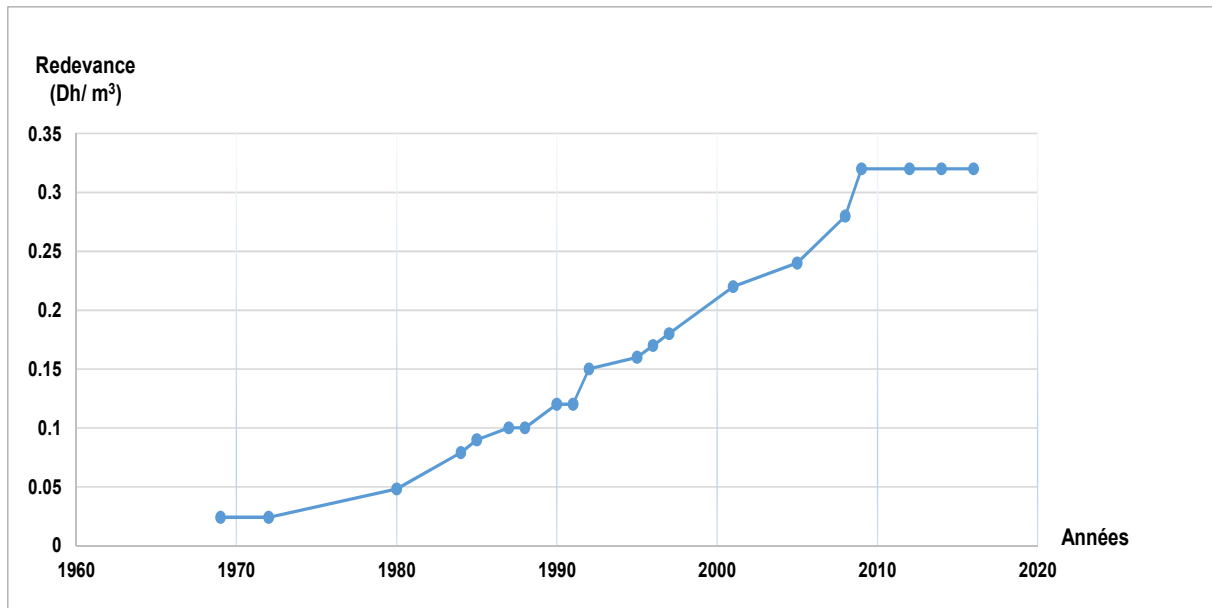


Figure 5 : Evolution des redevances d'eau d'irrigation au niveau de Tadla. (D'après les données de l'ORMVAT)

L'évolution des redevances d'eau d'irrigation laisse apparaître trois grandes périodes :

- La période 1969-1979 : caractérisée par le gel des niveaux de ces redevances d'eau fixées en 1969.
- La période 1980-2008 : caractérisée par des augmentations successives des redevances d'eau. Cette période a été marquée par les mesures tarifaires suivantes : d'abord, le doublement du taux de la redevance d'eau en 1980 (fixé à 0,048 MAD/m³), et la formule de révision des redevances d'eau en fonction de l'évolution des prix et des salaires en 1983.
- La période 2009-2016 : marquée par une stabilisation des redevances (Lionboui, 2010).

Au cours des années, le système tarifaire prévoit une application progressive de la redevance de l'eau, dite taux d'équilibre, pour tenir compte des effets progressifs de l'irrigation et de l'apprentissage de la production en système irrigué. Le périmètre irrigué de Tadla a été concerné par une décision visant l'augmentation de la redevance payée à l'eau d'irrigation. Cette décision commune entre le ministère de l'agriculture et de la pêche maritime, le ministère de l'économie et des finances et celui de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement (N°2451.09/ 17 Septembre 2009) ajournée

depuis sa publication dans le bulletin officiel N° 5781 le 26 octobre 2009 n'a pas vu le jour jusqu'à présent (Lionboui et al., 2014).

III.5. La charge de l'eau d'irrigation dans le processus de la production

En comparant la charge du prix de l'eau d'irrigation aux autres charges de production, nous remarquons de grandes différences selon les spéculations agricoles (Tableau 4).

Tableau 4 : Part du prix de l'eau d'irrigation par rapport aux charges totales

Cultures	Charges totales (Dh/ha)	Charges de l'eau d'irrigation (Dh/ha)	Part par rapport à la charge totale (%)
Céréales	5 909,0	540	9,1
Betterave	9 111,4	1 440	15,8
Maraîchage	13 620,0	900	6,6
Agrumes	10 629,0	2 160	20,3
Oliviers	4 680,0	1 080	23,1
Fourrage	5 582,5	2 484	44,5

(ORMVAT, 2014)

Alors que la charge de l'eau d'irrigation représente 44,5% des charges totales pour les cultures fourragères, celle-ci représente seulement 9% pour les céréales. Ceci s'explique par le fait que les cultures fourragères comportent des cultures grosses consommatrices d'eau d'irrigation comme la luzerne (Lionboui et al., 2016a).

III.6. Les subventions hydro-agricoles

Pour remédier à la faiblesse des moyens financiers des exploitations agricoles, la politique de l'Etat en matière d'incitation offre des subventions et octroi des crédits dans des conditions avantageuses pour les bénéficiaires. Le code des Investissements Agricoles (CIA) instauré en 1969 a prévu des formes et des formules d'aide aux agriculteurs. Ces aides financières sous formes des primes, de subventions ou de prêts, sont destinées, notamment à l'acquisition de matériel agricole, à l'intensification de la production végétale et à l'aménagement des propriétés agricoles.

Dans le volet de l'eau d'irrigation, les subventions de l'état concernent les projets d'irrigation localisée et aménagements complémentaires. Ces subventions touchent :

- Le creusement et le cuvelage de puits et de forages ;
- La fourniture et l'installation des équipements de pompage de l'eau ;
- L'aménagement de bassins de stockage de l'eau ;
- La fourniture et l'installation de matériels de station de tête ;
- La fourniture et la pose des conduites d'amenée et de distribution de l'eau d'irrigation ;
- La fourniture et la pose à la parcelle des tuyaux et distributeurs d'eau d'irrigation ;
- L'aménagement des bassins de stockage de l'eau ;
- L'adaptation du système d'irrigation localisée existant dans le cadre de densification des plantations arboricoles (MAPM, 2016).

Cependant, il y a lieu de préciser que la subvention ne peut être accordée qu'à la première installation et que tout renouvellement d'un matériel est exclu du bénéfice de ces subventions.

Le tableau suivant présente les taux de subventions des projets d'irrigation localisée et aménagements complémentaires réservées aux agriculteurs (Tableau 5).

Tableau 5 : Taux de subventions des projets d'irrigation localisée et aménagements complémentaires

Type d'Investissement	Taux de subvention	
	Projets individuels	Projets collectifs ou réalisés par des petits agriculteurs
Projets d'irrigation localisée	80%	100%
Aménagements complémentaires	80%	100%
Plafond de la subvention (Dh/Ha)	36000	45000

(MAPM, 2016)

Parallèlement aux investissements publics et aux incitations moyennant les subventions, pour promouvoir les investissements privés en agriculture, l'Etat a procédé à la

défiscalisation du secteur agricole, qui bénéficie des droits et taxes minimums exigibles à l'importation de certains produits et matériels destinés au secteur agricole (matériel d'irrigation et d'équipement, matériels de forage et d'exploitation des eaux souterraines etc.).

Partie 2 : Etude expérimentale

Chapitre I : Présentation de la région

I.1. Choix du sous-bassin de Tadla

Le choix de ce bassin versant est motivé par des considérations à la fois stratégiques et pratiques. En effet, le bassin versant de Tadla joue un rôle économique stratégique en termes de disponibilités en eau pour la partie centrale du pays et en termes de pression qu'exerce la demande en eau au sein du bassin et dans les régions avoisinantes, qui connaissent des déficits en eau chroniques importants, notamment les régions des Doukkala et du Haouz. Du point de vue pratique, le choix de ce bassin versant se justifie par une économie importante des moyens puisque la recherche envisagée bénéficiera d'une importante accumulation de connaissances relativement détaillées du milieu biophysique de ce bassin. La présence de l'un des plus anciens et plus importants périmètres irrigués, dont a bénéficié ce bassin, ainsi que son importance économique et environnementale ont résulté au fil du temps en l'accumulation d'un nombre élevé de projets d'aménagements et des incitations aux investissements privés qui constitueront un socle de connaissances important pour la réussite de la recherche envisagée.

I.2. Situation géographique

Le sous-bassin de Tadla couvre une superficie totale de 320.000 ha. La superficie agricole utile est d'environ 300.000 ha dont 124.600 ha irrigués et 207.700 ha de Bour dont seule 135.205 ha est cultivée. Le reste est constitué de forêts avec une superficie de 10.325 ha, de parcours à hauteur de 38.950 ha et une superficie de 16.220 ha incultivée (ABHOER, 2012). Le sous-bassin de Tadla est situé à 270 km au Sud-Est de Rabat et couvre une superficie de 3600 km² environ et s'étend au Nord de la chaîne du Haut Atlas (figure 6).

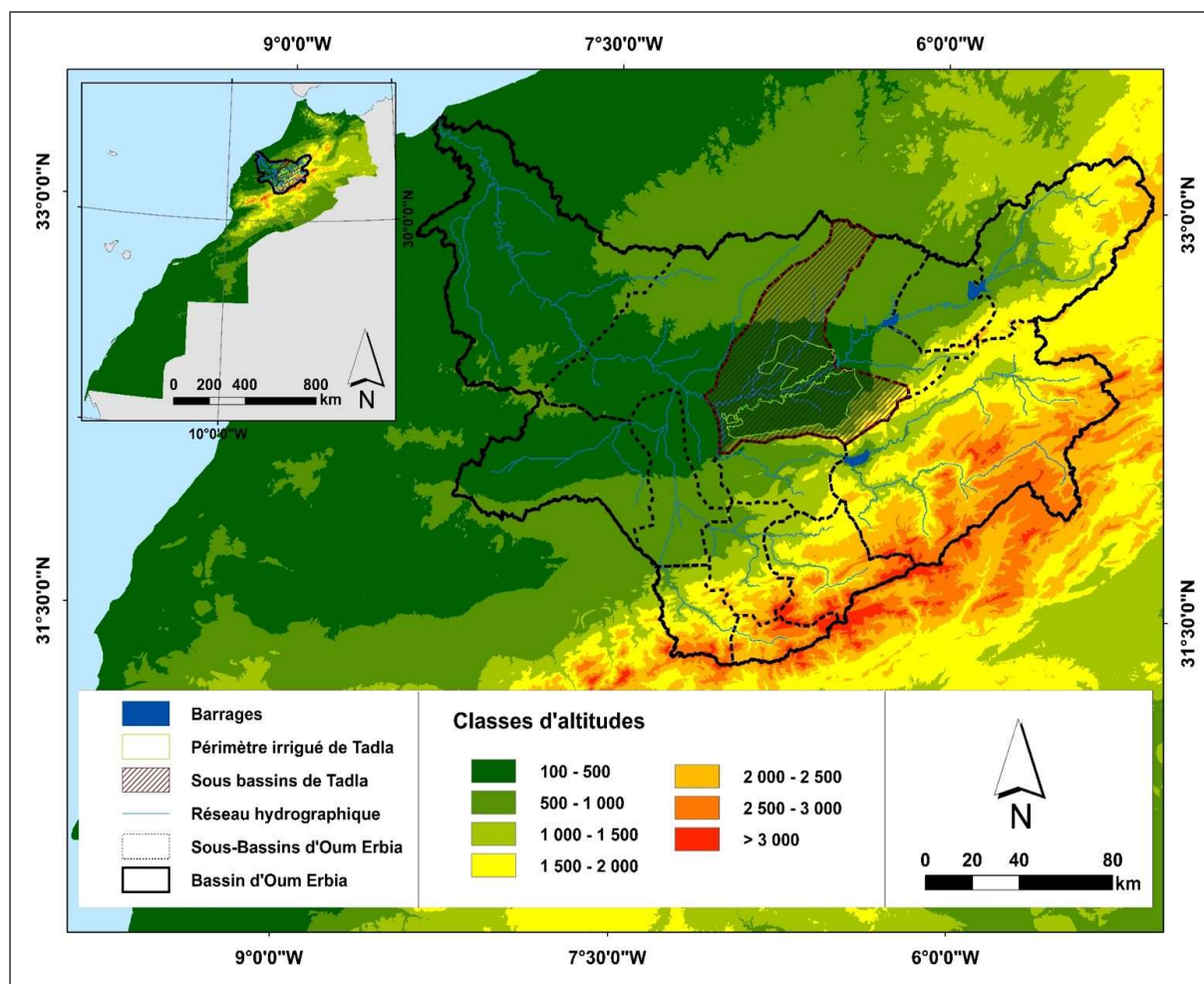


Figure 6 : Situation géographique du sous- bassin de Tadla.

Il est limité vers le Nord par le plateau des Phosphates qui s'élève graduellement sans marquer une transition vraiment nette; vers l'Est la plaine se rétrécit le long de l'*Oum Er Rbia*. Enfin, à l'Ouest, aucune limite géographique ne sépare le Tadla de *la Bahira* qui lui fait suite. Le cours régional de *l'oued El-Abid* sera pris comme limite régionale et hydrogéologique de cet ensemble dénommé Tadla (Lionboui et al., 2014).

I.3. Climat

Le sous-bassin de Tadla se caractérise par un climat de type aride à semi-aride. En se référant aux données de la Direction de Météorologie National relatives à la station Sidi Jaber, nous pouvons détecter deux saisons pour cette région : une saison sèche d'Avril à Novembre et une autre humide de Décembre à Mars (Figure 7).

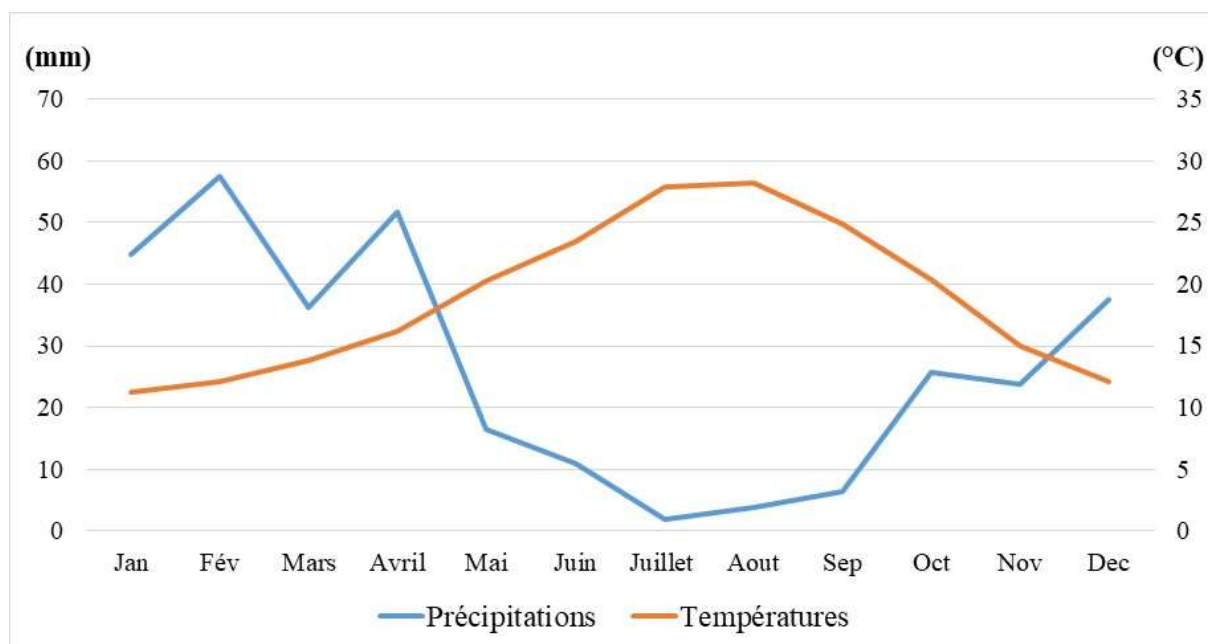


Figure 7 : Précipitations et températures moyennes à Tadla.

Au niveau de la zone d'étude, le contexte hydrologique reste principalement caractérisé par une irrégularité annuelle et une variabilité interannuelle très marquées. L'analyse des précipitations au niveau du bassin d'Oum Erbia qui englobe le sous-bassin de Tadla révèle que les ressources en eau connaissent une baisse importante. Ainsi, la pluviométrie a passé d'un intervalle de [275 – 1025] mm sur la période de 1935 à 1980 à un intervalle [175 – 625] mm sur la période 1980 à 2008 (ABHOER, 2012). La température moyenne est de 18°C avec un maximum en Août de 38°C et un minimum en Janvier de 3,5 °C (ORMVAT, 2014).

I.4. Ressources en eau

L'eau utilisée pour l'irrigation dans le sous-bassin du Tadla provient essentiellement des eaux de surfaces. Cependant, la proportion des eaux souterraines devient de plus en plus importante ces dernières années avec la baisse générale du régime pluviométrique. Par conséquent, les nappes phréatiques du Tadla ont connu une augmentation des prélèvements estimée à 6,28% entre 2003 et 2010; soit une quantité de 474 Mm³ prélevées en moyenne en comparant avec 446 Mm³ en 2003 (ABHOER, 2012). Le principal cours d'eau dans le sous-bassin de Tadla est l'oued Oum Er Rbia, l'un des plus importants cours d'eau du Maroc. En ce qui concerne les eaux souterraines, le sous bassin contient trois nappes phréatique (Béni Amir, Béni Moussa et le Dir) en plus de deux

nappes profondes de l'éocène et de turonien (Figure 8). Trois rivières impriment leurs marques sur le Tadla : *Oum Er Rbia*, le *Derna* et *El-Abid*. Oued *Oum Er Rbia* qui a un débit annuel moyen avoisinant $38 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (ABHOER, 2012), prend naissance dans les montagnes de l'extrémité Nord-Ouest du Moyen Atlas, à 26 km au Nord-Est de Khénifra. Son cours d'orientation générale est ENE-WSW jusqu'à l'amont de sa confluence avec l'oued *El-Abid*, puis à l'Aval de celle-ci de direction NW-SE, divise la plaine et spécialement le périmètre irrigué en deux parties asymétriques.

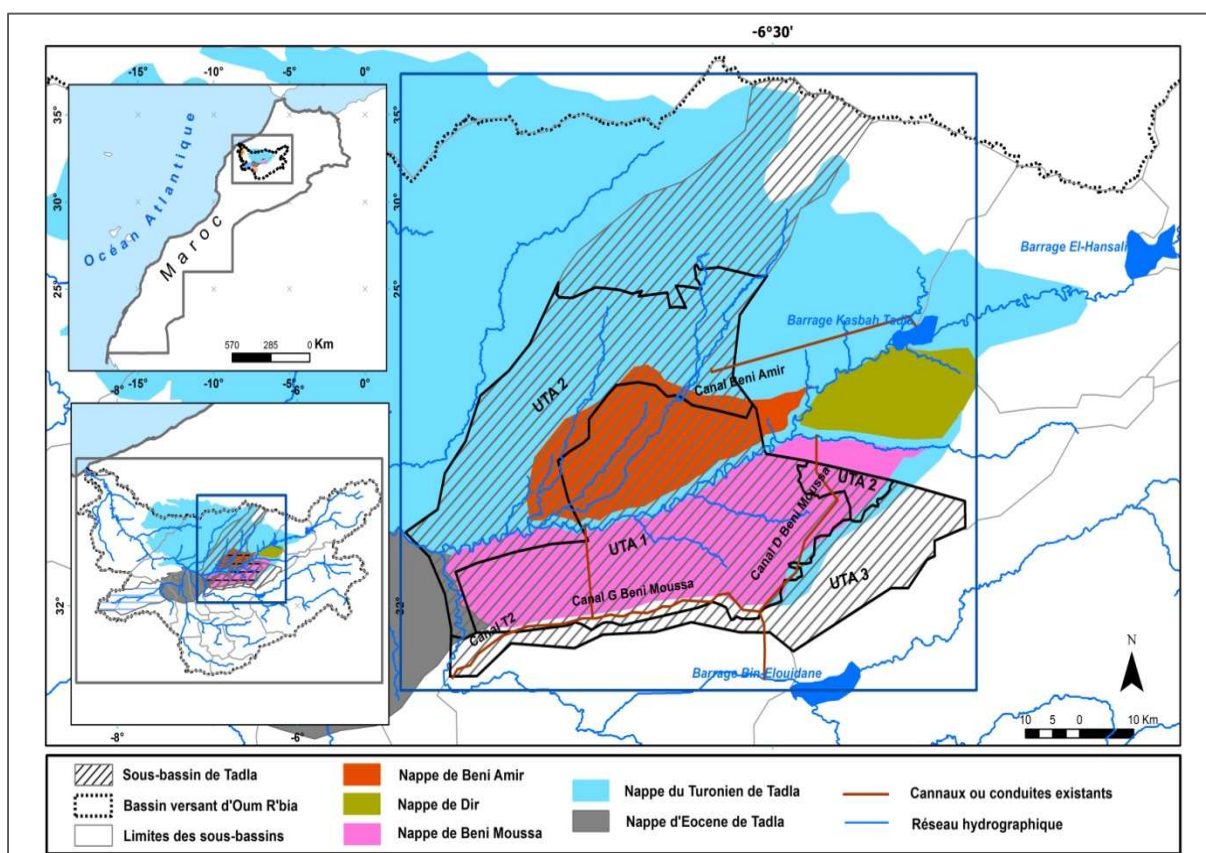


Figure 8 : Les ressources hydriques au niveau de Tadla

D'abord, le périmètre des Beni Amir qui se situe sur la rive droite de l'Oued *Oum Er Rbia*. Il est constitué de cours d'eau dont les eaux sont utilisées essentiellement pour l'irrigation locale et n'atteignent donc l'Oued *Oum Er Rbia* qu'exceptionnellement lors des périodes de crues importantes. Il couvre une superficie de 35000 ha irrigués par le barrage Mohamed El-Hansali mis en place en 2001 et de capacité de 700 M m^3 . Ensuite, il y a le périmètre des Beni Moussa, qui se situe sur la rive gauche de l'Oued *Oum Er Rbia* et

constitue un niveau de base hydrographique pour l'ensemble de ses tributaires ruisselant de l'Atlas et des contreforts de la chaîne. Cette rive étant mieux arrosée, le réseau hydrographique y est plus développé. Il couvre une superficie toute irriguée de 69 500 ha par les eaux régularisées de barrage Bin El Ouidane de 1300 Mm³ de capacité (Kwelde, 2006). Nous trouvons aussi sur la rive gauche, Béni Moussa Dir qui constitue le périmètre bour. Il s'étend sur une superficie de plus de 100.000 ha qui couvre en grande partie le Dir.

I.5. Pédologie

Le périmètre du Tadla présente une multitude de types de sol dont les plus dominant sont les sols iso- humiques qui occupent 83% des sols présents dans le Tadla et qui comprennent : sols bruns subtropicaux modaux ; sols bruns subtropicaux salins et sal-sodiques ; sols châtaîns modaux. Ensuite viennent les Sols calci-magnésiques comprenant les sols bruns calcaires qui occupent 11% des sols présents dans ce périmètre, puis une minorité de sols ferralitiques à sesquioxydes de fer et de sols hydromorphes et sols peu évolués. (ORMVAT, 2016)

I. 6. Occupation des sols

Le périmètre irrigué, qui se situe au niveau du sous bassin de Tadla, se caractérise par nombreuses spéculations culturelles où les céréales, les cultures fourragères, et les plantations telles que les agrumes et l'olivier représentent la majeure partie de la superficie cultivable.

L'évolution des superficies des principales cultures entre la campagne agricole 2004/2005 et la campagne 2014/2015 au niveau de la zone d'étude, selon les données de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Tadla, se présente comme suit (figure 9) :

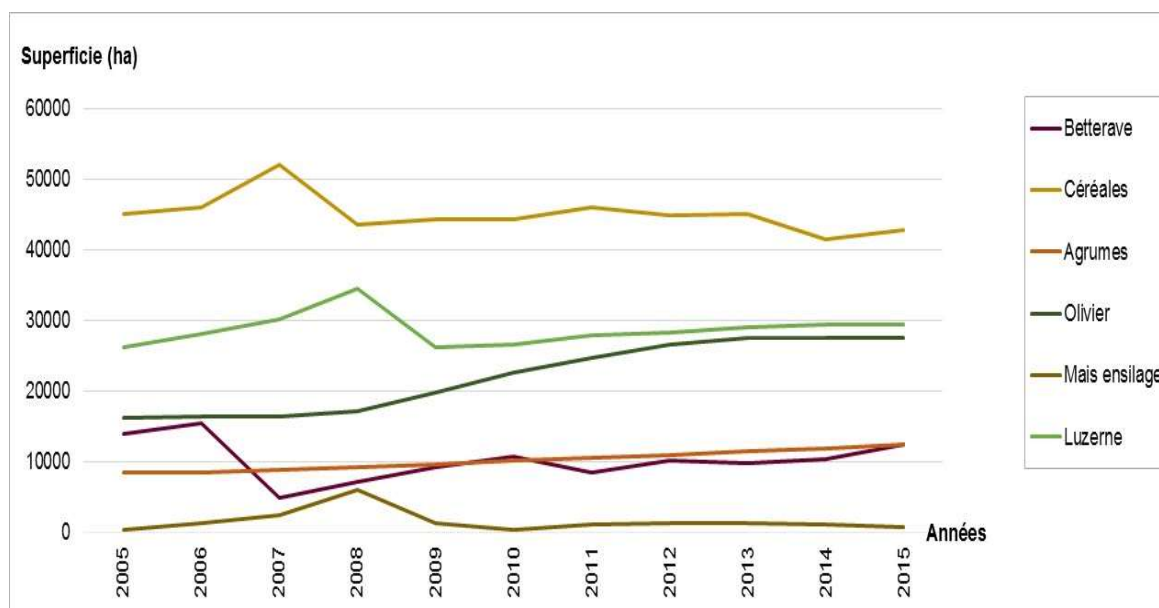


Figure 9: évolution de la superficie des principales cultures au niveau du périmètre irrigué de Tadla.

Aux cours de la dernière décennie, une tendance à la baisse des cultures céréalières et fourragères en faveur des cultures arboricoles est remarquée au niveau de Tadla. Cependant, la part de ces cultures, connues par leur niveau défaillant en terme de valorisation de l'eau d'irrigation, reste importante par rapport à la superficie totale cultivée (Lionboui et al., 2012).

I.7. Structure des exploitations agricoles

La structure des propriétés agricoles au niveau de la zone d'étude est caractérisée par la présence à la fois de petites et de grandes exploitations agricoles (Tableau 6).

Même si les petites exploitations agricoles de moins de 5 ha dominant, (82 pour cent du total), elles occupent seulement 34 % des terres arables et représentent 41% de la superficie irriguée totale. Celles de 5 à 20 ha avoisinent 15 pour cent des effectifs et exploitent plus de 32 % de la SAU ainsi qu'elles représentent 33% de la superficie irriguée totale.

Tableau 6: Répartition du nombre d'exploitations par classe de taille.

Classe de taille (ha)	% En superficie	% En nombre d'exploitations	% Des superficies irriguées
0 - 5	34	82	41
5 - 10	18	11	21
10 - 20	14	4	12
> 20	34	3	26
Total	100	100	100

(ORMVAT, 2014)

Par contre, bien qu'ils ne représentent qu'environ 3 % des effectifs totaux, les exploitants ayant plus de 20 ha disposent du 34% de la SAU totale et elles représentent 26% de la superficie irriguée totale dans le périmètre irrigué de Tadla.

Chapitre II : Efficience technico-économique et valorisation de l'eau des exploitations agricoles de Tadla

Article 1 : Lionboui, H., Benabdelouahab, T., Hasib, A., et Boulli, A. (2016). Analysis of Farms Performance Using Different Sources of Irrigation Water: A Case Study in a Semi-Arid Area. *International Journal of Agricultural Management and Development*. Volume 6(2): 145-154, June 2016.

II. 1. Introduction

L'agriculture constitue une priorité pour le Maroc. Cette importance accordée au secteur agricole vient d'être réitérée récemment avec le lancement du Plan Maroc Vert (PMV). Ce plan vise, entre autres, à adapter le secteur agricole marocain aux exigences de la mondialisation, de la sécurité alimentaire, du changement climatique, du développement durable ainsi que la lutte contre la pauvreté. L'accent sera désormais porté non seulement sur l'augmentation de la production, mais plutôt sur une production économiquement efficace qui valorise au mieux les ressources productives rares telles que les ressources hydriques. L'articulation du secteur agricole en deux piliers, l'intégration des acteurs de l'amont et l'aval des filières de production, l'organisation et la contractualisation constituent les fondements de base du PMV.

A l'échelle des régions du Maroc, le PMV a été décliné en programmes agricoles régionaux. Le sous bassin de Tadla, doté d'un périmètre irrigué de grande hydraulique, a bénéficié d'un programme régional agricole centré sur l'efficience d'utilisation de l'eau, l'accroissement de la production et des revenus des agriculteurs. Le dimensionnement des projets de développement agricole élaborés dans ce cadre est basé sur les aspects de production, valorisation, répartition spatiale, rareté de l'eau, situation du foncier et intégration du maximum de filières et d'agriculteurs ciblés (MDMEMDD, 2016).

L'allocation non rationnelle de l'eau d'irrigation constitue un frein majeur au développement des filières de production végétale dans le périmètre irrigué de Tadla. En effet, les pertes en eau sont élevées, la productivité par hectare irrigué n'atteint pas encore le potentiel pour certaines cultures et le mètre cube d'eau n'est pas assez valorisé par les cultures.

L'objectif principal de ce chapitre vise à évaluer les indices d'efficacité technique, allocative et économique d'un échantillon de soixante exploitations agricoles du périmètre irrigué de Tadla selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation. Il est scindé en trois parties. La première partie présente les concepts et la démarche méthodologique adoptée. La seconde partie est consacrée à la présentation des principaux résultats et la dernière partie traite des implications et les recommandations émanant des résultats de cette analyse.

II. 2. Méthodologie

II.2.1. Démarche méthodologique

L'efficacité économique ou globale est conjointement déterminée par les notions d'efficacité technique et allocative. La notion d'efficacité technique permet de mesurer l'écart existant entre le niveau des intrants observé pour chaque exploitation agricole, et un niveau considéré comme optimal déterminé en tenant compte des exploitations les plus performantes. L'efficacité technique d'une exploitation représente donc sa capacité à utiliser de manière parfaite la technologie existante, c'est-à-dire sa capacité à combiner de façon optimale les différents facteurs de production. L'efficacité technique est donc une notion physique, qui n'intègre pas les coûts de production, contrairement à l'efficacité allocative qui prend en compte la structure des prix. Ces deux composantes de l'efficacité économique, technique et allocative, sont complémentaires et fournissent des critères valables pour évaluer la performance d'un système productif.

Deux types de modèles ont été développés pour analyser l'efficacité technico-économique : les modèles déterministes et les modèles stochastiques. La méthode retenue dans ce travail pour estimer les niveaux d'efficacité des exploitations agricoles est la méthode d'analyse par enveloppement de données (*Data Envelopment Analysis, DEA*). Il s'agit d'une méthode fondée sur la théorie microéconomique qui compare toutes les unités similaires dans une population donnée en prenant en compte simultanément plusieurs dimensions. Elle détermine la frontière d'efficacité du point de vue de la meilleure pratique. L'application empirique de cette méthode consiste à générer une frontière de production moyennant la programmation mathématique.

Par rapport aux autres démarches de mesure de l'efficacité, la méthode DEA permet non seulement de s'affranchir des exigences de spécification d'une forme fonctionnelle de la fonction de production et des restrictions sur la distribution de l'inefficacité, mais permet aussi l'estimation des frontières de production dans des situations multi-produits et pour plusieurs intrants sans imposer de restriction supplémentaire. Le modèle VRS (*Variable Returns to Scale*) a été considéré dans le cadre de ce travail. Il s'agit du modèle à rendements d'échelle variables.

Dans la méthode d'Analyse d'enveloppement des données (Data Envelopment Analysis, DEA), la frontière efficace est définie par les pratiques les plus performantes de l'échantillon utilisé (Hoang, 2013). Afin de définir cette enveloppe technologique servant de référence aux mesures d'efficacité technique, allocative et économique, il est nécessaire de définir les produits (outputs) et les facteurs de productions (inputs) mis en oeuvre dans la technologie de production. Pour calculer les scores d'efficacité technico-économique, un agrégat d'outputs et cinq agrégats d'inputs ont été considérés.

II.2.2. Analyse des données par la méthode DEA

a. Les produits

Les exploitations agricoles enquêtées se caractérisent par la diversification de leurs produits (outputs), pour cela, l'agrégation de ces derniers sera exprimée en valeur monétaire. L'agrégat de produits retenus dans cette étude est : la Production végétale, cet agrégat comporte la valeur monétaire de toutes les cultures.

b. Les facteurs de production

L'agrégation des facteurs de production va se faire sur la base des quantités. Outre, on doit connaître les prix de ces facteurs de productions (inputs) afin de calculer les indices de l'efficacité allocative et économique. Les facteurs de production retenus lors de cette étude sont :

- Eau d'irrigation : elle comporte l'eau livrée par l'office (0.32 Dh/ m³) et l'irrigation à titre privé à travers les puits ou les forages (0.6 Dh/ m³).
- Semis- Fertilisation- Traitement phytosanitaire : cet agrégat comporte les quantités utilisées en semences, en fertilisants et en produits phytosanitaires.

- Travail : le travail est exprimé en Unité de Travail Agricole (UTA*) pour chaque exploitation. Le prix de cet agrégat est fixé en 50 Dhs pour une UTA*.
- Mécanisation : cet agrégat comporte les différentes opérations de travail du sol (labour, cover-cropage, billonnage,...), des travaux d'entretien et de la récolte (la moisson, le bottelage, le transport,...). Pour chaque opération, on dispose du prix payé par l'agriculteur.
- Terre : la différence de prix de la terre ainsi que la multitude des types de sol dans le périmètre irrigué de Tadla rendent la comparaison entre les exploitations agricoles plus délicate. Pour résoudre ce problème nous avons utilisé les prix moyens de location par hectare au niveau de la région selon la culture installée.

II.2.3. Indicateur de valorisation de l'eau

La valorisation des ressources hydriques par les principales cultures est au cœur de la réflexion sur la compétitivité et la pérennité de ces cultures au niveau du périmètre irrigué de Tadla. Pour la préservation de l'eau en vue d'un développement équitable et durable, on a besoin de connaître les cultures qui valorisent au mieux l'eau d'irrigation. À travers les exemples concrets de soixante exploitations agricoles dans le périmètre irrigué du Tadla, nous avons procédé à évaluer les indicateurs de la valorisation de l'eau des exploitations agricoles en relation avec le mode d'accès à la ressource eau d'irrigation.

La valorisation de l'eau d'irrigation a été abordée du point de vue de la collectivité c'est-à-dire en termes de valeur ajoutée par mètre cube d'eau utilisé (VA/m³). Alors que la marge brute apparaît comme la mesure de l'enrichissement des agents pris individuellement, la valeur ajoutée mesure la création de richesse pour la collectivité dans son ensemble (y compris le revenu du travail). Elle représente la somme des rémunérations du travail, des frais financiers et des taxes ou subventions, en plus du gain brut de l'agent (producteur).

Présentée ainsi, la valeur ajoutée n'est pas seulement un élément d'enrichissement, mais aussi une forme de représentation de la distribution des revenus aux quatre agents fondamentaux de l'économie nationale : les ménages (auxquels échoit la rémunération du travail), les institutions financières (frais financiers), les administrations (taxes et

subventions) et les entreprises non financières (résultat brut d'exploitation). Les principales cultures qui ont été observées au niveau des exploitations agricoles sont : le blé dur, le blé tendre, la luzerne, le sésame, le maïs fourrager, la betterave à sucre, l'olivier et les agrumes.

II.2.4. Données

Les données utilisées sont issues de l'enquête « exploitations agricoles » que nous avons effectuée auprès des agriculteurs dans la zone de recherche en 2012. Pour appréhender la diversité des potentialités de production au niveau régional, l'outil le plus efficacement utilisé est la typologie qui consiste à identifier des types d'exploitations et de les classer. Des travaux antérieurs dans le Tadla sur les stratégies des exploitants en matière de gestion de l'eau et de production agricole ont été utiles pour la conception de la typologie. Afin de formaliser la diversité des comportements observés au niveau des exploitations agricoles, en particulier vis-à-vis de la gestion de l'eau, nous avons retenu la typologie dégagée par Bacot (2001), fondée sur l'accès à la ressource en eau. Cette dernière, montre la présence de quatre types d'exploitations issus à partir d'un échantillon : a- agriculteur ayant un accès facile à la nappe et un accès à l'eau du réseau (A_SGW) ; b- agriculteur ayant un accès restreint à la nappe et un accès à l'eau du réseau (A_SW) ; c- agriculteur ayant un accès facile à la nappe et n'ayant pas accès à l'eau du réseau (A_GW); d- agriculteur ayant un accès restreint à la nappe et n'ayant pas accès à l'eau du réseau (R_A). L'échantillon compte soixante exploitations agricoles choisies de manière aléatoire. Les données sur les prix ont été prises en considérant comme année de référence l'année 2012.

II.2.5. Questionnaire

Compte tenu des objectifs de cette recherche, les informations collectées peuvent être regroupées selon les catégories suivantes :

- Les données structurelles de l'exploitation : Taille de l'exploitation, main d'œuvre familiale et permanente.
- Les données sur les assolements pratiqués, les productions obtenues, leurs parts commercialisés et les prix de vente.
- Les données sur les utilisations et les coûts des intrants pour les cultures.

En se basant sur les données collectées au niveau des différents acteurs et structures intervenant dans le bon fonctionnement de l'exploitation agricole, on a procédé d'une part à la réalisation d'un état des lieux des modes de fonctionnement des exploitations agricoles au niveau de la zone d'étude. D'autre part, nous avons axé notre effort sur l'élaboration des coûts et des marges de production selon les différentes cultures pratiquées au niveau des exploitations agricoles de la région. La connaissance des coûts et des marges des exploitations agricoles et des cultures permet de comparer les bénéfices des différents types d'exploitations agricoles ainsi que des différentes cultures dont on peut comparer les conditions d'exploitation aux normes sectorielles et aux meilleures pratiques.

II.3. Résultats et discussions

II.3.1. Efficience technico-économique des exploitations agricoles de Tadla

Les résultats obtenus montrent une hétérogénéité des scores d'efficience des exploitations agricoles de l'échantillon. En termes d'efficience technique, le score moyen est de 90% avec une amplitude pouvant aller de 51% à 100% (tableau 7).

Tableau 7 : Distribution de fréquence des indices d'efficience

Classes des scores d'efficience (S.E) en %	Efficience technique		Efficience allocative		Efficience économique	
	%	% cumulé	%	% cumulé	%	% cumulé
0 <S.E ≤ 50	-	-	18.33	18.33	20.00	20.00
50 <S.E ≤ 60	3.33	3.33	6.67	25.00	15.00	35.00
60 <S.E ≤ 70	5.00	8.33	8.33	33.33	11.67	46.67
70 <S.E ≤ 80	8.33	16.66	16.67	50	23.33	70.00
80 <S.E ≤ 90	18.34	35.00	21.67	71.67	15.00	85.00
90 <S.E < 100	16.67	51.67	19.33	91	15.00	91.67
S.E = 100	48.33	100.00	9	100	8.33	100.00
Moyenne	90		75		69	
Ecart type	13		20		20	
Min	51		30		27	
Max	100		100		100	

D'une part, les résultats suggèrent que globalement, les agriculteurs pourraient améliorer leur production de près de 10 % sans pour autant accroître les niveaux utilisés des facteurs de production puisque le score moyen de l'efficacité technique est de 90%. Ceci indique que ces exploitations agricoles n'exploitent pas toutes les connaissances technologiques disponibles. D'autre part, 48.33% des exploitations agricoles observées présentent un indice d'efficacité technique égal à 100%. Ceci démontre que, probablement, ces exploitations agricoles maîtrisent bien la technologie disponible, et que l'amélioration de la productivité pour ce groupe d'exploitation, ne peut se faire qu'à travers le progrès technologique.

Concernant l'efficacité allocative, près de 18.33% des exploitations agricoles présentent des scores d'efficacité inférieurs à 0.5. Ceci indique que ces exploitations seraient loin d'allouer d'une manière optimale leurs ressources de production pour produire un niveau donné de biens. Pour ces derniers, des manques à gagner importants sont réalisables en matière d'efficacité allocative. Alors que près d'un agriculteur sur dix présente un score d'efficacité allocative avoisinant 100%.

L'efficacité économique combine en même temps l'efficacité technique et allocative. L'indice de l'efficacité économique moyen est de l'ordre de 69%. D'une part, il est à remarquer que 20% des exploitations agricoles ont un indice d'efficacité économique inférieur à 50%, ce qui donne une idée sur les marges potentielles d'amélioration de la production et des revenus des agriculteurs. D'autre part, près de 8.33% des unités d'observation ont un indice d'efficacité économique égal à 1. Ceci démontre que ces exploitations agricoles probablement maîtrisent la technologie disponible, et arrivent à égaliser la valeur marginale de leurs produits aux coûts marginaux des facteurs de production.

II.3.2. Efficacité des exploitations agricoles selon le mode d'accès à la ressource eau d'irrigation

Les indices de l'efficacité technico-économique moyens au niveau des différents types d'exploitations agricoles du périmètre irrigué de Tadla, sont présentés dans le graphique suivant (Figure 10).

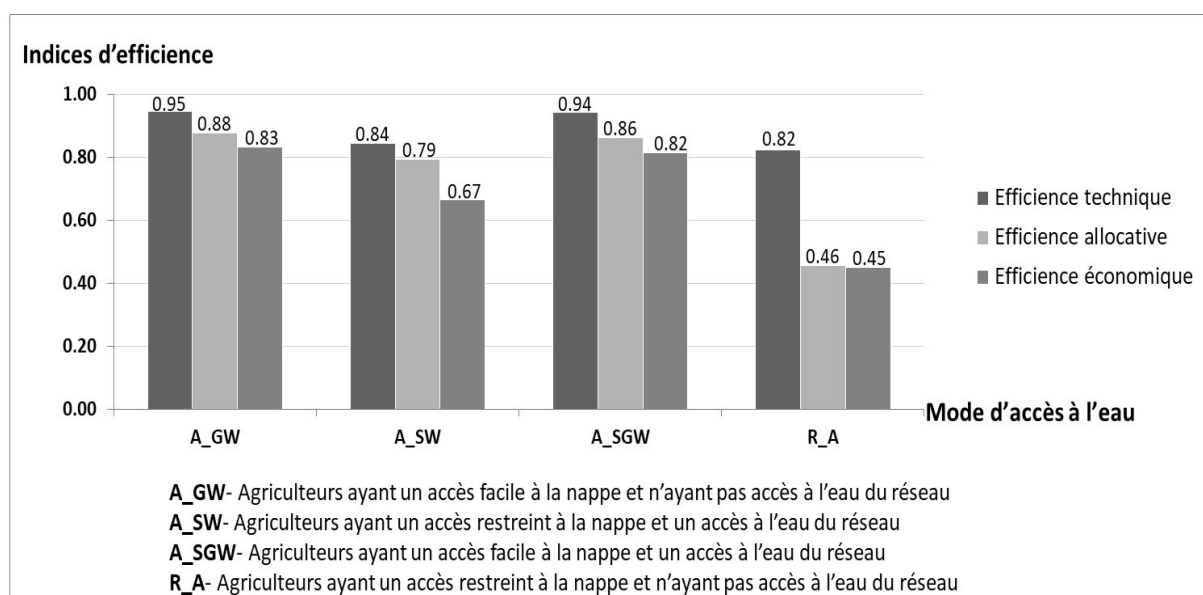


Figure 10: Efficience technico-économique moyenne selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation

D'après ce graphique, nous remarquons que les exploitations agricoles qui utilisent seulement l'eau du pompage seraient techniquement les plus efficaces suivies par celles qui combinent entre l'utilisation des eaux d'irrigation du barrage et de pompage avec un indice d'efficience technique moyen calculé de 0.95 et 0.94 respectivement. Ensuite, viennent celles qui utilisent seulement l'eau du barrage qui présente un indice d'efficience technique égal à 0.84 puis celles qui pratiquent une agriculture pluviale avec un indice d'efficience technique moyen de 0.82. Aussi, nous observons qu'il n'y a pas une grande différence entre les moyennes des indices de l'efficience technique pour les quatre types d'exploitations agricoles. Ceci dit, qu'il n'y a pas apparemment une grande hétérogénéité entre les exploitations agricoles des quatre groupes de point de vue maîtrise de la technologie disponible.

En terme d'allocation de ressource, les résultats montrent que sauf pour les exploitations agricoles conduites en mode Bour, nous remarquons qu'il n'y a pas une grande différence entre les moyennes des indices de l'efficience allocative pour les trois autres types d'exploitations agricoles. En effet, nous trouvons que les exploitations agricoles qui utilisent seulement l'eau de pompage sont les plus efficaces de point de vue allocation des ressources, avec un indice moyen de 0.88 suivies par celles qui combinent

entre l'utilisation des eaux d'irrigation du barrage et de pompage, avec un indice d'efficacité allocative moyen de 0.86. Ensuite, viennent les exploitations agricoles qui utilisent seulement l'eau du barrage, qui présente un indice d'efficacité allocative moyen égal à 0.79. Enfin, celle qui pratiquent conduite en Bour avec un indice d'efficacité allocative moyen de 0.46. Également dans le cas de l'efficacité allocative, nous remarquons qu'il n'y pas une grande différence entre les moyennes des indices de l'efficacité pour les trois premiers types d'exploitations agricoles. Ceci démontre qu'on peut être efficace, de point de vue allocation des facteurs de productions, indépendamment de la source d'eau d'irrigation, ce qui est conforme à la littérature économique (Harbouze et al., 2009).

Concernant l'efficacité économique, les exploitations agricoles qui utilisent seulement l'eau de pompage sont économiquement les plus efficaces avec un indice d'efficacité économique moyen égal à 0.83. Les exploitations agricoles qui combinent entre l'utilisation des eaux d'irrigation du barrage et de pompage viennent en second lieu avec un indice d'efficacité économique moyen de 0.82. Ces deux types d'exploitations agricoles se caractérisent par le fait d'avoir la possibilité d'irriguer au moment qui estiment favorable pour leurs cultures ainsi que de choisir la technique d'irrigation la plus adaptée au contexte de l'exploitation agricole. En effet, la technique d'irrigation Ensuite viennent celles qui utilisent l'eau du barrage avec un indice d'efficacité économique moyen de 0.67. Ce groupe d'exploitations agricoles reçoivent l'eau d'irrigation dans des moments qui ne les conviennent pas, selon le jugement des agriculteurs ainsi que la majorité de ces exploitations agricoles ont recours à l'irrigation gravitaire. Enfin, les exploitations agricoles en mode pluvial viennent en dernier lieu, avec un indice d'efficacité économique moyen de 0.45. En effet, la plupart des freins à l'efficacité des exploitations irriguées sont d'ordre institutionnel, organisationnel, et socio-économique (El hasnaoui et al., 2004). Pour le cas de ces exploitations agricoles, celles-ci dépendent directement des eaux de pluies dont la quantité diffère selon les années climatiques.

II.3.3. Efficience et valorisation de l'eau d'irrigation

Au Maroc, la question de l'évaluation de l'eau est au centre des préoccupations des décideurs. La plupart des études qui analysent ce concept considèrent l'indicateur d'évaluation de l'eau comme la marge nette par mètre cube d'eau utilisée (Sali et Monaco, 2014; Stanley, 2005; Waughray et Rodríguez, 1998). Cependant, l'intérêt de l'agriculteur n'est pas nécessairement semblable à celui de la collectivité, qui s'intéresse plus au revenu global et vise plusieurs objectifs de développement à long terme comme la conservation des ressources en eau. Dans ce travail, l'indicateur d'évaluation de l'eau a été abordé en fonction de l'intérêt de la collectivité, c'est-à-dire en termes de valeur ajoutée par mètre cube d'eau d'irrigation utilisé par l'exploitation agricole (Tableau 8).

Tableau 8 : Valorisation de l'eau et marge net selon les différents types d'exploitations agricoles

Type d'exploitation agricole	Valorisation de l'eau (MAD/m ³)	Marge nette (MAD/ha)	Consommation en eau (m ³ /ha)
A_GW - Agriculteurs ayant un accès facile à la nappe et n'ayant pas accès à l'eau du réseau	2.19	17931.80	8771.34
A_SW - Agriculteurs ayant un accès restreint à la nappe et un accès à l'eau du réseau	1.83	11637.33	7305.08
A_SGW - Agriculteurs ayant un accès facile à la nappe et un accès à l'eau du réseau	1.98	18002.24	9859.97

Les résultats montrent que les exploitations agricoles conduites en mode "A_SGW" réalisent la marge nette moyenne la plus élevée. En terme de valorisation de l'eau, elles arrivent en deuxième position (1,98 MAD/m³) après les exploitations agricoles conduites en mode d'accès à l'eau d'irrigation "A_GW" (2,19 MAD/m³). Les intérêts de la collectivité et ceux des agriculteurs ne convergent pas souvent. Il est donc important, dans ce cas, que les responsables politiques tiennent compte, en plus de la

rentabilité des exploitations agricoles, de l'évaluation des ressources hydriques limitées. Enfin, les exploitations agricoles de type "A_SW" sont classées en dernière position, avec un indicateur de valorisation de l'eau de 1,83 MAD/m³.

En vue de déterminer une relation entre la valorisation de l'eau et l'efficience technico-économique des exploitations agricoles au niveau de Tadla, la figure 11 présente les indices moyens de l'efficience économique ainsi que les indicateurs moyens de valorisation de l'eau pour chaque type d'exploitation agricole, selon le mode d'accès à la ressource eau d'irrigation.

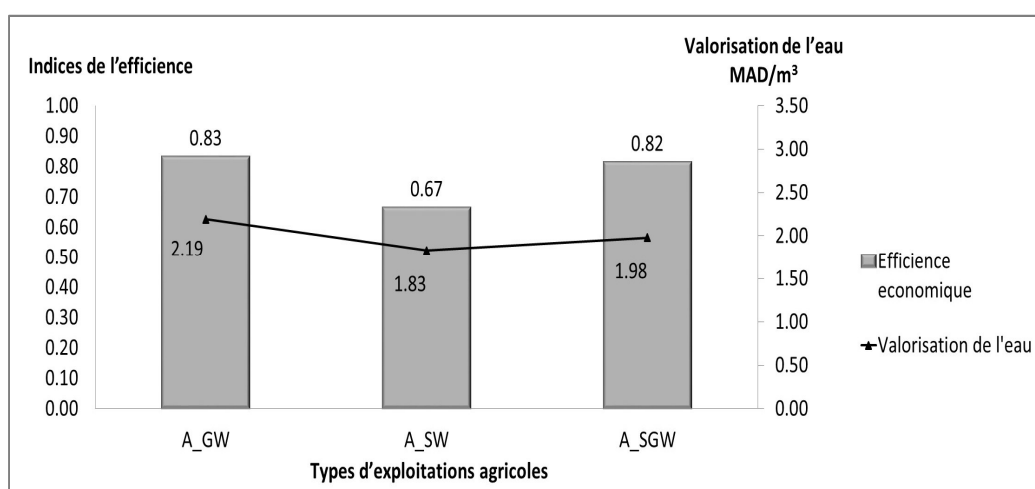


Figure 11: Efficience économique moyenne et valorisation de l'eau d'irrigation au niveau des différents types d'exploitations agricoles

D'une part, les résultats montrent que les exploitations agricoles qui utilisent l'eau souterraine "A_GW" valorisent mieux l'eau avec un indice de valorisation de l'eau moyen de 2.19 MAD/m³ suivies par celles qui combinent entre l'utilisation des eaux d'irrigation du barrage et de pompage "A_SGW" avec un indice de valorisation de l'eau de 1.98 MAD/m³ puis celle qui utilisent l'eau du barrage "A_SW" avec un indice de valorisation de l'eau de 1.83 MAD/m³.

D'autre part, on remarque que les exploitations agricoles qui valorisent mieux l'eau d'irrigation sont les plus efficaces. Ceci montre que l'efficience des exploitations agricoles et la valorisation de l'eau sont des objectifs qui convergent dans le cas des exploitations agricoles enquêtées. Ce qui confirme les résultats obtenus par Harbouze et

al. (2014) qui montrent que les exploitations les plus efficaces sont celles qui ont un accès « illimité » aux ressources en eau (pompage privé).

II.3.4. Valorisation de l'eau par les principales cultures de Tadla

Les principales cultures qui ont été observées au niveau des exploitations agricoles enquêtées sont : le blé dur, le blé tendre, la luzerne, le sésame, le maïs fourrager, la betterave à sucre, l'olivier et les agrumes. Pour ces cultures, les résultats montrent que la valorisation de l'eau peut varier selon le type d'exploitation agricole (Tableau 9).

Tableau 9 : Valorisation de l'eau par les principales cultures de Tadla

Cultures	Valorisation de l'eau (MAD/m ³)		
	Exploitations agricoles de type "A_GW"	Exploitations agricoles de type "A_SW"	Exploitations agricoles de type "A_SGW"
Blé dur	1.84	1.60	1.72
Blé tendre	2.00	1.20	1.27
Olivier	1.43	0.99	1.25
Sésame	1.53	1.09	1.31
Betterave à sucre	2.02	1.56	1.68
Maïs fourrager	1.29	1.14	1.19
Luzerne	1.86	1.32	1.19
Agrumes	4.11	2.89	3.40

La valorisation de l'eau par les cultures au niveau des exploitations agricoles qui irriguent par les eaux souterraines "A_GW" est de loin supérieure à celle des autres types d'exploitations agricoles.

L'intérêt pour la collectivité est de valoriser au mieux les ressources rares, notamment l'eau d'irrigation. Toutefois, la marge nette créée par hectare est un facteur important qui peut renforcer la valorisation de l'eau. En comparant les valeurs moyennes de la valorisation de l'eau et de la marge nette pour les cultures observées, nous constatons que ces deux indicateurs ne convergent pas souvent (Figure 12).

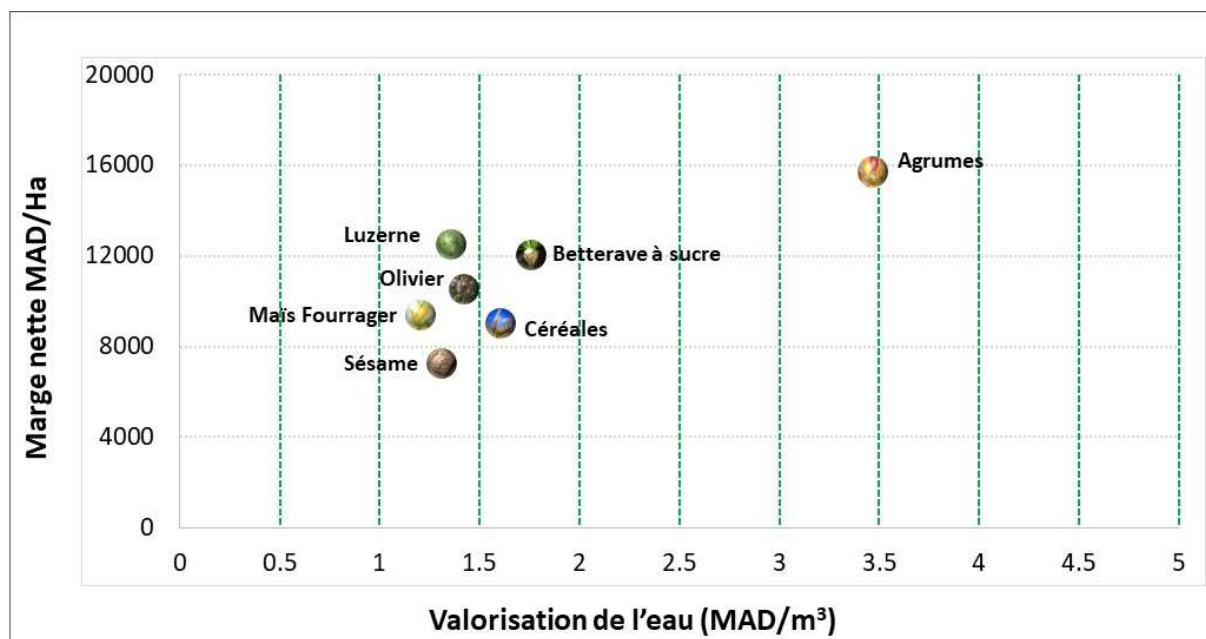


Figure 12 : Valorisation de l'eau et marges nettes moyennes des principales cultures.

Une culture qui génère plus de marge nette qu'une autre peut être moins valorisante de l'eau que celle-là. C'est le cas par exemple de la luzerne qui réalise une marge nette à l'hectare (12506 DH/ha) plus importante que la betterave à sucre (12041 DH/ha). Néanmoins, en termes de niveau de valorisation de l'eau, les résultats montrent que pour la luzerne (1.36 MAD/m³), le niveau est plus faible que celui associé à la betterave à sucre (1.76 MAD/m³). La même chose pour le maïs fourrager et le blé ; le maïs fourrager crée une marge plus importante que le blé, alors qu'il valorise moins l'eau d'irrigation que celui-là. Dans ce cas, la collectivité serait plus intéressée par la betterave à sucre et le blé puisqu'ils valorisent mieux l'eau d'irrigation alors que l'agriculteur serait plus intéressé par la luzerne et le maïs fourrager, du fait de leur rentabilité relativement élevée. Les intérêts de la collectivité et ceux de l'agriculteur sont donc divergents et il convient ainsi de trouver un consensus dans la prise de décision.

Ainsi, il est à noter la culture qui valorise au mieux l'eau d'irrigation au niveau de Tadla, est la culture des agrumes, avec un indice de valorisation de l'eau de l'ordre de 3.47 MAD/m³ ce qui confirme les résultats de l'Agence de Développement Agricole (ADA) et de Awa (2009). Cette valeur est de loin supérieure aux indices de valorisation de l'eau

des autres cultures. Ce résultat affirme l'importance que revêt cette filière (agrumicole) pour la région de Tadla, que ça soit au niveau des projets d'extension ou de reconversion vers des systèmes économes en eau d'irrigation.

L'eau est une ressource indispensable à l'agriculture, vu l'état actuel des ressources hydriques (surexploitation, dégradation), la valorisation de l'eau doit primer sur tout autre objectif. Par ailleurs, il est important de tenir compte de la pénurie d'eau au niveau des politiques agricoles et d'allouer les ressources hydriques aux cultures qui les valorisent le mieux possible.

II.4. Conclusion

L'analyse des résultats relatifs à l'efficiences technico-économique montrent qu'il y a une variation considérable de l'efficiences technique, allocative et économique parmi les producteurs agricoles de Tadla. En matière d'efficiences technique, une proportion importante des producteurs agricoles présente une efficacité élevée. Pour ces derniers, les gains potentiels moyennant les technologies de production disponibles sont minimes et l'accroissement de leur productivité passe par l'adoption de nouvelles technologies. A l'opposé, pour les agriculteurs présentant un faible niveau d'efficacité, la production pourrait être augmentée à par l'amélioration du savoir-faire à travers l'encadrement et la vulgarisation.

Les orientations du Plan Maroc Vert (PMV) portent, entre autres, sur le mécanisme d'une double intégration des acteurs. Une intégration verticale de l'amont et de l'aval des filières de production et une intégration horizontale qui concerne davantage les acteurs et les institutions agricoles. En matière d'efficacité allocative, ce mécanisme pourrait réduire considérablement l'inefficacité constatée chez les exploitations agricoles au niveau de la région. En effet, ce mécanisme est supposé non seulement contourner les contraintes de production (financement, approvisionnement et encadrement) mais aussi faire bénéficier les agriculteurs des marges bénéficiaires détenues auparavant par les intermédiaires et des gains dus aux économies d'échelle et la réduction des coûts de transaction.

La valorisation de l'eau a été abordée d'un point de vue de la collectivité, c'est-à-dire en termes de valeur ajoutée par mètre cube d'eau. Il ressort qu'au niveau des exploitations agricoles qui recourent uniquement à l'eau souterraine, les différentes cultures valorisent l'eau d'une manière très importante suivie par celles qui combinent entre l'utilisation des eaux du barrage et du pompage puis par celles qui se limitent à l'usage de l'eau du barrage. Les résultats suggèrent que la rentabilité ne reflète pas la valorisation de l'eau par les cultures : une culture rentable pour l'agriculteur n'est pas nécessairement celle qui valorise au mieux l'eau d'irrigation. La valorisation de l'eau d'irrigation a été retenue comme critère, parmi d'autres, dans le processus d'élaboration des choix des filières prioritaires des programmes agricoles régionaux qui constituent une déclinaison du PMV à l'échelle régionale. Pour conclure, d'une part, les exploitations agricoles, examinées à travers cette étude, ont constamment des efforts à déployer pour une meilleure maîtrise de la technologie disponible. Ainsi qu'elles sont loin d'allouer d'une manière optimale leurs ressources productives pour produire un niveau donné de biens. D'autre part, la préservation des ressources en eau et surtout leur allocation devrait faire l'objet d'un débat public afin de tenir compte, des stratégies et perceptions des acteurs locaux en les impliquant dans une réflexion prospective commune.

Chapitre III : Modélisation interannuelle pour le suivi des indicateurs socio-économique de gestion de l'eau

Article 2: Lionboui, H., Benabdelouahab, T., Elame, F., Hasib, A., et Boulli, A. (2016). Multi-year agro-economic modelling for predicting changes in irrigation water management indicators in the Tadla sub-basin. *International Journal of Agricultural Management*. Volume 5(4):96-105, December 2016.

III.1. Introduction

Le contexte hydrologique du Maroc reste principalement influencé par une hétérogénéité spatiale et temporelle très marquée des volumes d'eau renouvelable en plus de leur faiblesse, soit 22 milliards (m³/an) (CESE, 2014), l'équivalent de 660 (m³/pers.an). En considérant l'indicateur de pénurie d'eau, défini par Falkenmark (1989), comme étant le volume d'eau renouvelable par habitant, le Maroc est confronté à une pénurie d'eau (une disponibilité en eau renouvelable estimée entre 500 et 1000 (m³/pers.an)). Ainsi, la gestion des ressources en eau connaît actuellement des problèmes majeurs qui entravent son développement d'une manière intégrée et cohérente (MEMEE, 2012). En effet, l'engagement du Maroc dans la rationalisation de l'utilisation de ses ressources hydriques se révèle cruciale afin d'en assurer la durabilité quantitative et qualitative. Par ailleurs, une des activités les plus déterminantes dans la problématique de l'eau est l'agriculture.

L'agriculture au Maroc dépend des conditions climatiques. Ce qui rend de la maîtrise de l'eau, un impératif à la fois technique, et économique, et une voie privilégiée pour le développement économique et social. Cette insécurité climatique provoque une insécurité alimentaire globale, coûteuse pour le pays (nécessité d'importations massives lors des années sèches), et affectant de manière drastique les conditions de vie du monde rural, avec des répercussions sur les autres activités économiques. L'enjeu de l'eau est aujourd'hui crucial au Maroc. En effet, la politique agricole adoptée a focalisé l'essentiel de moyens sur la grande hydraulique, notamment dans la plaine de Tadla, bénéficiant d'une vision à long terme. Cependant, l'efficacité d'irrigation reste faible avec les techniques d'irrigation gravitaire dont le taux d'efficacité ne dépasse pas 50% et qui dominant 90% de la superficie irriguée selon la Direction Régionale de l'Agriculture.

En outre, la productivité par hectare irrigué n'atteint pas encore le potentiel pour certaines exploitations agricoles ; 69 % en terme d'efficacité économique moyenne, et le mètre cube d'eau n'est pas suffisamment valorisé par les cultures à haute valeur ajoutée (Lionboui et al., 2016b). Les incitations à la gestion efficace et économe de l'eau ont encore une portée limitée et le prix de l'eau ne reflète pas sa rareté. D'où la nécessité de développer des systèmes d'irrigation et de production agricole plus efficaces à travers la promotion des techniques d'irrigation économes et de systèmes de culture permettant une meilleure valorisation de l'eau. Les orientations stratégiques désormais assignés à la politique de l'eau sont : la gestion de la demande, le développement de la gestion participative et la valorisation technique et économique et sociale de l'eau affirmée comme bien économique. Ces stratégies ont pour double objectif d'une part de valoriser les efforts de mobilisation des ressources en eau en promouvant son utilisation efficace, et d'autre part de doter le pays d'instruments et moyens pour s'accommoder au risque de sécheresse en ayant les solutions appropriées pour la gestion des pénuries d'eau.

L'utilisation et l'allocation non rationnelles de l'eau d'irrigation constituent un frein majeur au développement des filières de production végétale dans le sous-bassin versant de Tadla. Or, la modernisation de ces dernières en adoptant des techniques économes de l'eau d'irrigation contribuera à mieux gérer cette ressource et à améliorer la rentabilité de la production.

Devant une telle situation, le modèle agro-économique TadMod a été élaboré pour l'éclairage de ce type de problématiques qui se posent au niveau du sous-bassin versant de Tadla. Le modèle proposé est un modèle agro-économique dynamique à l'échelle de bassin versant permettant de prévoir les variations interannuelles des indicateurs socio-économiques de gestion de l'eau en prenant en compte les projets de développement programmés dans le cadre de politiques agricoles actuelles.

III.2. Méthodologie

III.2.1. Structure du modèle proposé

Dans ce travail, nous développons un modèle agro-économique de gestion de l'eau au niveau d'un bassin versant basés sur la simulation des flux d'eau, les équations

d'équilibre des ressources-emplois de la retenue d'eau et des nappes, les flux d'eau au niveau des différents nœuds des cours d'eau et l'allocation des ressources en eau. En plus de refléter la dynamique d'interactions entre les différentes composantes, hydrologique, agronomique et économique, ce modèle permet de simuler le développement du prix économique de l'eau, des spéculations agricoles, des consommations en eau et de profit agricole sous différents scénarios de disponibilité et de choix de politique d'allocation de la ressource eau au niveau du sous-bassin de Tadla (Figure 13).

A la base, TadMod est un modèle d'optimisation économique nonlinéaire où, étant donné un certain nombre de contraintes, nous cherchons à maximiser une fonction objectif reflétant une utilité sociale qui peut être la valeur ajoutée globale générée au niveau de l'ensemble du bassin versant, ou toute autre fonction reflétant les préférences et les choix des décideurs. Une fois la fonction objectif (Eq.1) et les fonctions contraintes spécifiées, la calibration du modèle est obtenue à l'aide de la technique dite de programmation mathématique positive (Howitt, 1995).

$$Max VA = \sum_{S_U} \left(\sum_{Sy_Ir} VA_PMP_{S_U,Sy_Ir} \right) \quad (1)$$

"Max VA" représente la valeur ajoutée nette agricole au niveau du bassin et "VA_PMP" est la valeur ajoutée nette agricole par zone agricole (sous unité de la commune) et par système d'irrigation après calibration. "S_U" indique la sous unité de la commune pour différencier au sein de la même commune les modes d'accès à l'eau d'irrigation "Sy_Ir" existants. La valeur ajoutée nette par zone agricole et par source d'irrigation est calculée à partir de la production générée par le système de production moins les coûts de facteurs de production et d'amortissement.

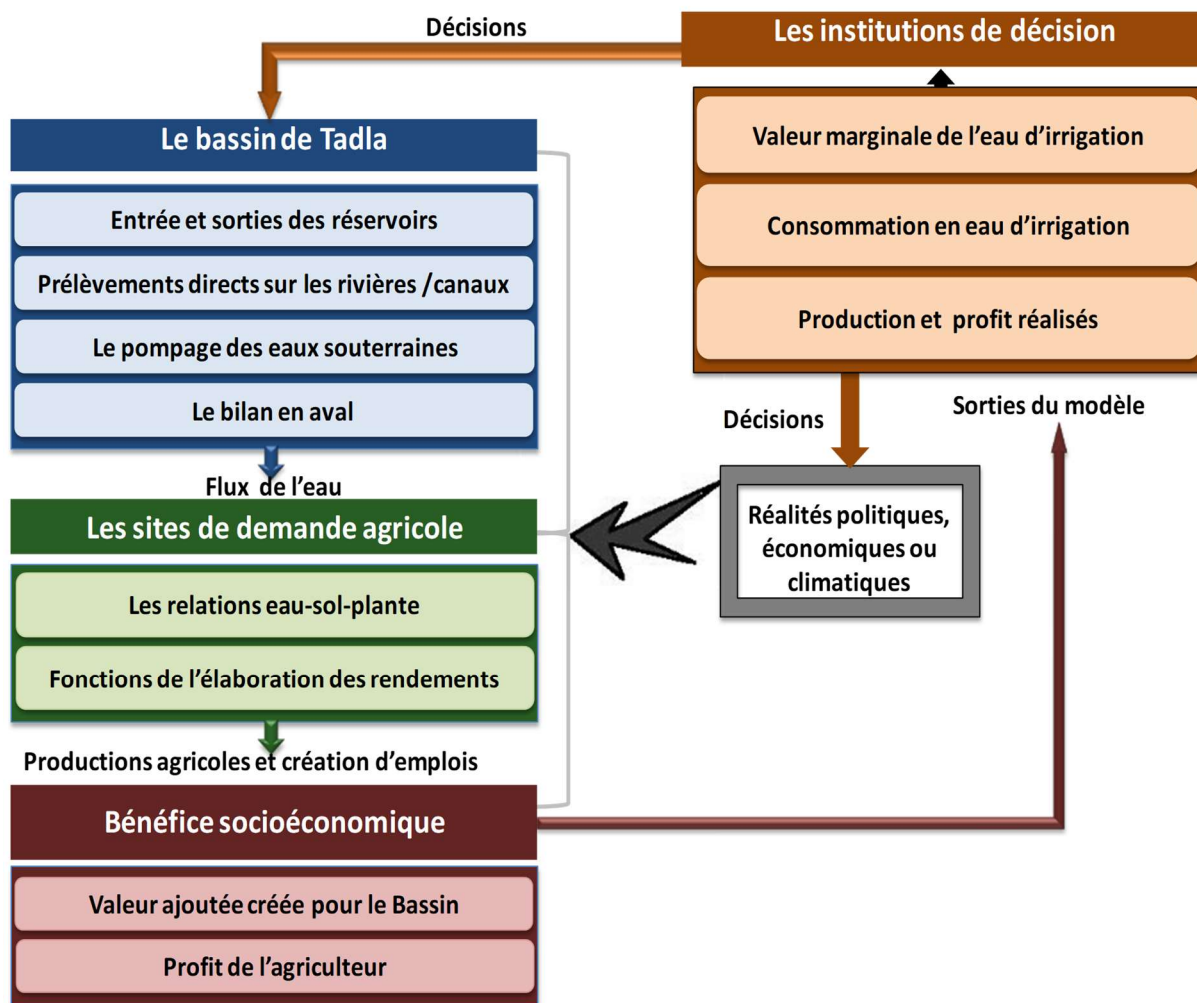


Figure 13 : La structure du modèle de gestion de l'eau élaboré pour le sous-bassin de Tadla.

La contrainte de disponibilité de la terre a été également prise en considération dans le modèle pour que la somme des superficies cultivées par zone agricole "SUP" ne dépasse pas la surface disponible en terres cultivables "SUP_T " au niveau du sous bassin de Tadla (Eq.2).

$$SUP_T \geq \sum_{S,U,Sy,Ir,Cult} SUP_{S,U,Sy,Ir,Cult} \quad (2)$$

La contrainte occupation du sol initiale représente la part de chaque culture dans la superficie agricole utile par zone agricole et par mode d'accès à l'eau d'irrigation. La valeur marginale de cette contrainte est utilisée dans la calibration du modèle. Le modèle va optimiser la fonction objectif tout en partant de ces valeurs observées (Eq.3 et 4).

$$OC_SOL_{S,U,Sy,Ir,Cult} = OC_SOL_A0_{S,U,Sy,Ir,Cult} \quad (3)$$

$$OC_SOL_A0_{S,U,Sy,Ir,Cult} = \frac{SUP_CULT_{S,U,Sy,Ir,Cult}}{\sum_{Cult} SUP_CULT_{S,U,Sy,Ir,Cult}} \quad (4)$$

"SUP_CULT" est le paramètre qui désigne la superficie occupée par la culture à l'année de référence (2009-2010), "OC_SOL_A0" représente la part de la culture dans la superficie agricole utile totale de la zone agricole, et "OC_SOL" définit la variable qui fixe la part de chaque culture dans la superficie cultivée totale.

Au niveau du sous-bassin de Tadla, la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation "EAU_UT" est composée de l'eau provenant des barrages et sources "EAU_SURF" et l'eau pompée à partir des nappes "EAU_SOUT" (Eq.5).

$$\sum_{Cult} EAU_UT_{S,U,Sy,Ir,Cul,PD} = EAU_SURF_{S,U,Sy,Ir,PD} + \sum_{NP} EAU_SOUT_{S,U,Sy,Ir,NP,PD} \quad (5)$$

* "S_U": Zone agricole, "Sy_Ir": source d'irrigation, "Cult": culture, "PD" : période (mois), "NP" : nappe.

Les fonctions de rendement des cultures dans le modèle sont conçues comme des approximations nonlinéaires du rapport entre l'évapotranspiration réelle et maximale selon la fonction PENMAN modifiée (FAO, 1998), ce qui rend le rendement en fonction de la demande d'eau par hectare.

Dans le but de refléter au mieux la complexité des conditions d'exploitation et de valorisation des eaux d'irrigation à moyen terme, le modèle proposé est de type dynamique récursif sur dix ans. L'introduction de l'aspect dynamique dans le modèle a été effectuée par le biais de création d'un ensemble d'année (10 ans) et d'une boucle. Cette boucle permettra de faire des itérations en tenant en compte des paramètres et des variables qui seront influencés par les variations prévues et qui seront introduites au cours de l'ensemble représentant les années. Ces variations concernent les taux de reconversion en système économe d'eau, l'extension des cultures, les précipitations, la

recharge des nappes et les apports en eau de surface. Pour les barrages, la quantité d'eau restante de l'année 1 (fin août) sera utilisée comme quantité initiale de l'année 2 (début septembre).

Le modèle élaboré est suffisamment désagrégé par sous unités physiques et fonctionnelles du bassin versant, par commune, par spéculation agricole et par source d'irrigation. Le modèle est programmé en GAMS (Brooke et al., 1998), et résolu en utilisant le solveur nonlinéaire « CONOPT ».

III.2.2. Données du modèle

Le modèle agro-économique adopté pour cette recherche exige des données techniques très précises et des études complémentaires dans les domaines hydraulique et agronomique. Il nécessite aussi une connaissance approfondie du système agro-hydraulique et économique, du fonctionnement de la gestion de l'eau dans le sous-bassin de Tadla ainsi que ses potentialités en ressources Hydriques. Ces données sont collectées auprès des acteurs régionaux de la gestion de l'eau d'irrigation à savoir l'office de mise en valeur agricole, la direction provinciale de l'agriculture, la direction régionale de l'agriculture et l'agence hydraulique du Bassin d'Oum Er Rbia.

Egalement des enquêtes ont été réalisées auprès des centres de développement agricole et des centres de travaux sur les assolements, les normes d'utilisation de facteurs de production ainsi que les rendements par commune et par mode d'accès à l'eau d'irrigation. Enfin, afin de valider et de compléter la base de données, une enquête « exploitations agricoles » a été effectuée auprès des agriculteurs dans la zone d'étude. Dans le cadre de ce travail, il est proposé de concentrer l'effort sur les trois unités territoriales agricoles qui existent sur le sous-bassin de Tadla. Ce choix est motivé par des considérations à la fois stratégiques et pratiques. D'une part, ces unités territoriales sont considérées par les institutions régionales de décisions comme étant des zones homogènes à l'échelle territoriale régionale de l'agriculture du point de vue climat, relief et aménagement hydro agricole. D'autre part, cette zone, dotée d'un périmètre irrigué de grande hydraulique de 98 300 ha, a bénéficié d'un programme régional agricole de dix années décliné en un ensemble de projets de développement agricole basés sur les aspects de production, valorisation, répartition spatiale, rareté de l'eau, situation du

foncier et intégration du maximum de filières et d'agriculteurs ciblés. Les unités territoriales agricoles étudiées dans ce travail sont : la zone de Plaine Grande Hydraulique (UTA 1), la zone de Plaine Bour – pompage privée (UTA 2) et la zone du Dir ou Piémont (UTA 3). Les principales cultures observées aux niveaux des Unités Territoriales Agricoles étudiées sont présentées dans la figure 14.

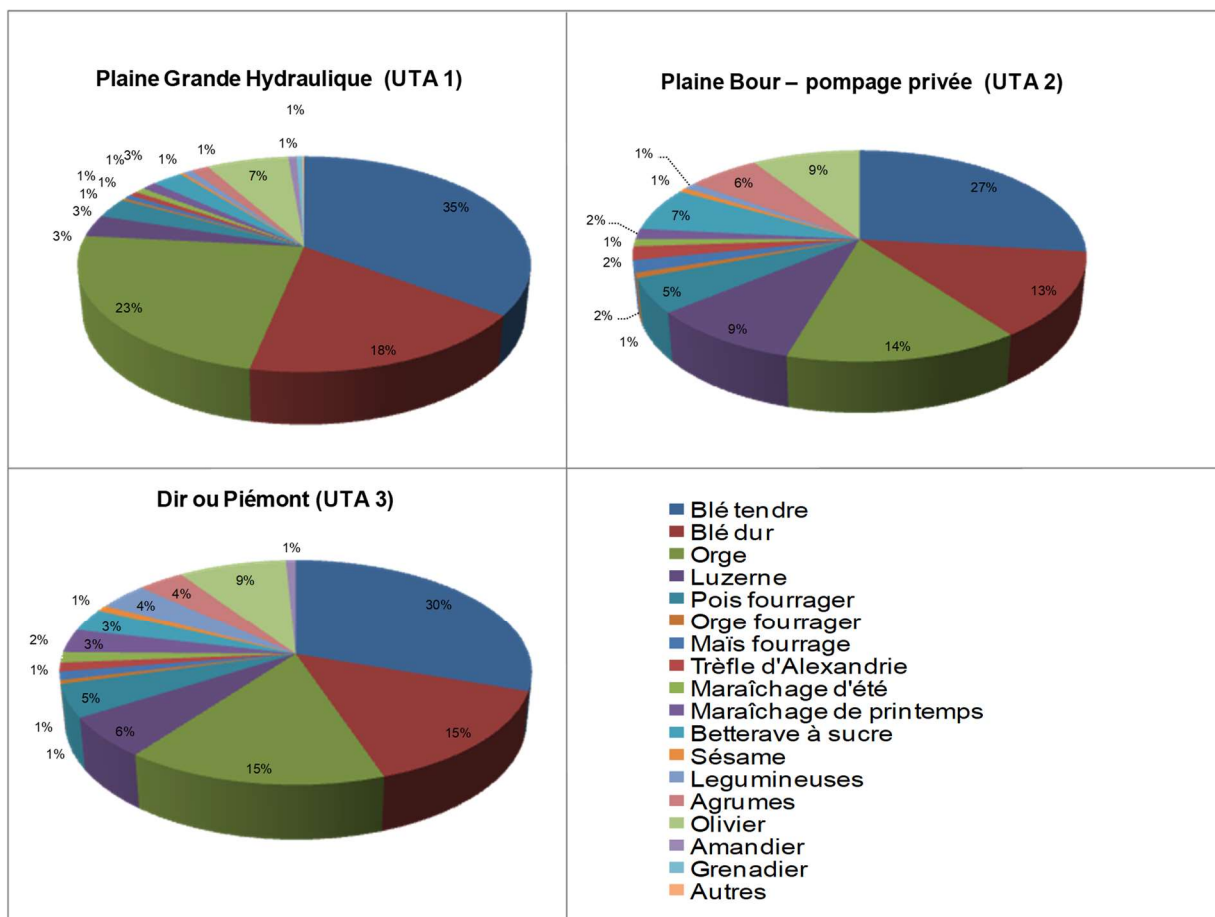


Figure 14 : Parts des cultures observées dans les différentes unités territoriales agricoles du sous-bassin de Tadla (2009-2010)

Les données collectées concernent, d'abord, des paramètres agronomiques comme : les rendements par culture, les besoins en intrants, les superficies par cultures, la pluie efficace, l'évapotranspiration maximale par culture et le coefficient de réponse du rendement par culture. Aussi, elles comportent des paramètres techniques et hydrologiques comme: le taux de perte en eau agricole, la demande en eau par zone agricole et par type d'exploitation agricole, l'évaporation des barrages, le volume maximale de chaque nappe, le coefficient de stockage de chaque nappe, le gradient de chaque nappe, la profondeur des nappes, perméabilité des nappes et le volume régularisé des barrages. Des paramètres socio-économique ont été également pris en considération

par zone agricole comme: le prix de vente des productions agricoles, le prix des intrants, le prix de vente de l'eau d'irrigation par zone agricole, les taux d'efficacité technico-économique des exploitations agricoles et le mode d'accès à l'eau d'irrigation. Finalement, pour simuler les variations interannuelles des indicateurs économiques et de gestion de l'eau, nous avons utilisé des données sur les projets de développement agricoles : les taux de reconversion en systèmes économes d'eau prises dans les projets prévus par le Programme National de l'Economie en Eau d'Irrigation (PNEEI) et les projets d'extension prévus pour chaque culture.

Dans le but de cerner les différences entre les exploitations agricoles, spécialement en terme de gestion de l'eau d'irrigation, nous avons adopté la même typologie du chapitre précédent (Bacot, 2001), basée sur le mode d'accès à l'eau d'irrigation.

Concernant l'évolution des apports en eau, nous avons adopté un modèle de régression linéaire effectuée sur une série chronologique de cinquante années pour le sous-bassin de Tadla qui montre une tendance à la baisse au cours des années.

L'année de référence choisie pour cette recherche correspond à la campagne agricole 2009-2010, considérée comme une année agricole moyenne, puisqu'elle a connu des précipitations moyennes de l'ordre de 475 (mm) selon les données de la Direction de la Météorologie Nationale.

III.3. Résultats et discussions

III.3.1. Prix économique de l'eau

Le prix économique ou «shadow price» est défini comme étant l'augmentation marginale de la valeur de la fonction objectif (le profit agricole) si on augmente la disponibilité en eau d'un mètre cube supplémentaire. Le prix économique reflète la rareté de la ressource eau contrairement au prix financier. Ainsi, il représente l'un des plus importants résultats calculés par le modèle TadMod qui permettra d'apprécier la valeur économique de l'eau dans chaque zone agricole (Tableau10).

Les résultats obtenus montrent une hétérogénéité des valeurs du prix économique de l'eau au sein de la même Unité Territoriale Agricole. Ceci revient au fait que les agriculteurs n'ont pas des chances similaires pour accéder à l'eau d'irrigation.

Tableau 10 : Distribution de fréquence des valeurs du prix économique de l'eau d'irrigation au niveau des zones agricoles observées

Classes (en MAD)	Les zones agricoles « UTA1 »		Les zones agricoles « UTA2 »		Les zones agricoles « UTA3 »	
	%	% cumulé	%	% cumulé	%	% cumulé
0,00 – 0,50	3,64	3,64	-	-	-	-
0,51 – 1,00	41,81	45,45	40,00	40,00	31,23	31,23
1,01 – 1,50	20,00	65,45	26,67	66,67	56,27	87,50
1,51 – 2,00	29,10	94,55	33,33	100,00	12,5	100,00
≥ 2,01	5,45	100,00	-	100,00	-	100,00
Moyenne	1,40		1,25		1.19	
Ecart type	0,59		0,44		0,36	

Le prix économique de l'eau d'irrigation moyen calculé après calibration pour le sous-bassin de Tadla est de l'ordre de 1,33 MAD pour un mètre cube d'eau. Il varie dans une fourchette de 1,19 MAD/m³ en moyenne pour les zones agricoles de la troisième unité territoriale agricole "UTA3" à 1,40 MAD/m³ pour celles appartenant à la première unité territoriale agricole "UTA1".

Alors que le prix de vente de l'eau de surface destinée à l'irrigation au niveau de la première unité territoriale agricole est de 0,32 MAD/m³, son prix économique est de 1,40 MAD/m³. Cette différence peut être expliquée par l'irrégularité des apports en eau de surface à travers les canaux du réseau d'irrigation alimentés par les barrages "Ahmed El Hansali" et "Bine Elouidane". Aussi, selon les agriculteurs, ces derniers reçoivent l'eau d'irrigation dans des moments qui jugent non favorables pour leurs cultures, ce qui augmente sa valeur en cas de besoin d'irriguer.

Au niveau de la deuxième unité territoriale agricole, le coût moyen pour l'extraction des eaux souterraines est évalué à 0,60 MAD/m³ au niveau de la région selon la Direction Régionale de l'Agriculture. Cependant, le prix économique calculé pour cette zone est de 1.25 MAD/m³ en moyenne. Dans le moyen terme, les exploitations agricoles de cette région n'ont pas un problème de disponibilité en eau puisqu'il s'agit d'une zone de

pompage privé. Néanmoins, cette valeur est due essentiellement au fait que les agriculteurs investissent dans des cultures à forte valeur ajoutée.

Enfin, pour la troisième unité territoriale agricole, le droit d'eau d'irrigation est une propriété privée et les ayants droits ont la possibilité de le mettre en vente ou en location. Le prix de vente de l'eau estimé selon la Direction Provinciale de l'Agriculture est de 0.22 MAD/m³. Cette valeur, qui est nettement supérieure à son prix économique évalué à 1.25 MAD/m³ en moyenne, ne reflète pas sa vraie valeur.

Pour ce qui est de la variation interannuelle du prix économique de l'eau d'irrigation, la figure 15 montre l'évolution de cet indicateur que nous avons obtenue en simulant les dix années qui suivent l'année de référence (de 2010/2011 à 2019/2020). Les projets de reconversion et d'extension prévus dans le plan agricole régional ainsi que les prévisions sur l'évolution des apports en eau, pour le bassin, établies selon les données de l'agence du bassin hydraulique ont été pris en compte.

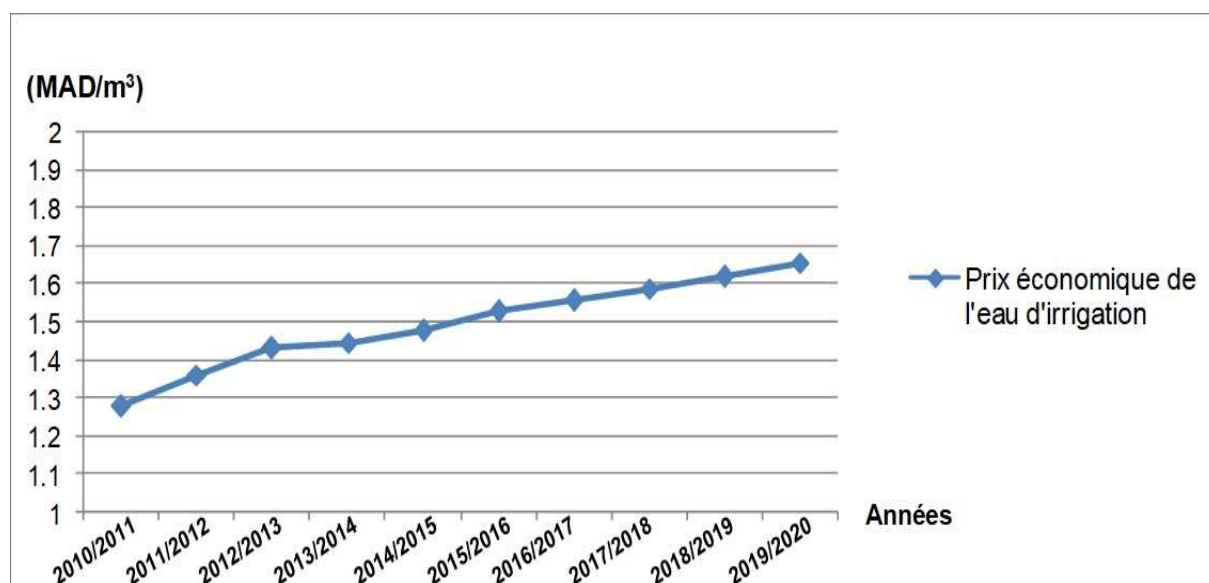


Figure 15 : L'évolution du prix économique de l'eau d'irrigation au niveau du sous-bassin de Tadla.

Au cours des années qui suivent l'année de référence, le prix économique connaîtrait une évolution de 33,2%. Ainsi, il va atteindre 1.67 MAD/m³ à l'année 2019/2020. Cette augmentation confirme les résultats obtenus par HEIDECKE et al. (2008) dans un contexte relativement similaire de point de vue de la tendance à la baisse des ressources

hydriques. Ce résultat revient, d'une part, à la diminution prévue en ressources hydriques au niveau du sous-bassin de Tadla, ce qui rend l'eau d'irrigation un facteur limitant de la production. D'autre part, elle peut être expliquée par l'entrée en vigueur des projets programmés d'intensification et d'orientation des agriculteurs vers des cultures à forte valeur ajoutée.

III.3.2. L'évolution de la consommation en eau d'irrigation au niveau du sous-bassin de Tadla

La consommation totale actuelle calculée en eau de surface à l'échelle du sous-bassin de Tadla est d'environ 638,18 Mm³, dont la première unité territoriale agricole consomme 75.45%. Le reste de la consommation en eau d'irrigation est assurée par l'eau souterraine avec un volume de 265 Mm³, dont 45.46% est consommée au niveau de la deuxième unité territoriale agricole.

La variation de l'indicateur de consommation de l'eau d'irrigation à travers les années simulée est représentée dans la figure 16.

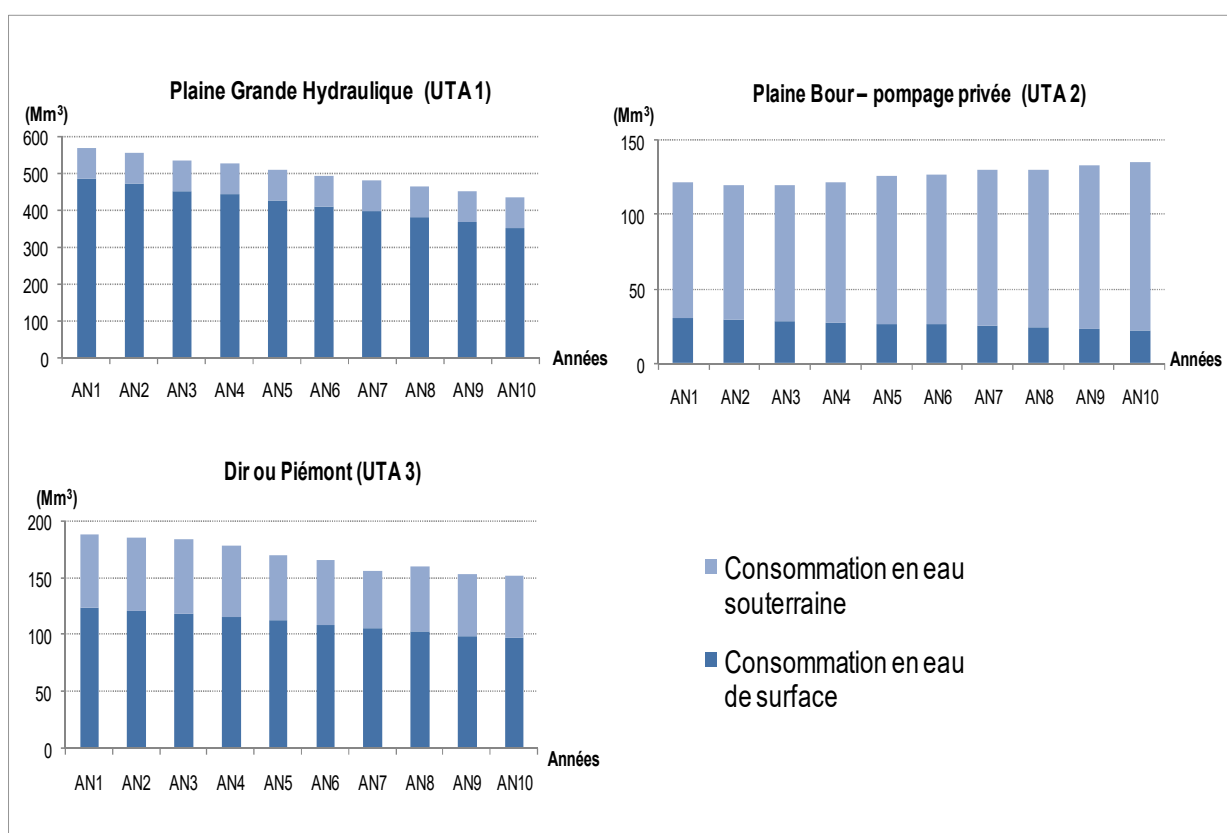


Figure 16 : Evolution des consommations en eau au niveau des unités territoriales agricoles du sous-bassin de Tadla.

Au cours de l'année 2010/2011 et jusqu'à l'année 2019/2020, la consommation totale en eau d'irrigation au niveau de la première et de la troisième unité territoriale agricole (UTA1 et UTA2) connaîtrait une diminution, notamment pour l'eau de surface. D'une part, le volume d'eau consommé par les exploitations agricoles est lié directement à la redevance payée par les agriculteurs ce qui permet de passer à ces derniers un signal tarifaire simple qui incite à l'adoption d'un comportement économe vis à vis de l'eau. D'autre part, les politiques agricoles actuelles ont mis un ensemble de mesures à travers les programmes de subventions et de vulgarisation pour l'adoption des systèmes économes d'eau, afin de faire face à la réduction prévue pour les apports en eau de surface pour le sous-bassin de Tadla.

En parallèle, pour la deuxième unité territoriale agricole (UTA2), alimentée principalement par les eaux souterraines, il est possible que la consommation en eau connaîtrait une légère augmentation. Ce qui affirme la tendance à l'augmentation du nombre de puits et de forages dans la région examinée dans le travail de Hamani et Kuper (2007). En effet, encouragés par la disponibilité des eaux souterraines sur toutes les périodes de l'année, les agriculteurs de cette unité territoriale ont cherché à se diversifier et à s'intensifier. Par conséquent, ces derniers réservent plus de superficies à des cultures à forte valeur ajoutée telles que certaines cultures arboricoles, la luzerne, le maïs fourrager et le maraichage d'été, quelle que soient leurs consommations en eau.

III.3.3. Système de cultures

La réduction des apports en eau au niveau du sous-bassin de Tadla entraînera une légère diminution de 1,90 % de la superficie cultivée. En effet, elle passera de 334347,58 Ha à la première année après calibration à 328177,11 Ha en 2019/2020 pour l'ensemble du sous-bassin. Pour les trois unités territoriales agricoles du sous-bassin, les assolements connaîtront des variations au cours des années simulées. Ces variations sont présentées dans le tableau 11 à travers les parts des cultures au niveau de chaque unité territoriale.

La tendance à la baisse que les ressources en eau connaissent au niveau du sous-bassin de Tadla poussera les agriculteurs à optimiser leur choix en optant pour des cultures qui demandent moins d'eau et réalisent des marges importantes afin de maximiser leur profit. Ainsi, une augmentation des superficies allouées aux cultures arboricoles,

betterave à sucre et maraîchères sera constatée, au détriment des cultures céréalières et fourragères.

Tableau 11 : Variation de la part des cultures au niveau du sous-bassin de Tadla

	Années Part% Cultures	AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6	AN7	AN8	AN9	AN10
		UTAI	Céréales	63,90	63,30	62,59	61,96	60,97	60,56	60,16	59,76
fourrages	12,09		12,05	11,97	11,77	11,77	11,77	11,78	11,78	11,79	11,81
Maraîchage	2,04		2,11	2,18	2,20	2,27	2,34	2,41	2,47	2,54	2,62
Betterave_Suc	4,89		4,89	4,89	6,03	6,04	6,06	6,07	6,08	6,09	6,10
Agrumes	3,45		3,46	3,46	3,44	3,45	3,47	3,48	3,49	3,51	3,53
Olivier	12,10		12,70	13,46	13,59	13,88	14,17	14,46	14,75	15,04	15,34
Autres	1,04		1,05	1,05	1,04	1,05	1,06	1,08	1,09	1,10	1,10
Légumineuses	0,35		0,35	0,36	0,33	0,33	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36
UTAI2	Céréales	83,60	83,17	82,63	82,04	81,85	81,65	81,29	80,80	80,58	80,36
	fourrages	1,26	1,25	1,24	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
	Maraîchage	1,36	1,37	1,39	1,36	1,37	1,39	1,40	1,41	1,43	1,45
	Betterave_Suc	3,12	3,13	3,14	3,69	3,66	3,65	3,64	3,62	3,62	3,62
	Agrumes	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	1,17	1,47	1,49	1,50
	Olivier	7,07	7,47	7,98	8,11	8,29	8,46	8,62	8,79	8,96	9,13
	Autres	0,93	0,94	0,96	0,98	1,00	1,01	1,03	1,05	1,05	1,05
	Légumineuses	1,67	1,68	1,68	1,61	1,62	1,63	1,63	1,63	1,64	1,65
UTAI3	Céréales	53,21	51,70	49,88	48,58	47,41	46,26	45,42	44,76	44,18	43,59
	fourrages	5,77	5,73	5,70	5,56	5,55	5,55	5,55	5,54	5,55	5,56
	Maraîchage	5,75	5,72	5,66	5,44	5,36	5,25	5,17	5,14	5,17	5,20
	Betterave_Suc	2,60	2,56	2,51	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07
	Agrumes	6,08	6,50	6,91	7,74	8,54	9,35	9,81	9,98	9,95	9,92
	Olivier	22,08	23,33	24,98	25,45	25,97	26,49	27,02	27,55	28,08	28,62
	Autres	2,22	2,22	2,19	2,11	2,12	2,12	2,12	2,14	2,18	2,21
	Légumineuses	2,28	2,24	2,18	2,05	1,98	1,91	1,84	1,81	1,82	1,83

III.3.4. Valeur ajoutée

Le modèle agro-économique de gestion de l'eau, élaboré lors de ce travail, maximise la valeur ajoutée agricole au niveau de l'ensemble du sous-bassin de Tadla. Contrairement à la marge brute qui apparaît comme la mesure de l'enrichissement des agents pris individuellement, la valeur ajoutée mesure la création de richesse pour la collectivité dans son ensemble (y compris le revenu du travail). Elle représente la somme des rémunérations du travail, des frais financiers et des taxes ou subventions, en plus du gain brut de l'agent (producteur). La valeur ajoutée moyenne calculée au niveau du sous bassin de Tadla est de 3180,78 Millions MAD/Année, avec une moyenne à l'hectare de 9513,40 MAD. La valeur ajoutée réalisée par chaque unité territoriale agricole au niveau du sous-bassin de Tadla est présenté dans le tableau 12.

Tableau 12 : Valeur ajoutée au niveau des unités territoriales agricoles observées

	Unité territoriale agricole (1)	Unité territoriale agricole (2)	Unité territoriale agricole (3)
Valeur ajoutée/Année (Million MAD/Année)	1826,54	857,85	496,39
Valeur ajoutée/ha (MAD/ha)	17231,48	5098,10	7263,69
Superficie agricole utile (ha)	106000	168272	68339
Superficie irriguée (ha)	98300	42100	24514
Superficie non irriguée "Bour" (ha)	7700	126172	43825

Il ressort du tableau ci-dessus, l'existence de différences entre les unités territoriales agricoles compte tenu de leur valeur ajoutée à l'hectare. La première unité territoriale agricole "UTA1" réalise la valeur ajoutée moyenne par hectare la plus élevée, soit 17231,48 (MAD/Ha). Au niveau de cette zone, 92.74% des terres cultivées ont accès à l'eau d'irrigation. Par conséquent, les agriculteurs réalisent des rendements élevés vu qu'ils ont la possibilité d'irriguer. Quant aux autres unités territoriales agricoles ("UTA2" et "UTA3"), qui réalisent des valeurs ajoutées de 5098,10 et 7263,69 (MAD/Ha) respectivement, elles sont composées essentiellement par des terres agricoles non irriguées "Bour". Ces dernières sont entièrement dépendantes de la pluviométrie dont la quantité varie selon les années agricoles et qui affecte directement

les rendements des cultures. Ainsi, selon les agriculteurs, ces derniers préfèrent de ne pas investir excessivement dans ces terres pour éviter les risques liés à la sécheresse.

D'après les résultats du modèle proposé, la valeur ajoutée réalisée au niveau du sous-bassin de Tadla connaîtrait une légère diminution, Au cours des années simulées (Figure 17).

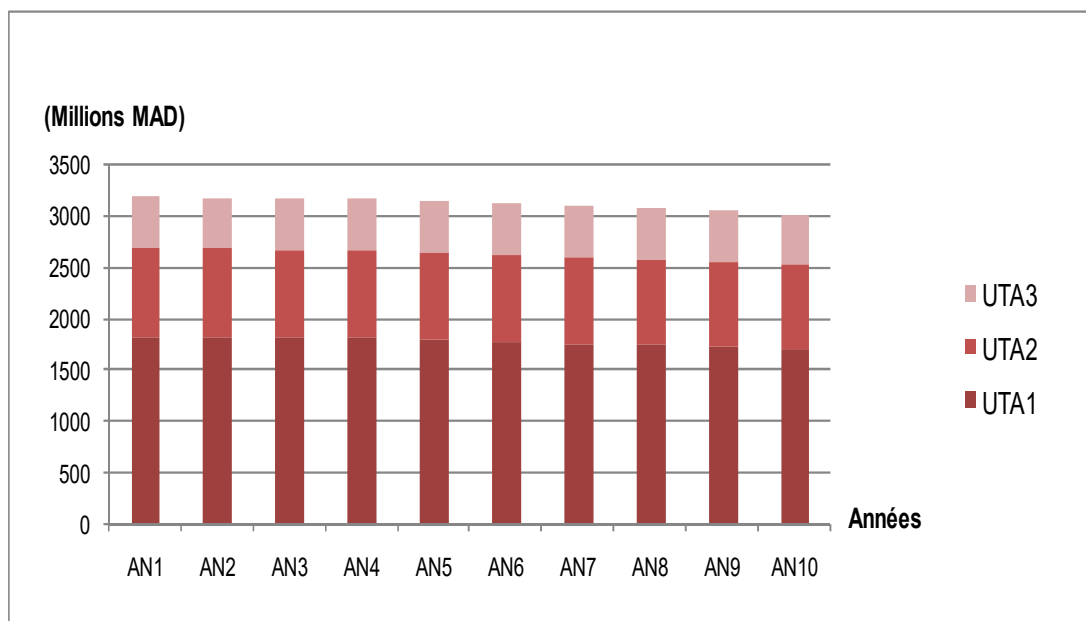


Figure 17 : L'évolution de la valeur ajoutée totale au niveau du sous-bassin de Tadla au cours des années

En effet, la valeur ajoutée moyenne calculée pour l'ensemble des unités territoriales agricoles appartenant au sous-bassin de Tadla passera de 3180,78 millions MAD en première année à 3009,96 millions MAD en 2019/2020. Cette baisse est plus visible au niveau de la première unité territoriale "UTA1", ce qui pourrait être expliqué par la diminution des superficies cultivées provoquée par la réduction des apports en eau de surface prévue au cours de cette période.

III.4. Conclusion

Devant une situation marquée par la tendance à la baisse des apports annuels en eau, cette recherche met le point sur la situation actuelle et la variation interannuelle du prix économique de l'eau, de l'utilisation de l'eau d'irrigation et des terres agricoles ainsi que de la valeur ajoutée agricole au niveau du sous-bassin de Tadla. Ceci a été effectué à l'aide d'un modèle agro-économique dynamique désagrégé par unité territoriale

agricole selon les différentes sources d'irrigation. En effet, l'aspect type d'irrigation a été inclus dans ce modèle, en adoptant les taux de reconversion progressif sur dix ans pour chaque spéculation agricole. Les extensions programmées pour certaines cultures sur les années avenir, dans le cadre du Plan Agricole Régional (PAR), ont été aussi prises en compte.

Parmi les plus importants résultats obtenus de cette recherche, se présente le prix économique de l'eau d'irrigation, il permet d'apprécier la valeur économique de l'eau dans chaque zone agricole appartenant aux unités territoriales agricoles étudiées. L'analyse des résultats de l'année de base révèle d'importantes différences du prix économique de l'eau entre les zones agricoles. Sa valeur moyenne calculée par TadMod pour le sous-bassin de Tadla est de l'ordre de 1,33 MAD pour le mètre cube d'eau. Cette valeur dépasse de loin les prix actuels de vente de l'eau dans les différentes unités territoriales agricoles. Le prix économique de l'eau d'irrigation varie dans une fourchette de 1,19 MAD/m³ en moyenne pour les zones agricoles de la troisième unité territoriale agricole à 1,40 MAD/m³ pour celles appartenant à la première unité territoriale agricole. Au cours des dix années qui suivent l'année de base, il est susceptible que le prix économique de l'eau connaîtrait une augmentation de 33,2% ce qui peut ouvrir la question sur la révision des tarifs de l'eau d'irrigation au niveau de la région. De sa part, la consommation totale en eau d'irrigation de surface connaîtrait une diminution. Tandis que la consommation en eau souterraine augmentera légèrement afin de compenser la rareté en eaux de surface puisqu'il n'y a pas des restrictions sur son extraction.

La réduction des apports en eau au niveau du sous-bassin de Tadla entraînera aussi une légère diminution de 1,90 % de la superficie cultivée. En effet, elle passera de 334347,58 Ha à la première année après calibration à 328177,11 Ha en 2019/2020 pour l'ensemble du sous-bassin. Cette limitation des superficies des cultures, causée par la diminution des quantités d'eau, poussera les agriculteurs à optimiser leur choix en optant pour des cultures qui demandent moins d'eau et réalisent des marges importantes afin de maximiser leur profit. Egalement, pour la valeur ajoutée totale du sous-bassin de Tadla, elle connaîtrait une légère diminution causée essentiellement par la diminution des

superficies cultivées liée à la variation des niveaux de fourniture d'eau d'irrigation prévue au cours de cette période.

Chapitre IV : Test du modèle statique : La tarification comme instrument incitatif de l'économie de l'eau d'irrigation

Article 3 : Lionboui, H., Fadlaoui, A., Elame, F., and Benabdelouahab, T. (2014). Water pricing impact on the economic valuation of water resources. *International Journal of Education and Research* Volume 2(6):147-166.

IV.1. Introduction

Dans les pays du pourtour méditerranéen, les ressources en eau sont limitées et inégalement réparties dans l'espace et dans le temps. Les pays de la rive Sud, dont fait partie le Maroc, ne sont dotés que de 13 % du total de la ressource (Belghiti, 2011). Au Maroc, la gestion des ressources en eau connaît actuellement des problèmes majeurs qui entravent son développement d'une manière intégrée et cohérente. Ces problèmes concernent la protection des bassins versants, la qualité de l'eau, la croissance démographique, les changements climatiques et la valorisation des ressources en eau et leur utilisation rationnelle. En effet, l'engagement du Maroc dans la rationalisation de l'utilisation de ses ressources hydriques se révèle cruciale afin d'en assurer la durabilité quantitative et qualitative. Par ailleurs, une des activités les plus déterminantes dans la problématique de l'eau est l'agriculture. L'agriculture est considérée comme étant un secteur stratégique pour le développement socio-économique du Maroc. Depuis, l'indépendance du pays, il s'est engagé dans nombreux programmes de développement agricole et rural et de réformes structurelles pour assurer la sécurité alimentaire et améliorer sa croissance économique.

Dans le but de promouvoir un usage efficient de l'eau, parmi les défis que le Maroc a pris dès les années soixante est la tarification de l'eau d'irrigation. Dans le système de tarification, la structure de la redevance payée à l'eau est assise sur le volume d'eau consommé, ce qui fournit à l'utilisateur un signal tarifaire transparent et simple et l'incite à adopter un comportement économe vis-à-vis de l'eau. Depuis son instauration, par le code des investissements agricoles (CIA) en 1969, selon le Dahir 1-69-25 Juillet 1969 et le décret 2-69-37, relatif aux conditions de distribution et d'utilisation de l'eau dans les périmètres d'irrigation (Belghiti, 2005), la tarification de l'eau a été sujette de plusieurs discussions dans le but de concilier entre la recherche de l'équilibre financier

des charges de services de l'eau et d'assurer la valorisation du potentiel de productivité et de l'eau pour que les agriculteurs aient la capacité de payer l'eau à un tarif qui assure la durabilité de leur système. La participation financière des bénéficiaires se présente sous deux formes. D'une part, une participation directe à la valorisation des terres. Elle consiste à payer une partie des frais de création des périmètres d'irrigation par une participation directe à la valorisation des terres irriguées rapportée à l'hectare équipé. D'autre part, une redevance pour l'usage de l'eau d'irrigation pour la couverture de la totalité des charges d'exploitation d'entretien et d'amortissement des équipements externes d'irrigation.

Au cours des années, le système tarifaire prévoit une application progressive de la redevance de l'eau, dite taux d'équilibre, pour tenir compte des effets progressifs de l'irrigation et de l'apprentissage de la production en système irrigué. Le périmètre irrigué de Tadla a été concerné par une décision visant l'augmentation de la redevance payée à l'eau d'irrigation. Cette décision commune entre le ministère de l'agriculture et de la pêche maritime, le ministère de l'économie et des finances et celui de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement (N°2451.09/ 17 Septembre 2009) ajournée depuis sa publication dans le bulletin officiel N° 5781 le 26 octobre 2009 n'a pas vu le jour jusqu'à présent.

Dans un contexte où la ressource en eau constitue un facteur limitant de la production agricole, et afin d'aider les décideurs régionaux pour orienter leur choix avenir, ce papier discute dans quelle limite une éventuelle augmentation de la redevance payée à l'eau d'irrigation peut inciter les usagers à faire des économies d'eau.

IV.2. Méthodologie

IV.2.1. La prise en compte de la simulation test dans le modèle

Cette section discute les chocs exogènes à simuler, et justifie le choix de ses simulations ainsi que la façon dont ils sont pris en compte dans le modèle. La démarche méthodologique présentée ici repose sur une classification soigneuse des agriculteurs, afin de pouvoir analyser les impacts différentiels de changements dans la tarification de l'eau par les exploitations agricoles (groupes homogènes d'agriculteurs). Nous avons classé les exploitations agricoles selon quatre types d'agriculteurs: a- agriculteurs ayant

un accès facile à la nappe et un accès à l'eau du réseau (GHIP); b- agriculteurs ayant un accès restreint à la nappe et un accès à l'eau du réseau (GH); c- agriculteurs ayant un accès facile à la nappe et n'ayant pas accès au réseau (IP); d- agriculteurs ayant un accès restreint à la nappe et n'ayant pas accès au réseau (Bour). Dans le cadre de ce chapitre, il est proposé de concentrer l'effort sur le périmètre irrigué de Tadla. Le choix de ce périmètre irrigué est motivé par des considérations à la fois stratégiques et pratiques. En effet, l'ancienneté des équipements hydro-agricoles, dont a bénéficié ce périmètre, ainsi que son importance économique et environnementale ont résulté au fil du temps en l'accumulation d'un nombre élevé d'études et de recherches dont les résultats constituent un socle de connaissances important pour la réussite de cette recherche.

IV.2.2. Les simulations appliquées pour tester le modèle statique

a. Scénario de référence

L'année de référence choisie pour cette recherche correspond à la campagne agricole 2009-2010. Ce scénario aidera à comprendre les conflits d'usage autour de l'allocation de l'eau dans le périmètre irrigué de Tadla et par la suite servira comme référence pour la comparaison des résultats des différents scénarios simulés.

b. Simulation 1 : situation de sécheresse

Vu que le Maroc et notamment le bassin de Tadla a été affecté par des périodes de sécheresse prolongées, il s'est avéré important de tenir compte du problème de pénurie d'eau, à l'avenir, dans les politiques et les stratégies de gestion des ressources en eau. C'est de cet enjeu qu'est née l'idée d'effectuer un scénario qui reflète le cas d'une année de sécheresse.

Ce scénario permet de mieux comprendre le comportement des agriculteurs dans des conditions de rareté de l'eau. Il a pour objectif de simuler l'impact d'une diminution de 40% de la dotation de l'eau, de la recharge des nappes et des précipitations au niveau du périmètre irrigué de Tadla.

c. Simulation 2 : Augmentation du taux d'équilibre de l'eau d'irrigation

La question de la révision des taux d'équilibre de l'eau d'irrigation et surtout de les augmenter a toujours été un point de discussion et de débat au sein des services

responsables de la gestion de la ressource en eau des offices régionaux de mise en valeur agricole, certains y adhèrent et d'autres hésitent. Pour le périmètre irrigué de Tadla, des augmentations du taux d'équilibre de l'eau d'irrigation ont été déterminées par une décision commune entre le ministère de l'agriculture et de la pêche maritime, le ministère de l'économie et des finances et celui de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement (N°2451.09/ 17 Septembre 2009) (bulletin officiel, 2009), pour que la redevance de l'eau d'irrigation atteigne 0.40 MAD/m³ en 2011. Cette augmentation n'a pas été appliquée jusqu'à ce jour par crainte que le nouveau taux ne soit pas supportable par les agriculteurs de la région. La tarification est censée être un outil privilégié pour améliorer la valorisation économique de l'eau mais elle doit être supportable par les exploitants agricoles.

Cette simulation s'attache à répondre à la problématique de l'augmentation des taux d'équilibre de l'eau dans le périmètre irrigué de Tadla afin d'en tirer les renseignements utiles pour une redéfinition de la politique de tarification dans ce périmètre. Ce scénario, simule l'impact d'une augmentation du taux d'équilibre d'eau d'irrigation appliquée à l'eau de surface au niveau du périmètre irrigué de Tadla de 25% dans le cas d'une année normale (simulation 2). Le niveau d'augmentation retenu pour cette simulation et que nous avons estimé selon le plan de rattrapage tarifaire de l'eau de surface à l'échelle du périmètre irrigué de Tadla est de 0.4 MAD/m³.

L'objectif de cette simulation est de déterminer le comportement des agriculteurs face à une variation du taux d'équilibre de l'eau, d'apprécier leur capacité à payer les redevances avant et après l'augmentation de ce taux et donc de savoir si les objectifs assignés à la nouvelle tarification peuvent être atteints.

IV.3. Résultats et discussions

IV.3.1. Analyse de la situation de référence

a. Prix économique de l'eau :

Il présente l'un des résultats les plus importants et les plus significatifs tiré du modèle, il permet d'apprécier la valeur économique de l'eau dans chaque zone agricole selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation. Le prix économique ou « shadow price » est défini comme étant l'augmentation marginale de la valeur de la fonction objectif (le profit

agricole) si on augmente la disponibilité en eau d'un mètre cube supplémentaire. Le prix économique reflète la rareté de la ressource eau contrairement au prix financier. Le graphique suivant montre l'évolution du prix économique de l'eau d'irrigation pour l'ensemble du bassin de Tadla.

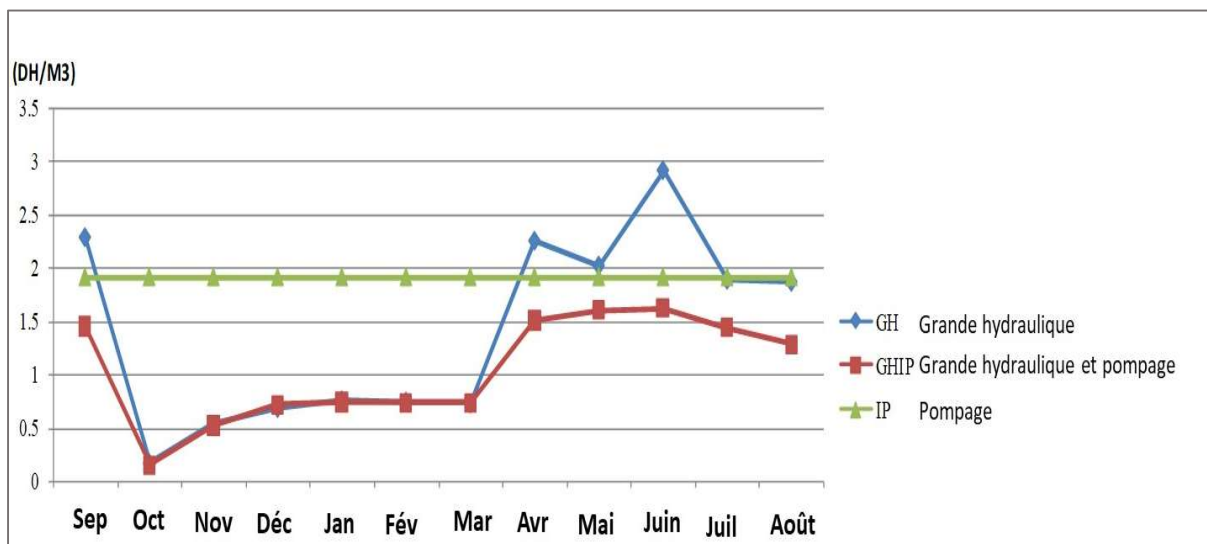


Figure 18 : L'évolution du prix économique de l'eau d'irrigation selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation au cours de l'année de base.

Le prix économique de l'eau d'irrigation ne varie pas selon les périodes pour le mode d'accès à l'eau d'irrigation « IP », vu qu'il n'y a pas de contraintes sur l'utilisation des ressources en eau souterraines par période. Pour les modes d'accès à l'eau d'irrigation « GH » et « GHIP », le prix économique de l'eau d'irrigation connaît une augmentation à partir du mois d'avril et jusqu'en septembre, puis diminue avec les premières précipitations qui coïncident généralement avec le mois d'octobre (Figure 18). Le prix économique de l'eau d'irrigation moyen calculé par le modèle pour le périmètre irrigué de Tadla est de l'ordre de 1.28MAD pour le mètre cube d'eau. Il varie dans une fourchette de 0.97 MAD/m³ en moyenne pour la zone agricole « Béni Moussa» à 1.74 MAD/m³ pour la zone agricole « Béni Amir » comme le montrent les résultats du modèle (tableau 13).

Tableau 13 : Valeur du coût d'opportunité de l'eau au Tadla par zone agricole et par mode d'accès à l'eau (MAD/m³)

		Mode d'accès à l'eau d'irrigation		
		Grande hydraulique (GH)	Pompage privé (IP)	Grande hydraulique +Pompage privé (GHIP)
Zones agricoles	Béni Amir	1.64	2.21	1.53
	Béni Moussa	1.26	1.62	0.71
	Périmètre irrigué	1.40	1.91	1.04

L'analyse des résultats révèle d'importantes différences du prix économique de l'eau selon les zones agricoles et le mode d'accès à l'eau d'irrigation.

Au sein de la même zone, la différence de sensibilité du prix économique de l'eau d'irrigation aux variations des niveaux de fourniture d'eau d'irrigation est remarquable dans les différentes zones agricoles selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation.

Les exploitations agricoles qui utilisent seulement l'eau souterraine ont une valeur marginale de l'utilisation de l'eau d'irrigation plus grande que celle des autres exploitations agricoles avec une valeur marginale moyenne de l'utilisation de l'eau d'irrigation de 1.92 MAD/m³. Cela peut être expliqué par le fait que ces exploitations agricoles réservent plus de superficie aux cultures de forte valorisation de l'eau et elles ont la possibilité de choisir la technique d'irrigation la plus adaptée au contexte de l'exploitation agricole vu qu'elles peuvent irriguer au moment qui estime convenable pour leur culture même si la qualité des eaux pour ce groupe se diffèrent d'une exploitation agricole à une autre. Ensuite viennent les exploitations agricoles utilisant les eaux de surface avec une valeur marginale de l'utilisation de l'eau d'irrigation moyenne de 1.45 MAD/m³. Cette valeur peut être expliquée par l'irrégularité des apports en eau de surface à travers les canaux du réseau de la grande hydraulique. Aussi, ce groupe d'exploitations agricoles reçoivent l'eau d'irrigation dans des moments non favorables selon le jugement des agriculteurs ainsi que la majorité de ces exploitations agricoles ont recours à l'irrigation gravitaire. Enfin, les exploitations agricoles qui combinent entre l'utilisation des eaux d'irrigation de surface et souterraine ont une valeur marginale de l'utilisation de l'eau d'irrigation inférieure par rapport aux autres

exploitations agricoles disposant d'autres modes d'accès à l'eau d'irrigation, en moyenne 1.12 MAD/m³. Ces exploitations agricoles se caractérisent par le fait d'avoir la possibilité d'irriguer au moment il y a le besoin, ainsi que de choisir la technique d'irrigation la plus adaptée au contexte de l'exploitation agricole et donc en cas de déficit dans les eaux de surfaces durant une période, elles ont recours aux eaux souterraines.

b. La consommation en eau d'irrigation au niveau du périmètre irrigué de Tadla : entre l'offre et la demande

Au début de la campagne agricole et jusqu'au mois de février, la demande en eau d'irrigation des cultures est relativement faible. A partir du mois de mars jusqu'au mois de juin, cette demande devient de plus en plus élevée et atteint un maximum en mois d'avril avec 279.19 Mm³ (Figure 19).

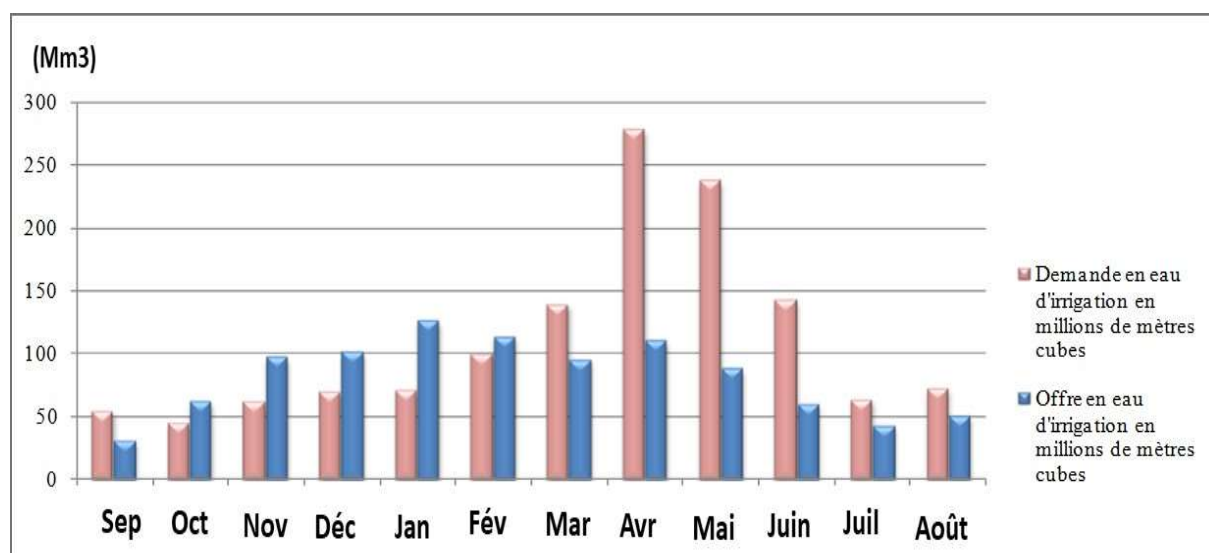


Figure 19 : L'évolution de l'offre et de la demande en eau d'irrigation au niveau du périmètre irrigué de Tadla au cours de l'année de référence.

En confrontant l'offre à la demande en eau d'irrigation au niveau du périmètre irrigué de Tadla, les résultats de nos calculs, montrent que l'offre et la demande n'évoluent pas dans le même sens. Ainsi, depuis le mois d'octobre et jusqu'au mois de février l'offre est supérieure à la demande, vu que cette période est connue par des précipitations importantes. Après cette période, et jusqu'au mois de septembre, la demande en eau d'irrigation augmente en dépit de l'offre qui ne peut pas satisfaire aux besoins des exploitations agricoles de la région.

La demande totale en eau d'irrigation des cultures est de 1344.82 millions de mètres cubes au niveau du périmètre irrigué de Tadla. Cette demande est couverte à 73.1% puisque l'offre en eau de surface et souterraine pour la même année est de 982.62 millions de mètres cubes. Pour les eaux souterraines, pour le calcul de l'offre par mois, nous supposons que l'offre est égale à la consommation au niveau de ce périmètre. Alors que pour le calcul de l'offre annuelle nous considérons le potentiel de chaque aquifère.

c. Profit agricole

Pour l'année de référence, la marge nette totale au niveau du périmètre irrigué de Tadla est estimée à 1370.09 Millions de Dirhams, avec une moyenne à l'hectare de 6942.85 MAD. La marge nette réalisée par chaque mode d'accès à l'eau d'irrigation au périmètre irrigué de Tadla se présente dans le tableau 14.

Tableau 14 : Marge nette selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation au niveau du périmètre irrigué de Tadla

		Mode d'accès à l'eau d'irrigation			
		Grande hydraulique	Pompage privé	Grande hydraulique +Pompage privé	Bour
Marge nette zone (Millions MAD)	La grande hydraulique	775.87	178.41	278.41	137.40
	Béni Amir	289.07	54.95	117.86	70.60
	Béni Moussa	486.80	123.45	160.55	66.80
Marge nette (MAD/Ha)	La grande hydraulique	11432.38	13369.72	15651.24	1709.63
	Béni Amir	11336.02	11486.56	13780.28	1669.84
	Béni Moussa	11490.38	14422.18	17383.92	1753.79

Il ressort du tableau ci-dessus, l'existence de différences entre les exploitations agricoles compte tenu de leur marge nette à l'hectare au sein de la même zone agricole selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation. Les exploitations agricoles qui ont accès à la fois aux eaux de surface et souterraines réalisent la marge nette par hectare la plus élevée qui est de 15651.24MAD/Ha puisqu'elles réalisent les rendements les plus élevés, car elles ont la possibilité d'irriguer selon les besoins avec des quantités suffisantes d'eau moins chère relativement par rapport à celles qui utilisent l'eau souterraine. Ces dernières, qui

viennent en deuxième lieu avec une marge nette de 13369.72MAD/Ha. Elles réalisent en moyenne des rendements relativement moins élevés que les premières, ce qui pourrait dû à la qualité des eaux souterraines qui est différente entre les zones agricoles des Béni Moussa et Béni Amir ainsi que le coût de pompage qui est plus cher que la redevance à payer pour l'acquisition de l'eau de surface. Enfin, les exploitations agricoles, qui ont accès seulement aux eaux de surface, viennent en dernier lieu avec une marge nette de 11432.38MAD/Ha. Ces exploitations agricoles réalisent des rendements moins élevés par rapport aux autres types d'exploitations agricoles car elles reçoivent des quantités limitées en eau d'irrigation selon la pluviométrie des années ainsi que parfois dans des moments qui ne sont pas convenables pour les agriculteurs.

IV.3.2. Résultats de la simulation « Situation de sécheresse »

a. Prix économique de l'eau :

Les résultats obtenus de cette simulation révèlent une augmentation importante de la valeur marginale de l'eau par rapport à la situation de référence, elle est passée de 1.28 MAD/m³ observée en année de référence à 1.60 MAD/m³. On peut donc déduire que la ressource eau devient très contraignante à la production au niveau du périmètre irrigué de Tadla lors d'une année sèche. Ceci reflète le rôle important que joue l'eau dans la rentabilité des cultures et dans le revenu agricole net. (Figure 20)

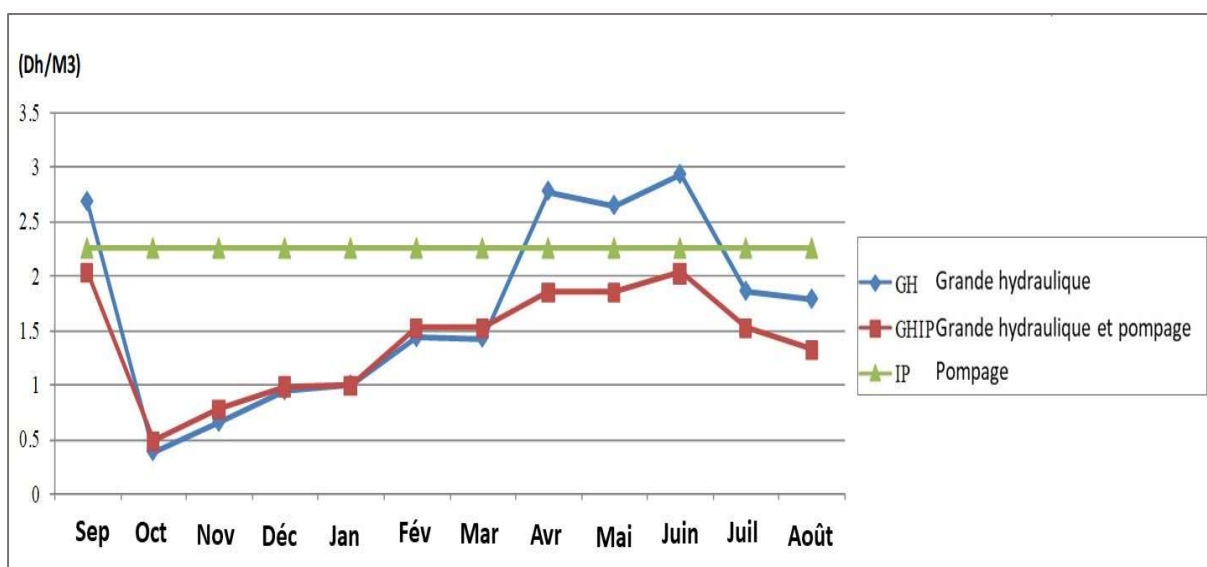


Figure 20 : Effet de la sécheresse sur le prix économique de l'eau d'irrigation au niveau du périmètre irrigué de Tadla selon le mode d'accès à l'eau.

Le prix économique de l'eau d'irrigation ne varie pas selon les périodes pour le mode d'accès à l'eau d'irrigation « IP », vu qu'il n'y a pas de contraintes sur l'utilisation des ressources en eau souterraines par période. Pour les modes d'accès à l'eau d'irrigation « GH » et « GHIP », le prix économique de l'eau d'irrigation connaît une augmentation à partir du mois de février et jusqu'en septembre, puis diminue avec les premières précipitations qui coïncident généralement avec le mois d'octobre. Il varie dans une fourchette de 1.23MAD/m³ en moyenne pour la zone agricole « Béni Moussa » à 2.18MAD/m³ pour la zone agricole « Béni Amir » comme le montrent les résultats du modèle résumés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Valeur du prix économique de l'eau au Tadla par zone agricole selon le mode d'accès à l'eau

		Mode d'accès à l'eau d'irrigation					
		Grande hydraulique		Pompage privé		Grande hydraulique +Pompage privé	
		Valeur (MAD/m ³)	Variation/Année de Base	Valeur (MAD/m ³)	Variation/Année de Base	Valeur (MAD/m ³)	Variation/Année de Base
Zones agricoles	Béni Amir	1.98	+0.34	2.75	+0.54	1.92	+0.39
	Béni Moussa	1.53	+0.27	1.76	+0.14	1.01	+0.30
	Périmètre irrigué	1.71	+0.31	2.25	+0.34	1.40	+0.36

Les exploitations agricoles qui utilisent seulement l'eau souterraine ont une valeur marginale de l'utilisation de l'eau d'irrigation plus grande que celle des autres exploitations agricoles avec une valeur marginale moyenne de l'utilisation de l'eau d'irrigation de 2.25 MAD/m³. Cela peut être expliqué par le fait que ces exploitations agricoles réservent plus de superficie aux cultures de forte valorisation de l'eau et elles ont la possibilité de choisir la technique d'irrigation la plus adaptée au contexte de l'exploitation agricole vu qu'elles peuvent irriguer au moment qui estime convenable pour leur culture même si la qualité des eaux pour ce groupe se diffèrent d'une exploitation agricole à une autre. Ensuite viennent les exploitations agricoles utilisant les eaux de surface avec une valeur marginale de l'utilisation de l'eau d'irrigation moyenne de 1.71MAD/m³. Cette valeur peut être expliquée par l'irrégularité des apports en eau de surface à travers les canaux du réseau de la grande hydraulique. Aussi, ce

groupe d'exploitations agricoles reçoivent l'eau d'irrigation dans des moments qui ne conviennent pas aux agriculteurs ainsi que la majorité de ces exploitations agricoles ont recours à l'irrigation gravitaire. Enfin, les exploitations agricoles qui combinent entre l'utilisation des eaux d'irrigation de surface et souterraine ont une valeur marginale de l'utilisation de l'eau d'irrigation inférieure par rapport aux autres exploitations agricoles disposant d'autres modes d'accès à l'eau d'irrigation, en moyenne 1.40MAD/m³. Ces exploitations agricoles se caractérisent par le fait d'avoir la possibilité d'irriguer au moment il y a besoin ainsi que de choisir la technique d'irrigation la plus adaptée au contexte de l'exploitation agricole et donc en cas de déficit dans les eaux de surfaces durant une période, elles ont recours aux eaux souterraines.

b. Consommation en eau d'irrigation

La demande totale en eau d'irrigation des cultures est de 1141.04 millions de mètres cubes au niveau du périmètre irrigué de Tadla. Cette demande est couverte à 55.15% puisque l'utilisation en eau de surface et souterraine pour la même année est de 629.30 millions de mètres cubes (figure 21).

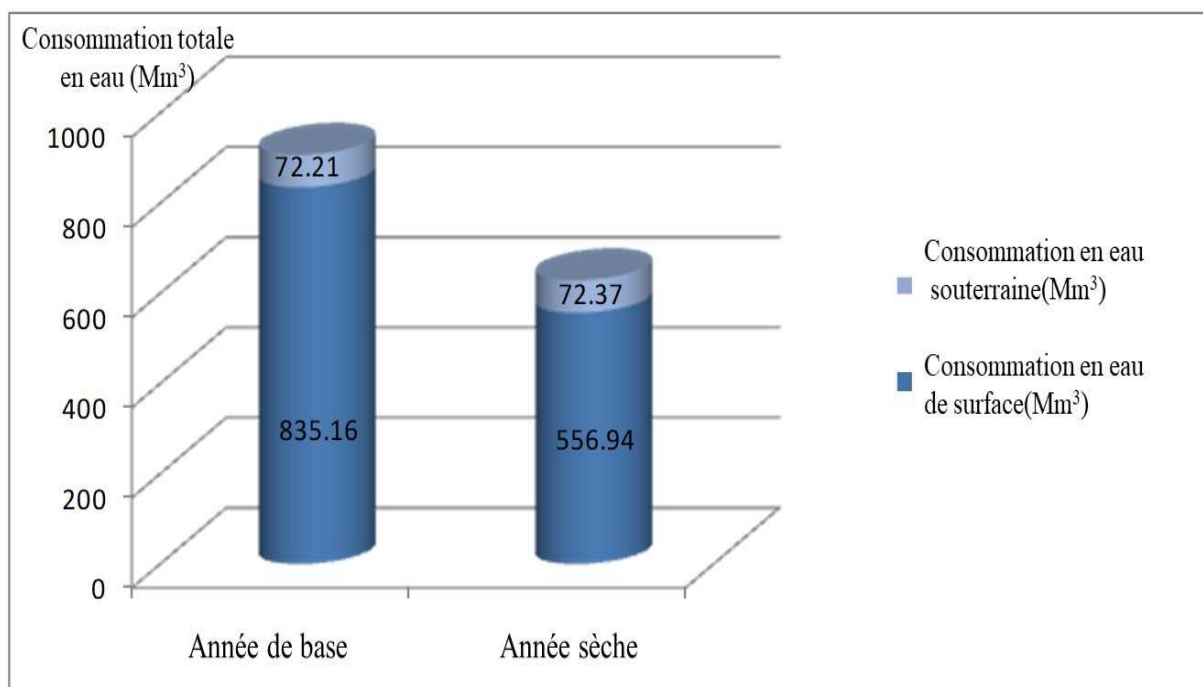


Figure 21 : Effet de sécheresse sur l'utilisation de l'eau d'irrigation

L'examen des résultats mentionnés dans le graphique ci-dessus montre qu'en cas de sécheresse l'utilisation des eaux d'irrigation connaîtrait une diminution de 33.31% pour

les eaux de surface. Les exploitations qui utilisent seulement les eaux de surface sont les plus affectées vu qu'elles n'ont pas une autre alternative pour irriguer. Les exploitations agricoles qui ont accès aux eaux souterraines sont moins affectées vu qu'elles peuvent combler leurs besoins en irrigation par les eaux souterraines durant l'année de référence. Ce qui explique la légère augmentation de 0.21% qu'a connu l'utilisation en eaux souterraines au niveau du périmètre irrigué.

c. Effet de la sécheresse sur la superficie allouée aux cultures

En situation de sécheresse, la superficie des terres laissées en jachère dans le périmètre a augmenté par environ 22442.03 Ha au détriment de la superficie cultivée.

Tableau 16 : Superficies cultivées au niveau du périmètre irrigué de Tadla.

		année de base (Ha)	Année sèche (Ha)	variation/ l'année de base en %
Totale de la superficie des cultures irriguées	GH/GHIP*	77657.27	63716.05	-17.95
	IP/GHIP*	29099.75	24455.53	-15.95
Totale de la superficie des cultures Bour		98139.6	91371.46	-7

*les superficies occupées pour le mode GHIP sont incluses dans les deux groupes : GH/GHIP et IP/GHIP.

Dans le tableau 16, nous avons choisi de regrouper le mode GHIP avec chacun des modes IP et GH vu que les superficies concernées par ce mode présentent des terres conduites en même temps selon les modes IP et GH. En effet, l'ensemble des superficies allouées aux cultures irriguées pourront subir une diminution significative. Toutefois, les résultats enregistrent une diminution plus importante soit 17.95% pour les terres conduites en mode GH/GHIP vu que ces terres dépendent directement des apports en eaux de surface. Pour les terres conduites en mode IP/GHIP, la superficie cultivée connaîtrait aussi une diminution de 15.95%. Il est judicieux que les agriculteurs s'orientent vers la diminution de la superficie allouée aux cultures irriguées. Il s'agit d'une réaction d'adaptation à la sécheresse sans dépasser le potentiel des nappes de Béni Amir et de Béni Moussa, vu que les besoins en eau d'irrigations vont probablement augmenter avec la sécheresse.

Les effets de sécheresse seraient également ressentis par les cultures pratiquées en Bour, ceci se traduit par une réduction de 7% des superficies des cultures Bour qui vont être converties en terres jachère.

d. Effet de la sécheresse sur le profit agricole

En cas de sécheresse, (simulation 1) la marge nette totale au niveau du périmètre irrigué de Tadla est passée de 1370.09 Millions de Dirhams estimée à l'année de base à 869.13 Millions de Dirhams. La marge nette réalisée par chaque mode d'accès à l'eau d'irrigation au périmètre irrigué de Tadla est présentée dans le tableau 17.

Tableau 17 : La marge nette réalisée selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation.

	Mode d'accès à l'eau d'irrigation							
	Grande hydraulique		Pompage privé		Grande hydraulique +Pompage privé		Bour	
	Absolue (MAD/Ha)	Variation/ l'année de base (%)	Absolue (MAD/Ha)	variation/ l'année de base (%)	Absolue (MAD/Ha)	variation/ l'année de base (%)	Absolue (MAD/Ha)	variation/ l'année de base (%)
Marge nette	6905.18	-39.6	12169.14	-9	13200.48	-15.66	183.24	- 89.28

En se référant au tableau, l'impact de la sécheresse sur la marge nette à l'hectare est ressenti significativement par tous les modes de conduite des terres. Pourtant, les terres conduites en Bour sont les plus vulnérables aux effets de la sécheresse, la marge nette à l'hectare a diminué significativement, soit 89% en moyenne, puisqu'elles dépendent directement des eaux de pluies. Par conséquent, la réaction de l'agriculteur se traduirait dans ce cas par l'abandon des terres bour qui seront laissées en jachère. Les terres conduites en mode GH viennent en second lieu par une diminution de 39.6% de la marge nette à l'hectare, étant donné qu'en situation de sécheresse les volumes lâchés à partir du barrage connaissent une réduction conséquente, ce qui risque d'induire une réduction importante des quantités d'eau de surface utilisée pour l'irrigation et de perte de production. Ensuite viennent les terres conduites en mode GHIP, avec une diminution de 15% de la marge nette à l'hectare. Ces terres sont relativement moins affectées par la sécheresse puisqu'elles combinent entre l'utilisation des eaux de surface et souterraines ce qui leur permet de trouver une alternative d'irrigation en cas de diminution des apports en eau de surface. Enfin, les terres conduites en mode IP sont moins vulnérable à la sécheresse. La marge nette à l'hectare de ces terres va connaître une faible

diminution, par rapport aux autres types de terres, soit 9%. Cette diminution est du essentiellement au coût de pompage qui va être plus élevé en cas de sécheresse, puisque l'agriculteur doit pomper plus d'eau pour compenser la rareté des pluies.

IV.3.3. Résultats de la simulation : Augmentation du prix de l'eau d'irrigation

a. Prix économique de l'eau en année normale

L'analyse de la valeur de l'eau pour l'agriculture constitue un indicateur pertinent de la tarification de l'eau. Avec le passage au prix de 0.40 MAD/m³, la valeur marginale de l'eau a augmenté par rapport à la situation de base pour atteindre 1.34 MAD/m³ en moyenne.

La valeur du coût d'opportunité de l'eau d'irrigation en cas d'une augmentation du prix de l'eau d'irrigation est exprimée selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation dans le tableau 18.

Tableau 18 : Prix économique de l'eau au Tadla par zone agricole selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation

		Mode d'accès à l'eau d'irrigation					
		Grande hydraulique		Pompage privé		Grande hydraulique +Pompage privé	
		Absolue (MAD/m ³)	Variation /l'année de base (%)	Absolue (MAD/m ³)	Variation /l'année de base (%)	Absolue (MAD/m ³)	Variation /l'année de base (%)
Zones agricoles	Béni Amir	1.73	+5.48	2.21	0	1.71	+11.76
	Béni Moussa	1.31	+3.97	1.62	0	0.76	+7.04
	Total	1.45	+3.57	1.91	0	1.15	+10.5

A l'exception des terres conduites en mode IP, qui ne vont pas être concernées par l'augmentation de la redevance de l'eau d'irrigation, le prix économique de l'eau d'irrigation au niveau des terres conduites en GH et en GHIP va connaître une nette augmentation. Cette variation du prix économique de l'eau d'irrigation amène à poser des questions fondamentales quant aux choix des cultures et les mesures prises par les agriculteurs dans le cadre de l'adéquation entre les ressources disponibles et le raisonnement de l'assolement au niveau du périmètre de Tadla. Les terres conduites en mode GHIP ont été concernée par une nette augmentation du prix économique de l'eau

d'irrigation de 10.5%. Ceci peut être expliqué par le fait que ces terres réservent plus de superficie aux cultures de forte valorisation de l'eau et elles ont la possibilité de choisir la technique d'irrigation la plus adaptée à leur contexte vu qu'elles peuvent irriguer au moment estimé favorable pour leurs cultures. Ensuite viennent les terres conduites en mode GH avec une augmentation du prix économique de l'eau d'irrigation moyenne 3.5% par rapport à l'année de base. Cette valeur peut être expliquée par le fait que la plupart de ces exploitations adoptent des techniques d'irrigation gravitaires qui ne leurs permettent pas d'améliorer leur niveau de valorisation de l'eau d'irrigation. L'augmentation du prix de l'eau d'irrigation risque de fragiliser les terres conduites en mode GH. Toutefois, le niveau de valorisation moyen reste largement supérieur au taux d'équilibre et ne constitue donc pas un facteur limitant à l'augmentation de ce taux dans ce cas.

b. Consommation en eau d'irrigation en année normale

L'augmentation tarifaire se traduit par une diminution de 31.52% en utilisation de l'eau de surface. Puisque le prix du mètre cube d'eau devient plus cher, les agriculteurs auront donc tendance à diminuer et à rationaliser l'utilisation de l'eau, tout en choisissant les cultures les moins consommatrices en eau et les plus valorisantes de cette ressource. Par contre, l'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation ne sera pas concernée par cette augmentation (figure 22).

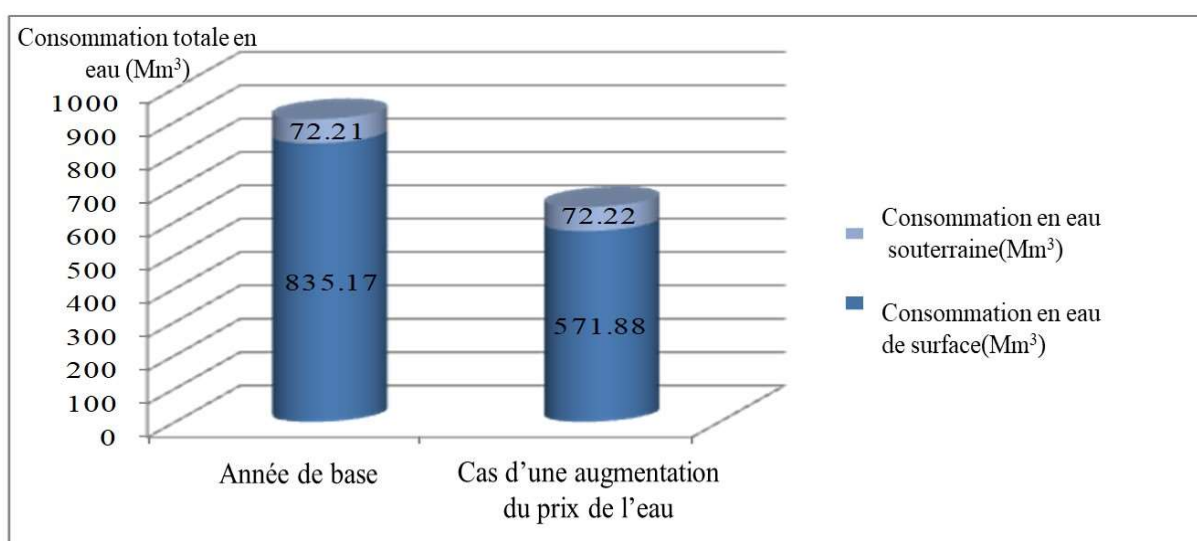


Figure 22 : Effet de l'augmentation du tarif de l'eau d'irrigation sur les consommations en eau.

Il est probable que la consommation de ces eaux connaîtrait, en effet, une faible augmentation de 0.01%. De ce fait, on peut dire que le levier tarifaire génère une rationalisation de l'utilisation de l'eau et par conséquent une économie d'eau, mais il ne faut pas oublier qu'une telle diminution de consommation d'eau se traduit par une réduction des volumes d'eau facturés et donc par une augmentation du coût de l'eau au mètre cube puisque la grande partie de ce coût est constituée par des coûts fixes d'exploitation et maintenance des équipements. Ceci doit amener à bien raisonner le passage du tarif actuel au taux d'équilibre, décidé pour l'année 2011, pour éviter les effets négatifs d'une augmentation des tarifs de l'eau sous forme d'un manque à gagner pour l'ORMVA de Tadla en termes de recettes de l'eau non « commercialisée ».

c. Superficies cultivées

Lors de cette simulation, les résultats montrent que le levier tarifaire a entraîné une diminution des superficies allouées aux cultures irriguées (Tableau19).

Tableau 19 : Effet de l'augmentation du tarif de l'eau d'irrigation sur la superficie allouée aux cultures

	Année de base (Ha)	Augmentation du prix de l'eau de surface (Ha)	variation/ l'année de base (%)
Terres agricoles conduites en mode GH/GHIP*	77657.27	77539.52	-0.15
Terres agricoles conduites en mode IP/GHIP*	29099.75	29093.58	-0.02
Totale de la superficie des cultures irriguées (GH/GHIP/IP)	92127.46	92014.47	-0.12
Totale de la superficie des cultures Bour	98139.6	98250.59	0.1

*les superficies occupées pour le mode GHIP sont incluses dans les deux groupes : GH/GHIP et IP/GHIP.

En effet, l'ensemble des superficies allouées aux cultures irriguées pourraient subir une légère diminution. Toutefois, les résultats enregistrent une diminution plus importante pour les terres conduites en mode GH/GHIP, soit 0.15%, vu que ces terres dépendent directement des apports en eaux de surface. Pour les terres conduites en mode IP/GHIP, la superficie cultivée connaîtrait une faible diminution de 0.02%. Par conséquent, la superficie des terres conduites en Bour pourrait connaître une faible augmentation de 0.1%.

Les principaux résultats obtenus sous l'effet de la hausse des tarifs de l'eau d'irrigation au terme de l'assolement sont récapitulés dans le Tableau 20.

Tableau 20 : Variation de l'assolement induite par une augmentation du prix de l'eau

Culture	Part des cultures en année de base (%)	Part des cultures en cas d'une augmentation de prix de l'eau (%)	Variation par rapport à l'année de base (%)
Céréales	67.645	67.856	0.211
Cultures fourragères	15.73	15.549	-0.181
Maraichage	1.272	1.265	-0.006
Betterave	4.142	4.153	0.011
Sésame	0.122	0.125	0.004
Légumineuses alimentaires	0.612	0.612	0
Agrumes	2.012	2.001	-0.012
Olivier	7.915	7.887	-0.027
Amandier	0.138	0.138	0
Grenadier	0.199	0.199	0
Autre Arboriculture	0.213	0.213	0

L'augmentation du prix de l'eau d'irrigation n'aurait pas un grand impact sur l'assolement, à l'exception de l'augmentation de la superficie destinée aux cultures céréalières au détriment de la superficie allouée aux cultures fourragères. Par conséquent, les cultures fourragères qui ont subi la diminution la plus importante, en terme de superficie allouée, sont considérées comme étant les cultures les plus vulnérables à une hausse du tarif de l'eau.

d. Profit agricole

En général, une politique de tarification, bien qu'elle soit avantageuse du point de vue la collectivité par les effets positifs sur la production, et sur l'économie de l'eau, elle n'a aucune chance d'être adoptée si les agriculteurs ne génèrent pas des revenus. Alors dans ce contexte, le risque le plus important à analyser réside dans la réduction du revenu des agriculteurs.

Concernant le profit agricole, le résultat de cette simulation se présente sous forme d'une diminution de l'ordre de 9,67% de la marge nette totale, elle est passée au niveau du

périmètre irrigué de 1370.09 Millions de Dirhams réalisée en année de référence à 1237.51 Millions de DH.

Le tableau 21 illustre la variation de la marge nette par hectare assolé suite à la hausse du prix de l'eau.

Tableau 21 : Taux de diminution de la marge nette par hectare selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation.

	Mode d'accès à l'eau d'irrigation							
	Grande hydraulique		Pompage privé		Grande hydraulique +Pompage privé		Bour	
	Absolue (MAD/Ha)	Variation/l'année de base (%)	Absolue (MAD/Ha)	variation/l'année de base (%)	Absolue (MAD/Ha)	variation/l'année de base (%)	Absolue (MAD/Ha)	variation/l'année de base (%)
Marge nette	9774.90	-14.49	13369.72	0	14428.57	-7.29	1709.63	0

En se référant au tableau ci-dessus, l'impact de l'augmentation de prix de l'eau de surface sur la marge nette à l'hectare serait ressenti significativement au niveau des terres conduites selon les modes GH et GHIP qui utilisent l'eau de surface pour l'irrigation. Pourtant, les terres conduites en mode GH sont les plus vulnérables aux effets de la hausse du prix de l'eau de surface. Leur marge nette à l'hectare aurait diminué significativement, soit 14.49% en moyenne, puisqu'elles dépendent directement des eaux de surface. Les terres conduites en mode GHIP viennent en second lieu par une diminution de 7.29% de la marge nette à l'hectare. Ces terres sont relativement moins affectées en cas d'augmentation du prix de l'eau de surface puisqu'elles combinent entre l'utilisation des eaux de surface et souterraines. Enfin, les terres conduites en mode IP et Bour ne seront pas affectées puisqu'elles ne sont pas concernées par l'utilisation des eaux de surface. En plus du mode d'accès à l'eau, il y aurait des exploitations plus ou moins vulnérables, selon leur superficie, les cultures pratiquées, le système d'irrigation et bien d'autres facteurs. Par conséquent, il est important de bien raisonner l'application d'une telle augmentation tarifaire, car bien qu'elle peut permettre une meilleure valorisation de l'eau, il faut qu'elle soit supportable par les agriculteurs.

IV.3.4. Résultats de la simulation augmentation de prix de l'eau en conditions de sécheresse

Au niveau de cette simulation, l'effet de sécheresse est beaucoup plus important que celui de la redéfinition du tarif de l'eau de surface. Le tableau ci-après récapitule les résultats de cette simulation en les comparant avec les résultats de la première simulation (le cas d'une sécheresse).

Tableau 22 : Principaux résultats de la simulation : Augmentation de prix de l'eau en conditions de sécheresse.

		Année sèche	Simulation (3)
Valeur marginale de l'eau (MAD/m ³)		1.60	1.61
Utilisation de l'eau de la rivière en Mm ³		556.94	295.20
Utilisation de l'eau de la nappe en Mm ³		72.37	72.49
Totale de la superficie des cultures irriguées	GH/GHIP	63716.05	63213.41
	IP/GHIP	24455.53	24449.36
Totale de la superficie des cultures Bour		91371.46	91371.46
marge nette à l'hectare en DH		5246.30	4377.44

En ce qui concerne le prix économique de l'eau, cette simulation reproduit presque les mêmes résultats que la simulation de l'année sèche. On peut, donc, conclure que la décision des agriculteurs en une année sèche n'est pas trop influencée par une augmentation du tarif de l'eau.

En plus d'une faible diminution de la superficie cultivée irriguée, l'utilisation des eaux de surface pourrait connaître une diminution. Ce qui peut être expliquée par l'extension des superficies qui sera limitée par la contrainte de l'eau, ce qui oblige l'agriculteur à choisir les cultures qui ont la demande en eau la plus faible et par conséquent augmenter la part des cultures qui réalisent le rendement maximum afin de tirer le profit maximal. Ainsi, pour les cultures irriguées, on observe une augmentation des superficies allouées aux cultures céréalières irriguées, en particulier le blé tendre, au détriment des cultures fourragères et maraîchères ce qui entraîne une légère diminution de la demande en eau d'irrigation.

En contrepartie, l'utilisation en eau souterraine connaîtrait probablement une augmentation, vu que les terres qui ont accès à cette source d'eau sont moins affectées puisqu'elles peuvent combler leurs besoins en irrigation par les eaux souterraines.

Finalement, la marge nette à l'hectare serait concernée par une diminution de l'ordre de 16.56% par rapport à une année sèche sans augmentation de tarif de l'eau. Ceci implique une réduction du revenu des agriculteurs à l'hectare de 868.86 MAD de plus.

IV.4. Conclusion

Ce papier discute l'effet d'un réajustement de la tarification de l'eau d'irrigation sur la valeur de l'eau, l'utilisation de l'eau d'irrigation et des terres ainsi que sur le profit agricole au niveau du périmètre irrigué de Tadla. Dans ce cadre, un modèle intégré de bassin versant désagrégé par mode de conduite des terres a été développé pour le bassin de Tadla. Les effets de trois chocs exogènes ont été simulés par ce modèle. Il s'agit de la raréfaction des ressources en eau et d'un changement de la politique de tarification de l'eau dans le cas d'une année normale et sèche.

Lors d'une année normale, l'augmentation du taux d'équilibre de l'eau risque de fragiliser les terres conduites en mode GH puisque leur marge nette à l'hectare a diminué significativement, soit 14.49% en moyenne, parce qu'elles dépendent directement des eaux de surface. Les terres conduites en mode GHIP viennent en second lieu par une diminution de 7.29% de la marge nette à l'hectare. Ces terres sont relativement moins affectées en cas d'augmentation du prix de l'eau de surface puisqu'elles combinent entre l'utilisation des eaux de surface et souterraines. Toutefois, le niveau de valorisation moyen reste largement supérieur au taux d'équilibre de l'eau et ne constitue donc pas un facteur limitant à l'augmentation de ce dernier. Pourtant, une augmentation du tarif de l'eau en année normale entraîne nécessairement une diminution de la consommation en eau d'irrigation. Cette diminution avoisinerait 29.02% en cas d'application du plan rattrapage tarifaire, ce qui doit amener à bien raisonner le passage du tarif actuel au taux d'équilibre annoncée pour l'année 2011 pour éviter les effets négatifs d'une augmentation des tarifs de l'eau sous forme d'un manque à gagner pour l'ORMVA de Tadla en termes de recettes de l'eau non « commercialisée ».

Les résultats de l'augmentation du prix de l'eau d'irrigation en situation de sécheresse, montrent qu'en plus d'une réduction substantielle des superficies des terres conduites en mode Bour, les superficies irriguées connaissent elles aussi une diminution pouvant atteindre 18.6% pour les terres conduites en modes GH et GHIP. Beaucoup plus, le prix économique en situation de sécheresse est quatre fois plus élevé que le tarif facturé par l'office de mise en valeur agricole de Tadla (ORMVAT). Cette augmentation du prix économique de l'eau masque même l'effet d'une augmentation du tarif de l'eau en situation de sécheresse. Ceci indique qu'une évaluation de la politique de tarif de l'eau doit tenir compte de la variabilité interannuelle du prix économique de l'eau.

Chapitre V : Test du modèle dynamique : Impacts économiques des changements climatiques sur la gestion de l'eau au Tadla

Article 4: Lionboui, H., Benabdelouahab, T., Elame, F., Hasib, A., et Boulli, A. (2017). Estimating the economic impacts of climate change on agricultural water management indicators (Article accepté, en production).

V.1. Introduction

Le changement climatique représente un problème socio-économique et environnemental qui reçoit une attention remarquable vu son impact sur la sécurité alimentaire mondiale. Dans les pays méditerranéens, les ressources en eau sont susceptibles d'être gravement touchées par le changement climatique dont les effets deviennent plus perceptibles et plus coûteux (Iglesias et al., 2011). Situé en Afrique et disposant d'une façade méditerranéenne importante, le Maroc est un pays très vulnérable à la variabilité du climat (Niang et al., 2014). Le contexte hydrologique du pays reste principalement influencé par une hétérogénéité spatiale et temporelle très marquées des volumes d'eau renouvelable en plus de leur faiblesse 22 milliards (m³/an) (CESE, 2014). Ainsi, la gestion des ressources en eau connaît actuellement des problèmes majeurs liés aux changements climatiques qui entravent son développement d'une manière intégrée et cohérente. Pour ceci, il s'est engagé très tôt au régime international sur le changement climatique. Il a adopté la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) en 1992 qui marque la base pour définir les moyens d'un développement durable au niveau mondial. A l'issue de cette Convention et du Protocole de Kyoto, différentes initiatives et actions ont été mises en place. Cependant le changement climatique demeure un défi majeur auquel est confronté le pays étant donné qu'il est difficile de cerner toutes les conséquences de ce phénomène sur les écosystèmes et les humains qui risquent d'être altérés négativement.

Par ailleurs, une des activités les plus touchée par les changements climatiques est l'agriculture. L'agriculture est considérée comme étant un secteur stratégique pour le développement socio-économique du Maroc vu son poids dans le PIB, son rôle au niveau de l'emploi qui représente à lui seul 80% de l'emploi rural et sa participation aux échanges extérieurs (Toumi, 2008). Cependant, le secteur reste très dépendant des

précipitations et donc des aléas climatiques. Ainsi, des programmes et des plans ont été lancés en vue d'améliorer la résistance du secteur face à cette insécurité climatique.

Devant une telle situation, des efforts considérables en matière de recherche scientifique doivent être entrepris pour accompagner les politiques agricoles actuelles dans le but d'évaluer et de maîtriser les répercussions des changements climatiques sur le secteur agricole pour aider les décideurs à mieux choisir les mesures d'adaptation les plus appropriés au contexte du pays.

Ce chapitre propose une modélisation agronomique, économique et hydrologique dynamique qui vise la prévision des variations interannuelles des indicateurs socio-économiques de gestion de l'eau au niveau du sous bassin de Tadla, à partir de 2014 et jusqu'à l'année 2050. Dans cette perspective, cette modélisation permet d'examiner les impacts économiques potentiels des changements climatiques sur la gestion de l'eau agricole, tout en prenant en considération les projets de développement programmés dans le cadre de politiques agricoles actuelles. Ainsi, le modèle proposé est un outil pratique pour aider les décideurs à développer des politiques d'adaptation et minimiser les effets négatifs des changements climatiques.

V.2. Méthodologie

V.2.1. Linkage du modèle

Dans un contexte marqué par les changements climatiques et au niveau d'une région où le prix de l'eau ne reflète pas sa rareté, un modèle agronomique économique et hydrologique de gestion de l'eau au niveau d'un bassin versant a été développé. Ce dernier est basé sur la simulation des flux d'eau, les équations d'équilibre des ressources-emplois de la retenue d'eau et des nappes, les flux d'eau au niveau des différents nœuds des cours d'eau et l'allocation des ressources en eau (Lionboui et al., 2016). En plus de refléter la dynamique d'interactions entre les différentes composantes, hydrologique, agronomique et économique, cet outil permet d'évaluer les impacts de différents choix de politiques agricoles et de scénarii climatiques sur le secteur agricole au niveau du sous-bassin de Tadla. Cette recherche s'inscrit dans une continuité du dit travail pour évaluer, cette fois-ci, les impacts potentiels du changement climatique sur l'agriculture sous divers scénarii (*Representative Concentration Pathway* RCP 4.5 et

8.5), en tenant compte des principales cultures, des ressources en eau et du contexte socio-économique de la région.

Thématiquement, la structure du modèle comporte trois composantes, hydrologiques, économiques et agronomiques. Chaque composante est présentée par un bloc d'équations (Figure 23).

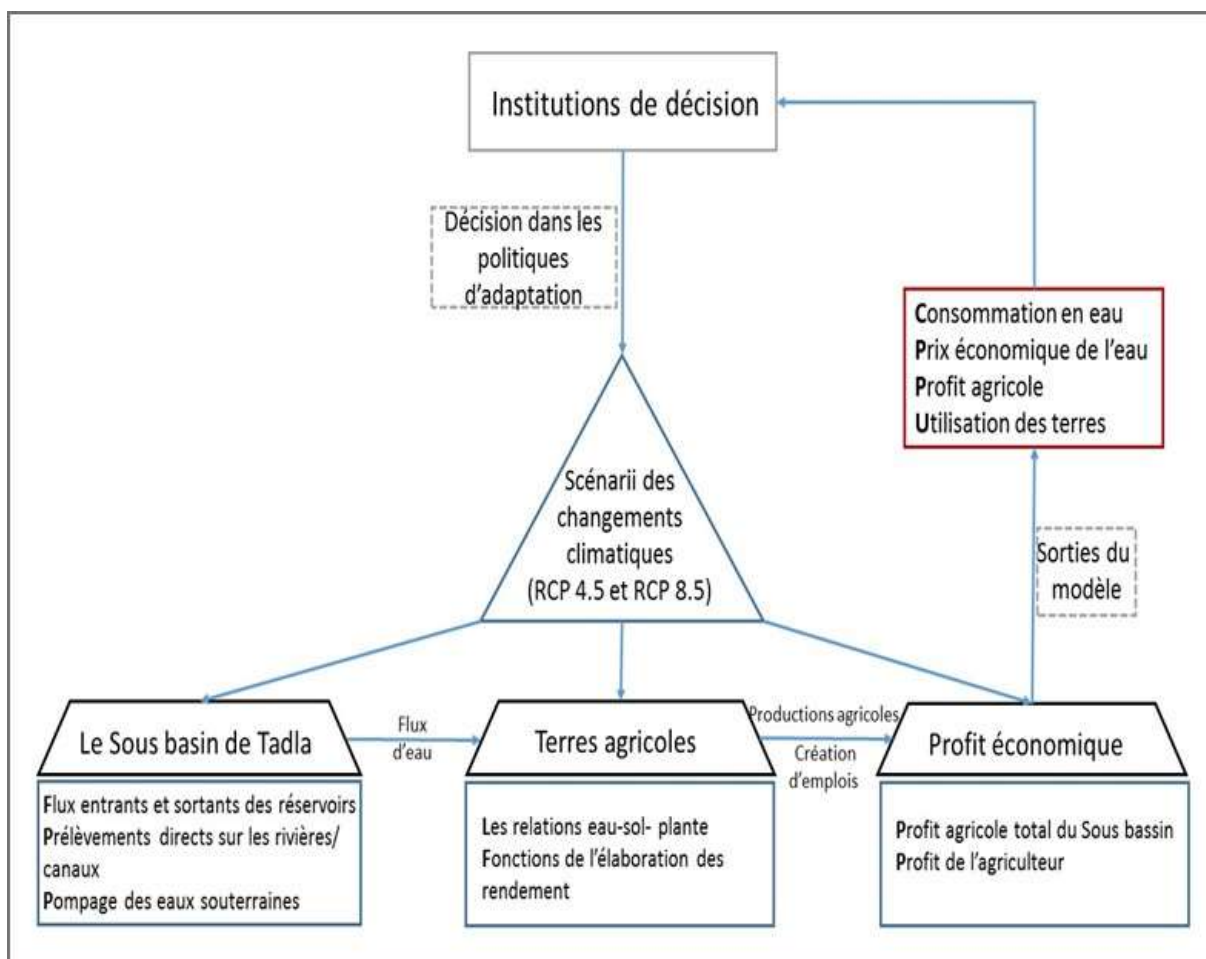


Figure 23 : Le linkage du modèle de Tadla proposé

Dans le but de refléter au mieux la complexité des conditions d'exploitation et de valorisation des eaux d'irrigation, le modèle proposé est suffisamment désagrégé par sous unités physiques et fonctionnelles du bassin versant, par commune, par spéculation agricole et par source d'irrigation.

V.2.2. Description du Modèle

Le modèle TadMod proposé pour le bassin de Tadla est un modèle d'optimisation économique, agronomique ainsi que hydrologique se basant sur les rapports réels entre

les différents nœuds du réseau hydrologique. Ces nœuds représentent des entités physiques pouvant être soit des afflux, des barrages, des nappes, soit des sites de demande en eau agricole. La distribution de l'eau distingue entre les différents sites de demande agricoles (Figure 24).

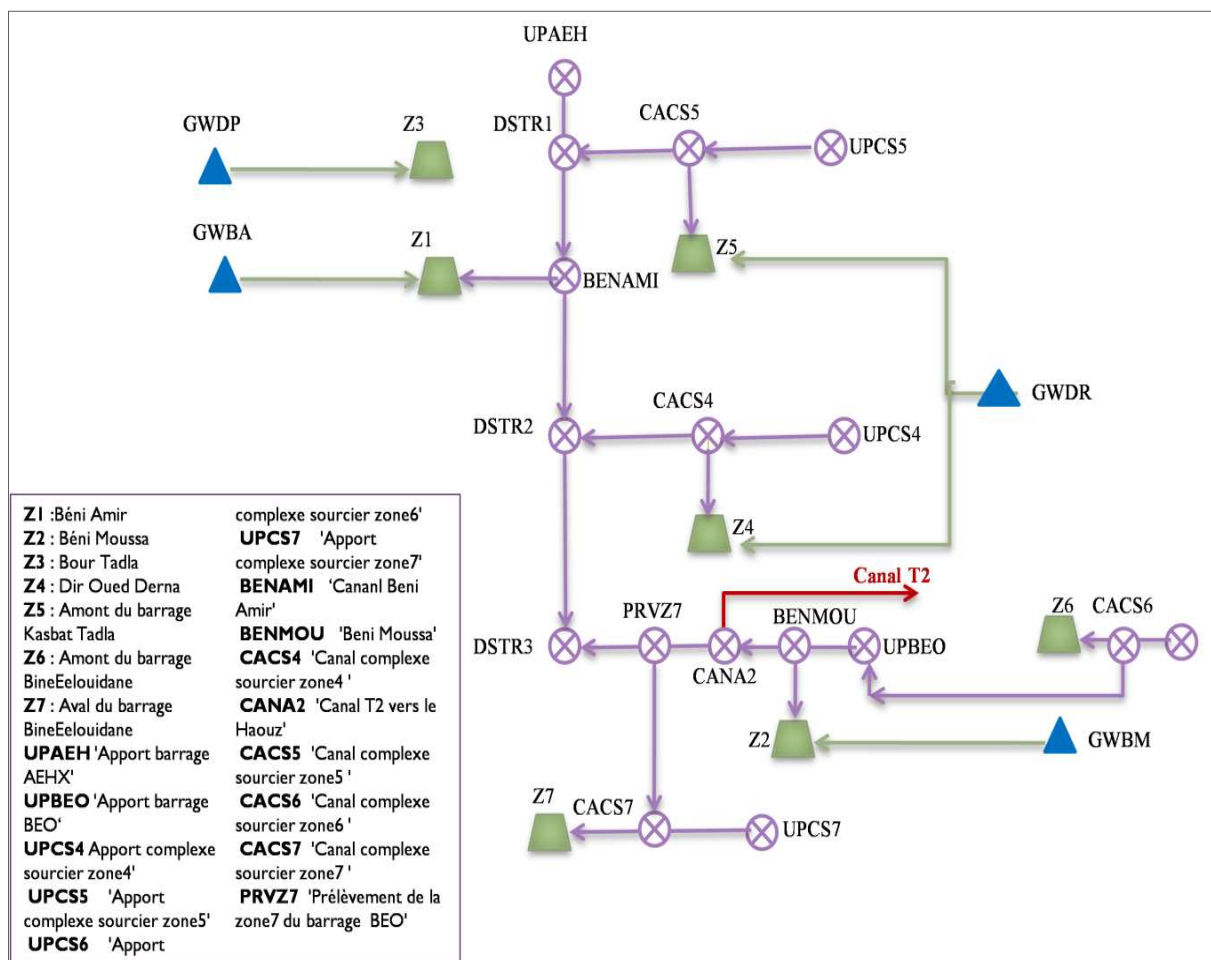


Figure 24: Le réseau des nœuds au niveau du sous-bassin de Tadla

TadMod comprend :

- Sept zones agricoles : Zone 1 : Béni Amir, zone 2 : Béni Moussa, zone 3 : Bour Tadla, zone 4 : Dir Oued Derna, zone 5 : Amont du barrage Kasbat Tadla, zone 6 : Amont du barrage Bine Elouidane, zone 7 : Aval du barrage Bine Elouidane. Dans chaque zone, nous distinguons des communes et chaque commune est découpée selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation.
- Dix-neuf groupes de cultures. Ces cultures introduites dans ce modèle constituent la majorité des cultures de la zone en superficie et en production.

- Une différenciation entre la source d'irrigation : grande hydraulique, petite et moyenne hydraulique, pompage privé, grande hydraulique +pompage privé, petite et moyenne hydraulique +pompage privé, et les zones pluviales
- Douze mois (de septembre à août), permettant ainsi un calcul mensuel des disponibilités et des demandes en eau.
- Quatre nappes souterraines (nappe de BéniMoussa, nappe de Béni Amir, nappe de Dir et la nappe Profonde de l'éocène qui alimentent une ou plusieurs zones agricoles.
- Deux barrages : barrage Bine Elouidane et barrage Ahmed Elhansali.
- Quinze nœuds, chaque nœud correspond à point de distribution d'eau qui alimente une ou plusieurs zones agricoles.

Les fonctions de rendement des cultures dans le modèle sont conçues comme des approximations nonlinéaires du rapport entre l'évapotranspiration réelle et maximale selon la définition proposée par la FAO, dérivée de la méthode Penman Monteith (Allen et al., 1998; Samuelsson et al., 2015), ce qui rend le rendement en fonction de la demande d'eau par hectare.

Dans le but de refléter au mieux la complexité des conditions d'exploitation et de valorisation des eaux d'irrigation à moyen terme, le modèle proposé est de type dynamique récursif sur trente-sept ans (de 2014 à 2050). Le choix de cette période a été limité à cause de l'absence de données sur les prévisions économiques et de politiques agricoles au-delà de l'année 2050. L'introduction de l'aspect dynamique dans le modèle se fera par le biais de création d'un ensemble d'année (37 ans) et d'une boucle. Cette boucle permettra de faire des itérations en tenant en compte des paramètres et des variables qui seront influencés par les par les changements climatiques et qui seront introduites au cours de l'ensemble représentant les années. Concernant les données climatiques, nous avons utilisé les résultats récents d'expériences basées sur des modèles climatiques régionaux et mondiaux, qui ont été accessibles grâce à la Direction de Météorologie Nationale au Maroc (DMN). Ces modèles laissent très peu d'ambiguïtés sur le risque climatique associé à l'augmentation des gaz à effet de serre (Le Treut et Jancovici, 2004). Les simulations réalisées concernent les principales cultures de la

zone d'étude selon les scénarii climatiques RCP 4.5 et RCP 8.5.

Pour les barrages, la quantité d'eau restante de l'année 1 (fin août) sera utilisée comme quantité initiale de l'année 2 (début septembre). Les projets de reconversion et d'extension prévus dans le plan agricole ont été pris en compte. L'année de référence choisie pour cette partie correspond à la campagne agricole 2013-2014, de septembre à août, qui a connu des précipitations de l'ordre de 410 (mm) selon les données de la Direction de la Météorologie Nationale.

V.3. Résultats et discussions

V.3.1. Profit agricole

La marge nette à l'hectare moyenne calculée pour le sous bassin de Tadla est estimée à 7486.57 MAD. Au cours des années, il est possible que sa valeur connaîtrait une évolution qui change selon les scénarii climatiques RCP 4.5 et RCP 8.5 (Figure 25).

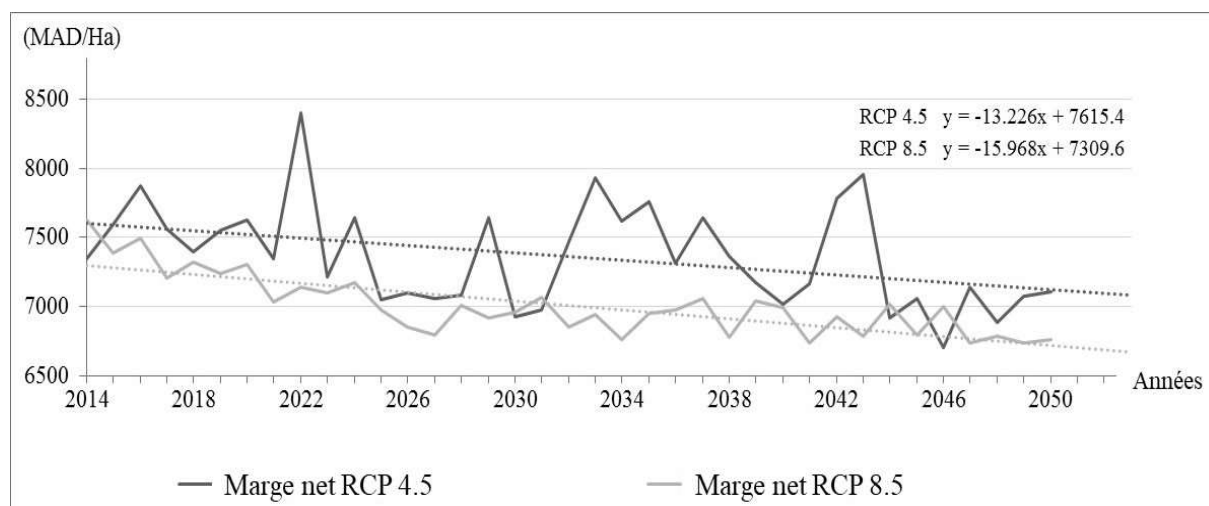


Figure 25 : Evolution de la marge nette à l'hectare selon les scénarii climatiques

D'après les résultats de cette recherche, le profit agricole à l'hectare au niveau de la zone d'étude connaîtrait une légère diminution, au cours des années qui suivent l'année de référence (2013/2014). Il baissera probablement d'une moyenne annuelle de -13.23 MAD chaque année pour le scénario climatique RCP 4.5 et de -15.97MAD pour RCP 8.5.

Le profit agricole total créé au niveau du sous bassin de Tadla, de sa part, aurait une tendance à la baisse (Figure 26). Cette baisse est quantifiée à -7.2 Million MAD par

année selon le scénario RCP 4.5 et -9.28 Million MAD selon RCP 8.5. Ceci est dû essentiellement à la diminution des superficies cultivées provoquée par la réduction des apports en eau d'irrigation prévue au cours de la période étudiée. En outre, nous avons remarqué l'existence de différences entre les unités territoriales agricoles compte tenu de l'évolution de leur profit agricole.

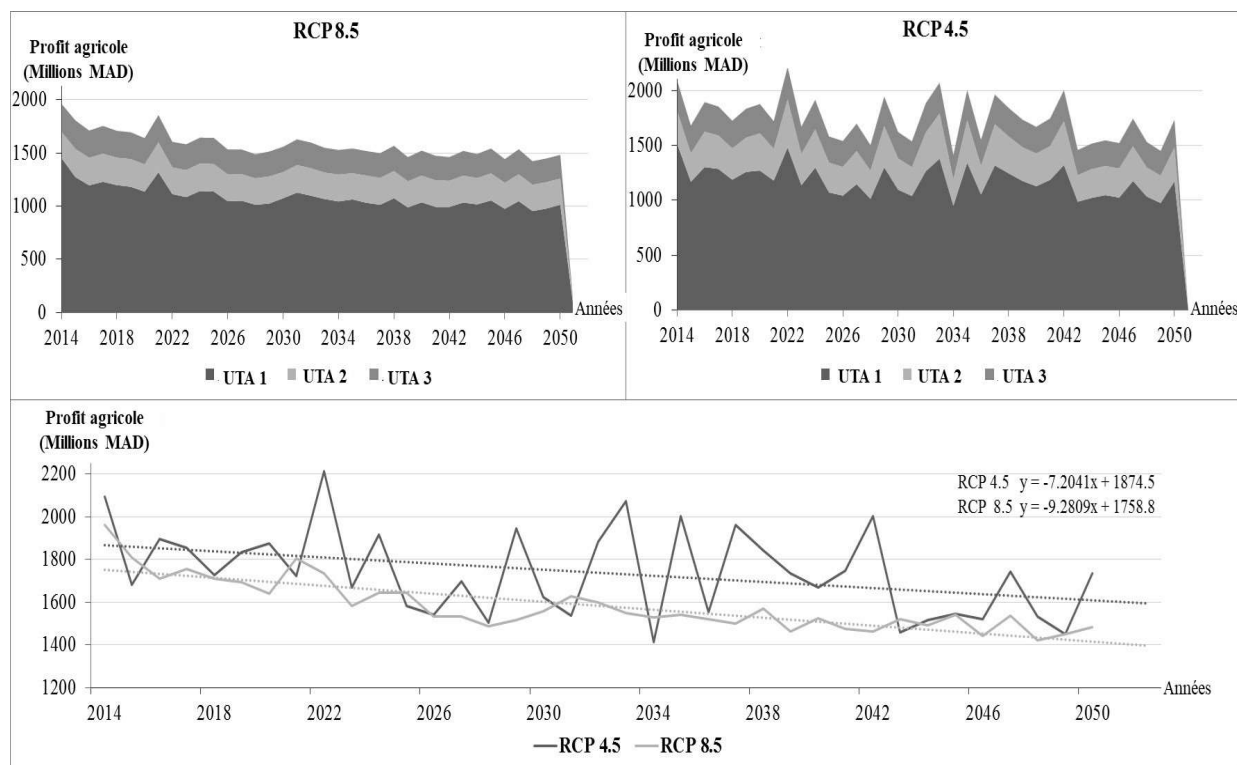


Figure 26 : Evolution du profit agricole total selon les scénarii climatiques

Puisque la baisse de la valeur de celui-ci est plus accentuée au niveau de la première unité territoriale alimentée principalement par les eaux du barrage. Contrairement aux deux autres unités qui combinent entre l'utilisation des eaux souterraines et de sources.

V.3.2. Prix économique de l'eau

Le prix économique est défini comme étant l'augmentation marginale de la valeur de la fonction objectif (le profit agricole) si on augmente la disponibilité en eau d'un mètre cube supplémentaire. Le prix économique reflète la rareté de la ressource eau contrairement au prix financier. Ainsi, il représente l'un des plus importants résultats calculés dans cette recherche qui permettra d'apprécier la variation de sa valeur à travers les années selon les deux scénarii climatiques (Figure 27).

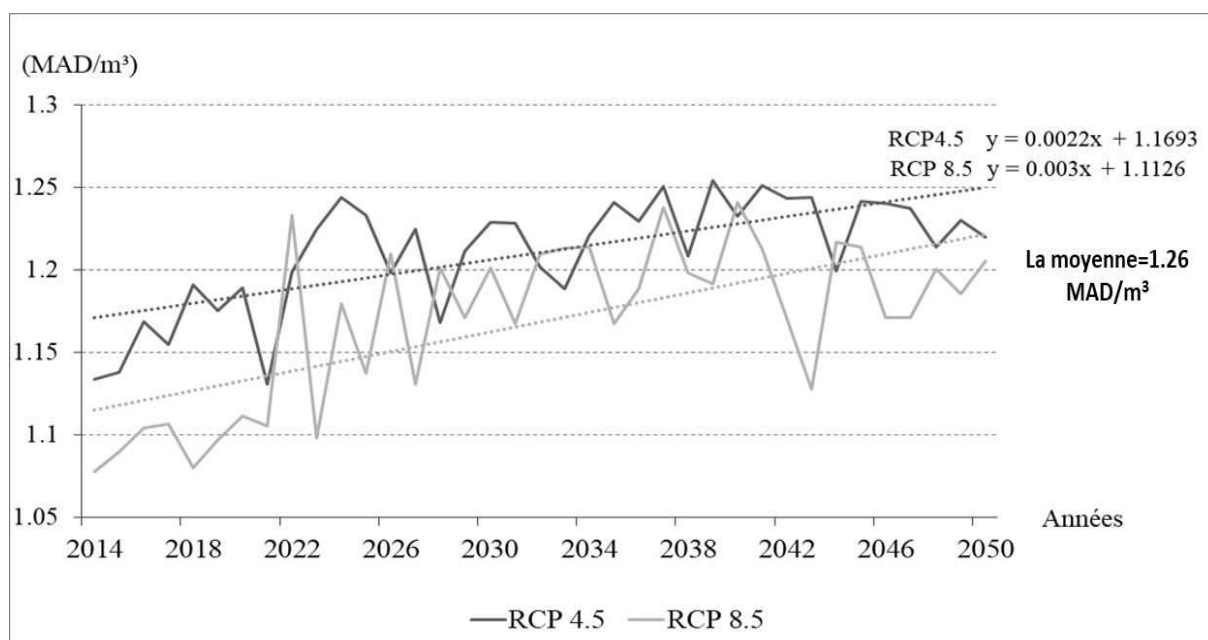


Figure 27 : Evolution du prix économique de l'eau d'irrigation selon les scénarii climatiques

Le prix économique de l'eau d'irrigation moyen calculé après calibration pour le sous-bassin de Tadla est de l'ordre de 1,13 MAD/m³ pour le scénario climatique RCP 4.5 et 1,08 MAD/m³ pour RCP 8.5. Ces valeurs sont bien élevées par rapport à la redevance payée à l'eau d'irrigation dans la zone d'étude et qui est de 0.32 MAD/m³.

Au cours des années qui suivent l'année de référence, il est probable que le prix économique de l'eau d'irrigation tend vers une augmentation estimée à 0.0022 MAD/m³ par année selon le scénario RCP 4.5 et de 0.003 MAD/m³ selon RCP 8.5. Ainsi, il pourra atteindre une valeur maximale de 1.26 MAD/m³ à l'année 2039. Cette augmentation confirme les résultats obtenus par Heidecke et Heckelei (2010) dans un contexte relativement similaire de point de vue de la tendance à la baisse des ressources hydriques. Ce résultat revient, d'une part, à l'irrégularité des apports en eau de surface à travers les canaux du réseau d'irrigation alimentés par les barrages "Ahmed El Hansali" et "Bine Elouidane" au niveau du sous-bassin de Tadla, ce qui rend l'eau d'irrigation un facteur limitant de la production. D'autre part, elle peut être expliquée par l'entrée en vigueur des projets programmés d'intensification et d'orientation des agriculteurs vers des cultures à forte valeur ajoutée.

V.3.3. Consommation en eau

Au niveau du sous bassin de Tadla, la consommation totale actuelle en eau de surface calculée à l'année de référence est d'environ 784 Mm³ en moyenne. Le reste de la consommation en eau d'irrigation est assuré par l'eau souterraine avec un volume de 295 Mm³. La variation de l'indicateur de consommation de l'eau d'irrigation selon les scénarii climatiques RCP 4.5 et 8.5 à travers les années simulée est représentée dans la figure 28.

Au cours de l'année 2014 et jusqu'à l'année 2050, il est possible que la consommation totale en eau d'irrigation au niveau de la zone d'étude connaitrait une diminution, notamment pour l'eau de surface. Pour cette dernière, la diminution est estimée à -4.63 Million M3 par année selon le scénario RCP 4.5 et -6.64 Million M3 selon RCP 8.5.

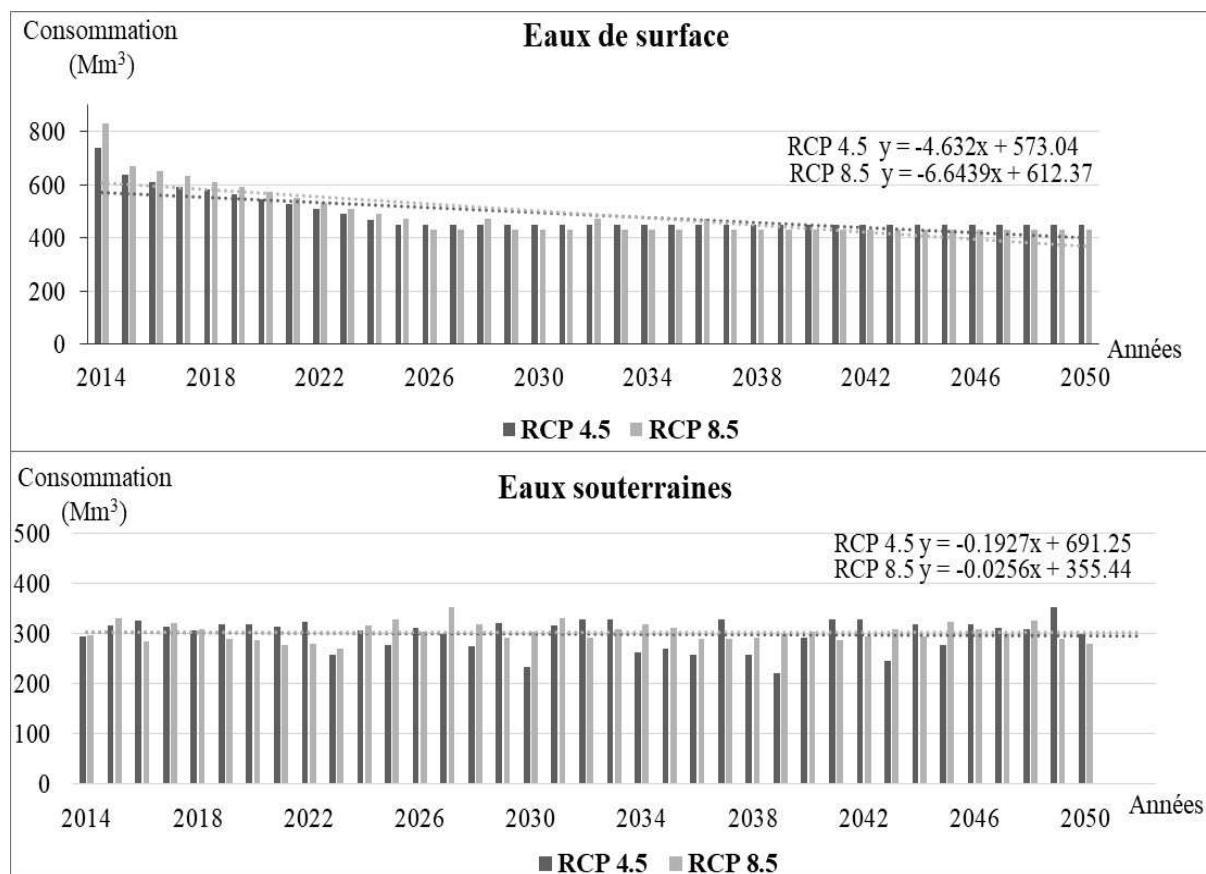


Figure 28 : Evolution de la consommation totale en eau selon les scénarii climatiques

D'une part, Ceci revient essentiellement à la diminution des superficies cultivées provoquée par la réduction des apports en eau de surface prévue au cours de la période

simulée. D'autre part, les politiques agricoles actuelles ont mis un ensemble de mesures à travers les programmes de subventions et de vulgarisation pour l'adoption des systèmes économes d'eau, afin de faire face à cette pénurie en eau prévue au niveau du sous-bassin de Tadla.

En parallèle, la consommation en eaux souterraines aurait tendance à se stabiliser, soit une légère diminution de -0.19 Million m³ pour le scénario climatique RCP 4.5 et -0.03 Million m³ pour RCP 8.5. En effet, encouragés par la disponibilité des eaux souterraines sur toutes les périodes de l'année, les agriculteurs ont cherché à se diversifier et à s'intensifier. Par conséquent, ces derniers réservent plus de superficies à des cultures à forte valeur ajoutée quel que soit leur consommation en eau.

V.3.4. Utilisation des terres agricoles

La disponibilité de l'information sur le changement climatique amène les différents acteurs agricoles de la région à chercher la meilleure manière d'en limiter les conséquences. Au niveau du sous-bassin de Tadla, il est probable que les assolements connaîtraient des variations au cours des années simulées. Ces variations sont présentées à travers les parts des principales cultures au niveau de la région et selon les scénarii climatiques RCP 4.5 et RCP 8.5 (Figure 29).

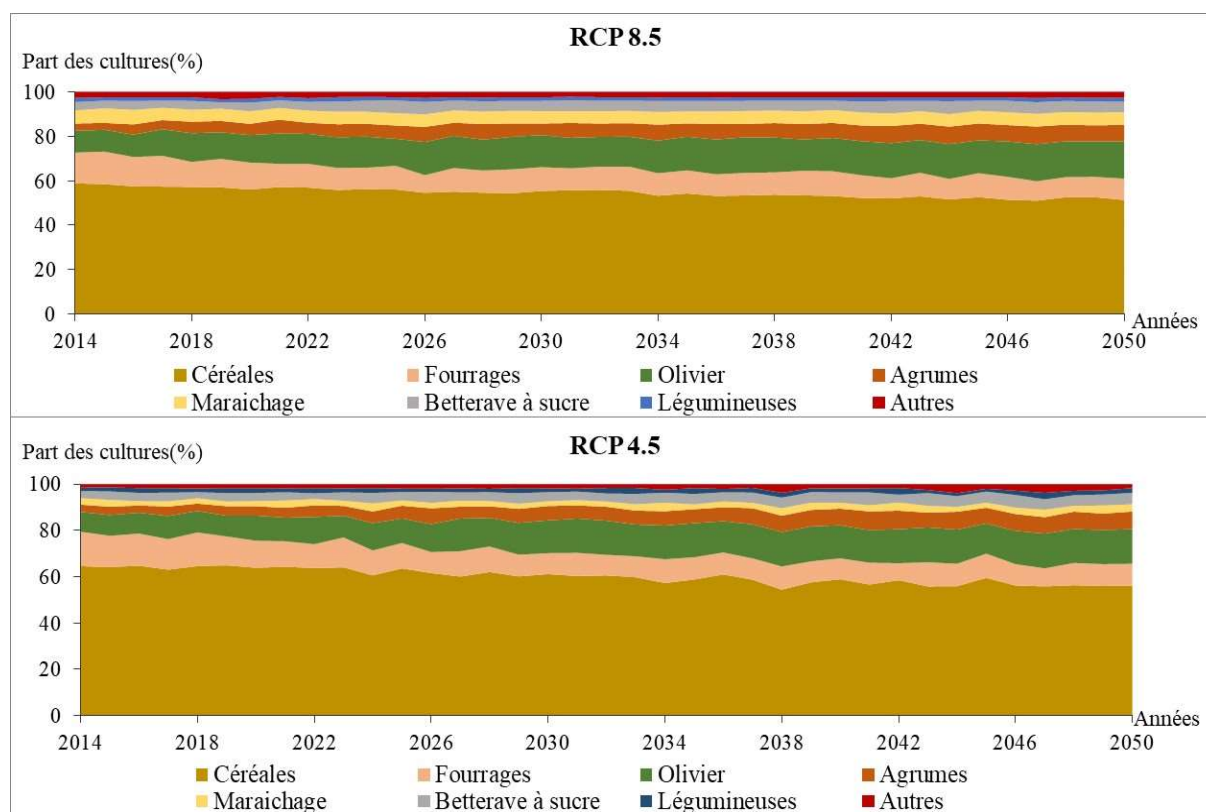


Figure 29 : Evolution des parts de cultures selon les scénarii climatiques

La tendance à la baisse que les ressources en eau connaissent au niveau du sous-bassin de Tadla poussera les agriculteurs à s'adapter avec la nouvelle situation et donc à optimiser leur choix en optant pour des cultures qui demandent moins d'eau et réalisent des marges importantes afin de maximiser leur profit. Ainsi, une augmentation des superficies allouées aux cultures arboricoles, betterave à sucre et aux cultures maraîchères serait constatée, au détriment des cultures céréalières et fourragères.

V.4. Conclusion

Le changement climatique est un problème de préoccupation mondiale compte tenu de ses effets néfastes sur les économies des pays. Les changements climatiques attendus pour le Maroc, auraient des conséquences non négligeables sur le potentiel en ressources hydriques. Devant une situation marquée par la tendance à la baisse des apports annuels en eau, la région de Tadla au Maroc se confronte à un défi majeur pour cerner les conséquences de ce phénomène sur les secteurs socio-économiques sensibles au climat comme l'agriculture.

Des progrès ont été réalisés dans la compréhension des changements climatiques à l'échelle spatiale et temporelle, grâce à plusieurs recherches qui ont été effectuées à travers le monde. Ce travail est une contribution dans le même objectif de comprendre la situation actuelle et d'étudier l'impact des changements climatiques sur la variation interannuelle future du profit agricole, du prix économique de l'eau, et de l'utilisation des eaux et des terres agricoles au niveau du sous-bassin de Tadla. Ceci a été effectué à l'aide d'une modélisation agro-économique dynamique sur 37 ans (2014-2050) désagrégée par unité territoriale, par communes, par sources d'irrigation et par spéculation agricole.

Selon les deux scénarii climatiques simulés lors de cette étude (RCP 4.5 et RCP 8.5), il est constaté que les changements climatiques pourraient nuire à l'agriculture dans la région de Tadla. Selon les résultats obtenus le profit agricole total créé au niveau du sous bassin de Tadla, aura une tendance à la baisse (-7.2 Million MAD par année selon le scénario RCP 4.5 et -9.28 Million MAD selon RCP 8.5). Ceci est dû essentiellement à la diminution des superficies cultivées provoquée par la réduction des apports en eau d'irrigation prévue au cours de la période étudiée. Le prix économique de l'eau d'irrigation, de sa part, tend vers une augmentation estimée à 0.0022 MAD/m³ par année selon le scénario RCP 4.5 et de 0.003 MAD/m³ selon RCP 8.5, aux cours des années qui suivent l'année de référence. Ce résultat revient, principalement, à l'irrégularité des apports en eau de surface, ce qui rend l'eau d'irrigation un facteur limitant de la production. Le risque encouru par les agriculteurs diffère selon les technologies utilisées, le mode d'accès à l'eau d'irrigation et la localisation spatiale des terres agricoles au niveau du sous-Bassin.

Les changements climatiques affecteront aussi la consommation en eau d'irrigation qui connaîtrait probablement une diminution à travers les années. Ceci peut être expliqué par la diminution des superficies cultivées puisque plusieurs terres seront laissées en jachère durant les années non favorables. Cette limitation des superficies des cultures causée par la diminution des quantités d'eau poussera les agriculteurs à optimiser leur choix en optant pour des cultures qui demandent moins d'eau et réalisent des marges importantes afin de maximiser leur profit et s'adapter au nouveau contexte.

Enfin, cette recherche offre une approche scientifique et un outil de décision utile pour améliorer la compréhension des impacts possible des changements climatiques au niveau de la zone d'étude afin d'aider les décideurs à mieux choisir les politiques d'adaptation les plus appropriées.

Conclusions et perspectives

Conclusions et perspectives

Pour un développement durable des ressources hydriques, plusieurs orientations et principes ont été définis à travers le monde et qui sont essentiels au développement régional, en particulier dans les zones arides et semi-arides du monde. Afin d'appliquer ces orientations et principes, à la gestion durable, à l'exploitation et à l'entretien des systèmes de ressources en eau, nous devons les traduire en concepts opérationnels spécifiques à chaque région. Cette recherche développe un travail de modélisation qui focalise sur l'analyse quantitative de la gestion durable des ressources en eau d'irrigation à l'échelle du bassin versant. Nous conceptualisons une approche d'aide à la prise de décision pour une gestion durable à long terme des ressources en eau dans un bassin versant à climat semi-aride, où l'irrigation est le principal consommateur d'eau. La gestion durable de l'eau a été prise dans le but d'assurer une capacité d'approvisionnement en eau d'irrigation stable et flexible selon les besoins en eau des cultures, tout en maintenant une relation stable entre les pratiques d'irrigation et l'environnement associé. Afin de refléter la nature interdisciplinaire des ressources en eau, une approche intégrée agronomique, économique et hydrologique a été élaborée pour modéliser et analyser les questions de durabilité liées à la gestion des ressources hydriques à l'échelle du sous-bassin de Tadla.

Les relations hydrologiques, agronomiques et économiques sont intégrées dans un cadre de modélisation endogène appliquée à l'échelle du bassin hydrographique. Les résultats du cadre de modélisation sont examinés en termes d'efficacité économique, de risques liés aux incertitudes hydrologiques et d'impact de changements climatiques sur l'activité agricole au niveau de la région. Ceci montre que le cadre de modélisation peut fournir des instruments politiques qui peuvent orienter les décideurs dans leurs choix avenir pour une utilisation plus rationnelle des ressources en eau.

L'amélioration de l'efficacité de production est un objectif privilégié de l'action des pouvoirs publics pour atténuer les pertes d'inefficacité et accroître les revenus des producteurs agricoles. Par ailleurs, il est important de quantifier les niveaux d'efficacité technique, allocative et économique des producteurs agricoles du périmètre irrigué de Tadla au Maroc, selon la source d'irrigation. Pour estimer les indices d'efficacité, la

méthode la méthode d'analyse par enveloppement des données a été adoptée. Les résultats ont montré une variabilité importante dans l'efficacité technique, allocative et économique aussi bien entre les exploitations agricoles que selon la source d'irrigation. Les exploitations agricoles qui recourent à l'eau souterraine valorisent mieux l'eau d'irrigation en comparaison avec celles qui combinent les eaux de surface et souterraine et celles qui se limitent à l'eau du barrage.

L'utilisation et l'allocation non rationnelles de l'eau d'irrigation constituent un frein majeur au développement de l'agriculture dans les bassins versants du pays notamment le bassin de Tadla. Dans cette optique, il est indispensable pour la zone de disposer d'instruments efficaces, en vue de gérer, d'organiser la répartition, de contrôler l'utilisation des ressources en eau et d'en assurer également la protection et la conservation. De ce fait, un modèle « TadMod » a été élaboré, intégré agronomique, économique et hydrologique de bassin versant désagrégé par unité territoriale, par communes, par sources d'irrigation et par spéculation agricole.

Le modèle élaboré est un modèle combiné qui comporte un modèle annuel à court terme et un programme de control interannuel. Le modèle intégré agronomique, économique et hydrologique au niveau du bassin de Tadla qui est appliqué à un horizon temporel d'une année avec 12 périodes (les mois), est défini comme un modèle à court terme (annuel). La fonction objective du modèle à court terme est de maximiser la valeur ajoutée totale au niveau du bassin versant en une année. L'introduction de l'aspect dynamique dans le modèle se fera par le biais de création d'un ensemble représentant les années et d'une boucle. Cette boucle permettra de faire des itérations en tenant en compte des paramètres et des variables qui seront introduites au cours des années. La prise de décision à long terme vise d'atteindre une optimalité à long terme, permettant de satisfaire les besoins immédiats en eau des cultures sans compromettre ceux des années à venir.

L'analyse des résultats révèle d'importantes différences du prix économique de l'eau selon les zones agricoles et le mode d'accès à l'eau d'irrigation. Le prix économique de l'eau d'irrigation moyen calculé par TadMod pour le sous bassin de Tadla est de l'ordre de 1.33 MAD pour le mètre cube d'eau. Il varie dans une fourchette de 1.19 MAD/m³ en moyenne pour la zone du Dir à 1,40 MAD/ m³ pour la zone de la grande hydraulique.

En confrontant l'offre à la demande en eau d'irrigation au niveau du bassin de Tadla, les résultats de nos calculs montrent qu'elles n'évoluent pas dans le même sens. Enfin, compte tenu de leur marge nette à l'hectare, nous avons remarqué l'existence de différences entre les exploitations agricoles au sein de la même zone agricole selon le mode d'accès à l'eau d'irrigation. La valeur ajoutée totale au niveau du bassin de Tadla est estimée à 3180.78 Millions MAD, avec une moyenne à l'hectare de 9513.40 MAD. La tarification de l'eau se présente parmi les simulations les plus pertinentes qui ont résulté de ce cadre de modélisation. Depuis les années soixante, le Maroc a pris la tarification de l'eau d'irrigation parmi les défis pour promouvoir un usage efficient des ressources en eau. D'où, l'importance d'étudier l'effet d'un réajustement de la tarification de l'eau d'irrigation sur la valeur de l'eau, l'utilisation de l'eau d'irrigation et des terres ainsi que sur le profit agricole au niveau du périmètre irrigué de Tadla. Dans ce cadre, Le modèle annuel à court terme a été utilisé pour évaluer la tarification de l'eau d'irrigation au niveau de ce dernier. Les résultats de ce travail ont montré que lors d'une année normale, l'augmentation du taux d'équilibre de l'eau entraîne nécessairement une diminution de la consommation en eau d'irrigation. Cette diminution avoisinerait 29.02% en cas d'application du plan rattrapage tarifaire, ce qui doit amener à bien raisonner le passage du tarif actuel au taux d'équilibre annoncée pour l'année 2011. En cas de sécheresse, en plus d'une réduction substantielle des superficies des terres conduites en mode Bour, les superficies irriguées connaissent elles aussi une diminution pouvant atteindre 18.6% pour les terres conduites en modes GH et GHIP. Beaucoup plus, le prix économique de l'eau d'irrigation en situation de sécheresse est quatre fois plus élevé que le tarif facturé par l'office de mise en valeur agricole de Tadla (ORMVAT). Cette augmentation du prix économique de l'eau en situation de sécheresse masque même l'effet d'une augmentation du tarif de l'eau.

La deuxième simulation de ce cadre de modélisation a concerné les effets des changements climatiques au niveau de la région. Dans de nombreuses régions semi-arides du monde, les questions liées aux changements climatiques notamment la rareté des ressources en eau revêtent une importance capitale pour surmonter les obstacles au développement. La valeur de l'eau augmente et se présente comme une contrainte quantitative et qualitative à son usage domestique, industriel et particulièrement

agricole. Etant donné le caractère multidimensionnel et multi-scalaire du changement climatique, il est important de conduire une modélisation interannuelle intégrée agronomique, économique et hydrologique du sous-bassin de Tadla, au Maroc, pour évaluer les effets potentiels du changement climatique sur l'agriculture au niveau de cette région. Les scénarii climatiques simulés comprennent le scénario RCP 4.5 et RCP 8.5, en tenant compte des principales cultures de la zone d'étude, des ressources en eau et du contexte socio-économique. Les résultats montrent que les changements climatiques peuvent avoir un impact réduisant le profit agricole (-13.23 MAD/ha chaque année pour le scénario climatique RCP 4.5 et de -15.97MAD/ha pour RCP 8.5), et augmentant le prix économique de l'eau d'irrigation de plus en plus. Dans son ensemble, cette simulation contribue à améliorer la compréhension des impacts économiques possibles du changement climatique et à guider les décideurs dans leurs choix avenir en termes de politiques d'adaptation.

De la spécification conceptuelle au développement du modèle, et de la préparation de données et du test de modèle au traitement de résultats, le cadre de modélisation développé dans cette recherche intègre l'approche de durabilité dans la modélisation de la gestion des ressources hydriques. Ainsi, le modèle élaboré est fortement recommandé comme outil d'aide à la décision pour l'analyse de durabilité dans la gestion des ressources hydriques au niveau d'un bassin versant.

Cette recherche peut être ajoutée comme un autre exemple réussi d'application de l'approche systémique pour la gestion des ressources en eau. Cependant, en formulant, en résolvant et en analysant le modèle développé lors de cette recherche, un certain nombre de limitations apparaissent. D'abord la modélisation proposée intègre plusieurs composantes et des hypothèses sont faites pour chacune de ces composantes. Pourtant, aucune étude rigoureuse n'a été menée pour montrer comment ces hypothèses au sein des différentes composantes affectent les unes les autres et comment elles affectent les résultats de modélisation si elles sont combinées dans un seul modèle.

Bien que les données de plusieurs enquêtes, que nous avons effectuées auprès des agriculteurs et des institutions de décision de la région, soient utilisées dans cette recherche, beaucoup de données indispensables pour la modélisation dynamique, en particulier les données de prévision concernant les politiques agricoles, ne sont toujours

pas disponibles et ne peuvent être estimées ou devinées. A titre d'exemple, dans les relations économiques, on suppose que les prix et les coûts sont constants pour toutes les années d'étude dans le modèle à long terme, ce qui peut être soumis à une grande variation dans l'avenir. Par conséquent, pour l'utilisation pratique du modèle à long terme, il vaut mieux fournir des estimations à ces paramètres, ou bien inclure plus de relations économiques dans le modèle de sorte que certains de ces éléments tels que les prix des cultures peuvent être calculés par le modèle.

Outre ces limitations discutées ci-dessus, cette recherche a utilisé un type de modélisation dynamique récurrente pour évaluer les effets de l'utilisation de l'eau sur une période de plusieurs années. Cette approche s'avère appropriée étant donné que la gestion des réservoirs dans le bassin de Tadla est soumise à une perspective de planification à court terme en raison du manque des outils de surveillance et de prévision à long terme. Ainsi, l'horizon de planification annuel du modèle élaboré reflète les politiques actuelles de gestion des réservoirs et permet une analyse détaillée des processus hydrologiques et de leur impact sur l'agriculture et le revenu par année. Pour les recherches futures ou dans d'autres cas d'étude, il serait intéressant d'avoir un modèle dynamique avec un horizon de plusieurs années pour pouvoir évaluer les options de gestion des réservoirs à long terme.

Le cadre de modélisation élaboré dépend fortement de certaines relations empiriques entre les composantes hydrologiques, agronomiques et économiques ainsi que de la façon dont les critères de durabilité sont exprimés mathématiquement. Les expressions mathématiques des critères de durabilité dans cette recherche sont étroitement liées à notre compréhension des problèmes spécifiques au niveau de la zone d'étude. En outre, si ce cadre de modélisation est appliqué à un autre bassin versant, les définitions et les expressions mathématiques des critères de durabilité seront modifiées en fonction des conditions spécifiques à ce bassin.

Avec toutes ces limitations, et pour passer de la recherche à la pratique, les efforts suivants sont nécessaires dans l'avenir : 1-Conduire des recherches supplémentaires pour vérifier les interrelations entre les composantes hydrologique, agronomique, et économique intégrées dans le modèle ; 2-Exécuter encore plus de scénarii pour

rechercher les politiques agricoles les plus robustes et les plus adaptées au contexte de la région ; et,3- Effectuer des études pour la vérification des sorties du modèle.

En bref, l'approche méthodologique utilisée a fait appel à plusieurs sciences afin de comprendre un système qui était, a priori, difficile de cerner. Ce travail semble ambitieux pour une seule recherche, cependant, sur la base de tous les travaux précédents cités dans ce document, il atteint un cadre de modélisation viable pour la gestion durable des ressources en eau à l'échelle du bassin de Tadla. Ainsi, grâce à l'approche méthodologique adoptée, nous avons pu bien réaliser l'intégration de tous les aspects clés des différents champs disciplinaires (agronomique, hydrologique et économique) qui ont servi à caractériser au mieux la zone d'étude. Ce qui constitue l'originalité de cette recherche, qui montre la faisabilité et l'efficacité de la modélisation avancée dans l'analyse de la durabilité, un concept de la plus haute importance qui influencera fortement l'avenir de la gestion des ressources en eau.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- ABHOER (2012). Etude du Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau du Bassin de l'Oum Er Rbia et des bassins côtiers atlantiques. Ministère délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement- chargé de l'Eau, Rabat, Maroc.
- Abu-Zeid, M. (2001). Water pricing in irrigated agriculture. *Int. J. Water Resour. Dev.* 17, 527-538.
- Afriat, S. N. (1972). Efficiency estimation of production functions. *International Economic Review* 13, 568-598.
- Agoumi, A., et Debbarh, A. (2006). Ressources en eau et bassins versants du Maroc : 50 ans de développement (1955-2005), Rabat, Maroc.
- Aidam, P. W. (2015). The impact of water-pricing policy on the demand for water resources by farmers in Ghana. *Agricultural Water Management* 158, 10-16.
- Aigner, D. J., et Chu, S. F. (1968). On Estimating the Industry Production Function. *American Economic Review of Agricultural Economics* 58, 826-839.
- Aigner, D. J., Lovell, C. A. K., et Schmidt, P. J. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics* 6, 21-37.
- Aiyar, S., et Dalgaard, C.-J. (2009). Accounting for productivity: Is it OK to assume that the world is Cobb-Douglas? *Journal of Macroeconomics* 31, 290-303.
- Albek, M., Bakır Öğütveren, Ü., et Albek, E. (2004). Hydrological modeling of Seydi Suyu watershed (Turkey) with HSPF. *Journal of Hydrology* 285, 260-271.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., et Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration — guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage. paper 56.* Food and Agriculture Organization, Rome.
- Altunbas, Y., Gardener, E. P. M., Molyneux, P., et Moore, B. (2001). Efficiency in European banking. *European Economic Review* 45, 1931-1955.
- Amara, N., et Romain, R. (2001). *Mesure de l'efficacité technique: Revue de littérature.* Centre de Recherche en Economie Agro-Alimentaire CREA, Québec.
- Amsler, C., Prokhorov, A., et Schmidt, P. (2016). Endogeneity in stochastic frontier models. *Journal of Econometrics* 190, 280-288.
- Archambault, S., Starbuck Downes, C. M., Van Voorhies, W., Erickson, C. A., et Lammers, P. (2014). *Nannochloropsis sp. algae for use as biofuel: Analyzing a translog production function using data from multiple sites in the southwestern United States.* *Algal Research* 6, 124-131.
- Asfaw, S., Cattaneo, A., Pallante, G., et Palma, A. (2017). Improving the efficiency targeting of Malawi's farm input subsidy programme: Big pain, small gain? *Food Policy* 73, 104-118.
- Asseng, S. (2015). Uncertainties of Climate Change Impacts in Agriculture. *Procedia Environmental Sciences* 29, 304.
- Avkiran, N. (1999). An Application Reference for Data Envelopment Analysis in Branch Banking: Helping the Novice. *International journal of Bank Marketing* 17, 206.
- Awa, V. P. (2009). Filières primeurs et agrumes dans la région du souss massa : Valorisation de l'eau et compétitivité, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan ii, Rabat Maroc.
- Baby, S., Yang, D., Mishra, D., et Sahu, N. C. (2014). 5th International Conference on Environmental Science and Development -- ICESD 2014 Economic Impact of Climate Change on Agriculture Sector of Coastal Odisha. *APCBEE Procedia* 10, 241-245.

- Bacot, M. L. (2001). Les stratégies d'utilisation conjuguée des eaux de surface et souterraines pour l'irrigation dans le périmètre irrigué de Tadla (Maroc). Ecole nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg, France.
- Banker, R. D., Charnes, A., et Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science* 30, 1078-1092.
- Banton, O., et Bangoy, L. (1999). Hydrogéologie, multi- science des eaux souterraines Presse de l'université du Québec/ AUPELF.
- Bar-Shira, Z., Finkelshtain, I., et Simhon, A. (2006). Block-rate versus uniform water pricing in agriculture: an empirical analysis. *Am. J. Agric. Econ.* 88, 986-999.
- Barberán, R., et Arbués, F. (2009). Equity in domestic water rates design. *Water Resour. Manage.* 23, 2101-2118.
- Bastiaanssen, W. G. M., Allen, R. G., Droogers, P., D'Urso, G., et Steduto, P. (2007). Twenty-five years modeling irrigated and drained soils: State of the art. *Agricultural Water Management* 92, 111-125.
- Bastiaanssen, W. G. M., Molden, D. J., et Makin, I. W. (2000). Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. *Agricultural Water Management* 46, 137-155.
- Battese, G. E., et Coelli, T. J. (1992). Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India. *Journal of Productivity Analysis* 3, 153-169.
- Baye, T. G. (2017). Poverty, peasantry and agriculture in Ethiopia. *Annals of Agrarian Science* 15, 420-430.
- Bayramoglu, B., et Chakir, R. (2016). The impact of high crop prices on the use of agro-chemical inputs in France: A structural econometric analysis. *Land Use Policy* 55, 204-211.
- Bekkari, L. (2009). Dynamiques institutionnelles des systèmes d'irrigation communautaires au Moyen Atlas (Maroc), Université catholique de Louvain.
- Belghiti, M. (2005). Valorisation de l'eau et tarification dans les périmètres de grande hydraulique au Maroc. , Rabat, Maroc.
- Belghiti, M. (2011). L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique. Centre d'Activités Régionales PNUE/PAM.
- Benabdelouahab, T., Balaghi, R., Hadria, R., Lionboui, H., Djaby, B., et Tychon, B. (2016). Testing Aquacrop to simulate durum wheat yield and schedule irrigation in a semi-arid irrigated perimeter in Morocco. *Irrigation and Drainage* 65, 631-641.
- Berbel, J., et Gómez-Limón, J. A. (2000). The impact of water-pricing policy in Spain: an analysis of three irrigated areas. *Agr. Water Manage.* 43, 209-238.
- Berger, A. N. (1993). Distribution-free Estimates of efficiency in the US Banking Industry and Tests of the Standard Distributional Assumption. *Journal of Productivity Analysis* 4, 261-292.
- Bhaumik, S. K., Das, P. K., et Kumbhakar, S. C. (2012). A stochastic frontier approach to modelling financial constraints in firms: An application to India. *Journal of Banking & Finance* 36, 1311-1319.
- Biewald, A., Kowarsch, M., Lotze-Campen, H., et Gerten, D. (2015). Ethical aspects in the economic modeling of water policy options. *Global Environmental Change* 30, 80-91.
- Biswas, A. K. (2007). Water as a human right in the MENA region: challenges and opportunities. *International Journal of Water Resources Development*. 23, 209-225.

- Bithas, K., Kollimenakis, A., Maroulis, G., et Stylianidou, Z. (2014). The Water Framework Directive in Greece. Estimating the Environmental and Resource Cost in the Water Districts of Western and Central Macedonia: Methods, Results and Proposals for Water Pricing. *Procedia Economics and Finance* 8, 73-82.
- Bjurek, H., Hjalmarsson, L., et Forsund, F. R. (1990). Deterministic Parametric and Nonparametric Estimation of Efficiency in Service Production: A Comparison. *Journal of Econometrics* 46, 213-227.
- Blanco-Gutiérrez, I., Varela-Ortega, C., et Purkey, D. (2013). Integrated assessment of policy interventions for promoting sustainable irrigation in semi-arid environments: A hydro-economic modeling approach article. *Journal of Environmental Management* 128, 144-160.
- Boularbah, S. (2015). Analyse des mécanismes de la reconversion collective à l'irrigation localisée dans le périmètre irrigué du Tadla. AFEID, Montpellier, France.
- Brooke, A., Kendrick, D., et Wilson, A. (1998). *GAMS: A User's Guide*. Scientific Press, Redwood City, Calif., USA.
- Brooks, D. B. (2006). An operational definition of water demand management. *International Journal of Water Resources Development*. 22, 521-528.
- Brooks, D. B. (2007). Human rights to water in North Africa and the middle east: what is new and what is not; what is important and what is not. *Int. J. Water Resour.Dev.* 23, 227-241.
- Brooks, R., et Harris, E. (2014). Price leadership and information transmission in Australian water allocation markets. *Agricultural Water Management* 145, 83-91.
- Brouwer, R., et Hofkes, M. (2008). Integrated hydro-economic modelling: approaches, key issues And future research directions. *Ecological Economics* 66, 16-22.
- Buras, N. (1963). Conjunctive Operations of Dams and Aquifers. *J. Hydraul.* 89, 107–129.
- Burt, O. R. (1964). The Economics of Conjunctive Use of Ground and Surface Water. *Hilgardia* 36, 31–111.
- Burton, J. (2001). La gestion intégrée des ressources en eau par bassin. Manuel de formation. IEPF/AUF, Paris. 261 pages.
- Cai, X. (1999). A modeling framework for sustainable water resource management University of Texas, Austin, TX. USA.
- Cai, X., McKinney, D., et Lasdon, L. (2003). Integrated Hydrologic-Agronomic-Economic Model for River Basin Management. *Journal of Water Resources Planning and Management* 129, 4-17.
- Cai, X., et Wang, D. (2006). Calibrating Holistic Water Resources–Economic Models. *Journal of Water Resources Planning and Management* 132, 414-423.
- Carriazo, F., Ready, R., et Shortle, J. (2013). Using stochastic frontier models to mitigate omitted variable bias in hedonic pricing models: A case study for air quality in Bogotá, Colombia. *Ecological Economics* 91, 80-88.
- CESE (2014). La gouvernance par la gestion intégrée des ressources en eau au Maroc : Levier fondamental de développement durable. Conseil Economique, Social et Environnemental. N°15, Rabat, Maroc.
- Charnes, A., Cooper, W. W., et Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of DMUs. *European Journal of Operational Research* 2, 429-444.

- Chatterji, S., et Lobato, I. N. (2015). On divergent dynamics with ordinary least squares learning. *Journal of Economic Behavior & Organization* 109, 1-9.
- Chernyshov, K. R., et Jharko, E. P. (2016). Entropy Criteria in the Econometric Model Identification. *IFAC-PapersOnLine* 49, 827-832.
- Cirilo, J. A. (2008). Public Water Resources Policy for the Semi-Arid Region. *Estudos avançados* 22, 61-81.
- Coelli, T., Prasada Rao, D. S., et Battese, G. E. (1998). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Boston.
- Coelli, T., et Rao, D. S. P. (2005). Total factor productivity growth in agriculture: a malmquist index analysis of 93 countries, 1980-2000. *Agricultural Economics* 32, 115-134.
- Costa, M. A., Lopes, A. L. M., et de Pinho Matos, G. B. B. (2015). Statistical evaluation of Data Envelopment Analysis versus COLS Cobb–Douglas benchmarking models for the 2011 Brazilian tariff revision. *Socio-Economic Planning Sciences* 49, 47-60.
- D'Agostino, D. R., Scardigno, A., Lamaddalena, N., et El Chami, D. (2014). Sensitivity analysis of coupled hydro-economic models: quantifying climate change uncertainty for decision-making. *Water Resources Management* 28, 4303-4318.
- Dahir (1969). Bulletin Officiel n° : 2960-bis du : 29/07/1969. 781.
- Dahir (2016). Dahir n 1-16-113 du 6 kaada 1437 portant promulgation de la loi n°36-15 relative à l'eau. Rabat, Maroc.
- Daraio, C., et Simar, L. (2007). *The Measurement of Efficiency*. In: *Advanced Robust and Nonparametric Methods in Efficiency Analysis*. Springer, Boston, MA, Springer, Boston, MA.
- Debreu, G. (1951). The Coefficient of Resource Utilization. *Econometrica* 19, 273-292.
- Di Falco, S., Bezabih, M., et Yesuf, M. (2010). Seeds for livelihood: Crop biodiversity and food production in Ethiopia. *Ecological Economics* 69, 1695-1702.
- DIAGNE, D. (2006). *Mesure de l'efficacité technique dans le secteur de l'éducation : une application de la méthode DEA*, thèse de doctorat en Sciences économiques, Université de Neuchâtel.
- Dinar, A., et Mody, J. (2004). Irrigation water management policies: allocation and pricing principles and implementation experience. *Nat. Resour.Forum* 28, 112-122.
- Donfouet, H. P. P., Barczak, A., Détang-Dessendre, C., et Maigné, E. (2017). Crop Production and Crop Diversity in France: A Spatial Analysis. *Ecological Economics* 134, 29-39.
- Draper, A., Jenkins, M., Kirby, K., Lund, J., et Howitt, R. (2003). Economic-Engineering Optimization for California Water Management. *Journal of Water Resources Planning and Management* 129, 155-164.
- Easter, K. W., et Liu, Y. (2005). *Cost Recovery and Water Pricing for Irrigation and Drainage Projects*. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington, US.
- El hasnaoui, A., Raki, M., et Boulassel, A. (2004). Diagnostic participatif des freins à la modernisation dans les exploitations irriguées, dans la région du Gharb au Maroc. In *Modernisation de l'Agriculture Irriguée* (P. INCO-WADEMED, ed.). Wadmed, Rabat, Maroc.
- El Mehdi, R., et Hafner, C. M. (2014). Inference in stochastic frontier analysis with dependent error terms. *Mathematics and Computers in Simulation* 102, 104-116.

- Elame, F., et Farah, A. (2008). Gestion économique de l'eau au niveau des bassins versants : Application d'un modèle intégré de bassin versant (Loukkos et Tadla). I M P E T U S
- Elame, F., et Lionboui, H. (2014). Efficience technique, allocative et économique des exploitations agricoles de la zone de Souss-Massa.
- Elame, F., Lionboui, H., et Choukr-Allah, R. (2016). Water Use Efficiency and Valuation in Agriculture in the Souss-Massa. pp. 1-9. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Esteve, P., Varela-Ortega, C., Blanco-Gutiérrez, I., et Downing, T. E. (2015). A hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture. *Ecological Economics* 120, 49-58.
- Evanoff, D., et Israilevich, P. (1991). Productive Efficiency in Banking. *Economic Perspectives* 15, 11-32.
- Falkenmark, M. (1989). The massive water scarcity threatening Africa-why isn't it being addressed? *Ambio* 18, 112-118.
- FAO (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements, Rome, Italy.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productif efficiency. *Journal of Royal Statistical Society* 120, 253-281.
- Feinerman, E., et Knapp, K. C. (1983). Benefits from Groundwater Management: Magnitude, sensitivity, and distribution. *Am. J. Agric. Econ* 65, 703-710.
- Ferrara, G., et Vidoli, F. (2017). Semiparametric stochastic frontier models: A generalized additive model approach. *European Journal of Operational Research* 258, 761-777.
- Florens, J.-P., et Simar, L. (2005). Parametric approximations of nonparametric frontiers. *Journal of Econometrics* 124, 91-116.
- Forsund, F. R., et Hjalmarsson, L. (1979). Generalised Farrell Measures of Efficiency: an Application to Milk Processing in Swedish Dairy Plants. *The Economic Journal* 89, 294-315.
- Forsund, F. R., Lovell, C. A. K., et Schmidt, P. (1980). A survey of frontier production functions and of their relationship to efficiency measurement. *Journal of Econometrics* 13, 5-25.
- Friesen, J., Rodriguez Sinobas, L., Foglia, L., et Ludwig, R. (2017). Environmental and socio-economic methodologies and solutions towards integrated water resources management. *Science of The Total Environment* 581-582, 906-908.
- Fu, Z. H., Zhao, H. J., Wang, H., Lu, W. T., Wang, J., et Guo, H. C. (2017). Integrated planning for regional development planning and water resources management under uncertainty: A case study of Xining, China. *Journal of Hydrology* 554, 623-634.
- Galán-Martín, Á., Guillén-Gosálbez, G., Stamford, L., et Azapagic, A. (2016). Enhanced data envelopment analysis for sustainability assessment. In *Computer Aided Chemical Engineering* (Z. Kravanja et M. Bogataj, eds.), Vol. 38, pp. 817-822. Elsevier.
- Garcia, S., et Reynaud, A. (2004). Estimating the benefits of efficient water pricing in France. *Resour. Energy Econ.* 26, 1-25.
- Gariépy, S. (2001). La gestion par bassin versant : philosophie et principes. In *Actes du forum Fleuve et agriculture – Harmoniser environnement et développement* (L. C. Z. d. Q. e. Chaudières-Appalaches, ed.), Vol. 1, pp. 91-103, Québec, éd.
- Geerts, S., et Raes, D. (2009). Deficit Irrigation as an On-Farm Strategy to Maximize Crop Water Productivity in Dry Areas. *Agricultural Water Management* 96, 1275-1284.

- Gerdessen, J. C., et Pascucci, S. (2013). Data Envelopment Analysis of sustainability indicators of European agricultural systems at regional level. *Agricultural Systems* 118, 78-90.
- Gisser, M., et Sánchez, D. A. (1980). Competition versus optimal control in groundwater pumping. *Water Resources Research* 16, 638-642.
- Golubev, G. N. (1993). Sustainable water development: implications for the future. *Wat. Resour. Development* 9, 127-153.
- Gómez-Limón, J. A., et Riesgo, L. (2004). Irrigation water pricing: differential impacts on irrigated farms. *Agr. Econ.* 31, 47-66.
- Greene, W. H. (1980). Maximum likelihood estimation of econometric frontier functions. *Journal of Econometrics* 13, 101-113.
- Griffin, R. C. (2001). Effective water pricing. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 37, 1335-1347.
- Hachimi, M. (2009). Agences de bassin hydrauliques et gouvernance de l'eau. Secrétariat d'Etat chargé de l'eau et de l'environnement, Maroc.
- Hamani, A., et Kuper, M. (2007). Caractérisation des pompes des eaux souterraines dans le Tadla, Maroc. Troisième atelier régional du projet Sirma, June 2007, Nabeul, Tunisia. CIRAD 10 p. <cirad-00262001>.
- Hampf, B., et Krüger, J. J. (2017). Estimating the bias in technical change: A nonparametric approach. *Economics Letters* 157, 88-91.
- Harbouze, R., Le Grusse, P., Belabes, K., Raki, M., Bouaziz, A. T. H., A. Douaoui, M., et Kuper, M. (2007) Efficiences économiques comparées des systèmes de production dans différentes situations d'accès à la ressource en eau. Application dans le périmètre irrigué du Gharb, Maroc. *Economies d'eau, en systèmes irrigués au Maghreb*, M., Mostaganem, Algérie. Cirad, 16 p., 2009, ColloqueCD-rom. Cirad, Mostaganem, Algérie.
- Harbouze, R., Le Grusse, P., Bouaziz, A., Mailhol, J. C., Ruelle, P., et Raki, M. (2014). Economic Efficiency of Production Systems in the Gharb Irrigated Area (Morocco) Affected by Access to Water Resources. In *Agricultural Cooperative Management* (C. Z. K. M. v. D. Baourakis, ed.). Springer, Cham.
- Harou, J., Pulido-Velazquez, M., Rosenberg, D. E., Medellín-Azuara, J., Lund, J. R., et Howitt, R. E. (2009). Hydro-Economic Models: Concepts, Design, Applications and Future Prospects. *Journal of Hydrology* 375, 627-643.
- Heidecke, C., et Heckelei, T. (2010). Impacts of changing water inflow distributions on irrigation and farm income along the Drâa River in Morocco. *Agricultural Economics* 41, 135-149.
- Heidecke, C., KUHN, A., et Klose, S. (2008). Water pricing options for the Middle Drâa River Basin in Morocco. *AfJARE* 2.
- Henningsen, A., Běln, M., et Henningsen, G. (2017). New insights into the stochastic ray production frontier. *Economics Letters* 156, 18-21.
- Hoang, V.-N. (2014). Analysis of resource efficiency: A production frontier approach. *Journal of Environmental Management* 137, 128-136.
- Hoang, V. (2013). Analysis of productive performance of crop production systems: An integrated analytical framework. *Agricultural Systems* 116, 16-24.
- Houdret, A., et Bonnet, S. (2016). Le premier partenariat public-privé pour l'irrigation au Maroc: Durable pour tous? *Cahiers Agricultures* 25, 1-7.

- Houshyar, E., Zareifard, H. R., Grundmann, P., et Smith, P. (2015). Determining efficiency of energy input for silage corn production: An econometric approach. *Energy* 93, 2166-2174.
- Howitt, R. E. (1995). Positive mathematical programming. *American Journal of Agriculture Economics* 77, 329-342.
- Howitt, R. E., Medellín-Azuara, J., MacEwan, D., et Lund, J. R. (2012). Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. *Environmental Modelling & Software* 38, 244-258.
- Huang, J., Lou, I., et Li, Y. (2016). Integrated water resources management for emergency situations: A case study of Macau. *Journal of Environmental Sciences* 50, 72-78.
- Huang, Q. Q., Wang, J. X., Easter, K. W., et Rozelle, S. (2010). Empirical assessment of water management institutions in Northern China. *Agric. Water Manage.* 98, 361-369.
- Hurd, B. H., et Coonrod, J. (2012). Hydro-economic consequences of climate change in the upper Rio Grande. *Climate Research* 53, 103-118.
- Iglesias, A., Garrote, L., Diz, A., Schlickenrieder, J., et Martin-Carrasco, F. (2011). Re-thinking water policy priorities in the Mediterranean region in view of climate change. *Environmental Science & Policy* 14, 744-757.
- Immerzeel, W. W., van Beek, L. P. H., et Bierkens, M. F. P. (2010). Climate change will affect the asian water towers. *Science* 328 (5984).
- Iocola, I., Bassu, S., Farina, R., Antichi, D., Basso, B., Bindi, M., Dalla Marta, A., Danuso, F., Doro, L., Ferrise, R., Giglio, L., Ginaldi, F., Mazzoncini, M., Mula, L., Orsini, R., Corti, G., Pasqui, M., Seddaiu, G., Tomozeiu, R., Ventrella, D., Villani, G., et Roggero, P. P. (2017). Can conservation tillage mitigate climate change impacts in Mediterranean cereal systems? A soil organic carbon assessment using long term experiments. *European Journal of Agronomy* 90, 96-107.
- IRES (2014). Anticipation et gestion des risques d'évènements climatiques extrêmes et de catastrophes naturelles au Maroc, Maroc.
- Isik, I., et Hassan, M. (2003). Financial Deregulation and Total Factor Productivity Change: An Empirical Study of Turkish Commercial Banks. *J Banking and Finance* 27, 1455-1485.
- Ivan, I.-C. (2015). Stochastic Frontiers. Case Study – Japanese Banking System. *Procedia Economics and Finance* 27, 652-658.
- Jakeman, A. J., et Letcher, R. A. (2003). Integrated assessment and modelling: features, principles and examples for catchment management. *Environmental Modelling & Software* 18, 491-501.
- Jenkins, M., Lund, J., Howitt, R., Draper, A., Msangi, S., Tanaka, S., Ritzema, R., et Marques, G. (2004). Optimization of California's Water Supply System: Results and Insights. *Journal of Water Resources Planning and Management* 130, 271-280.
- Jondrow, J., Lovell, C. A. K., Materov, I. S., et Schmidt, P. (1982). On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model. *Journal of Econometrics* 23, 269-274.
- Jouve, A. M. (2006). Eau et pouvoirs en Méditerranée: Les trois temps de l'eau au Maroc. *Confluences méditerranée* 58.
- Kadiri, Z., et Abdellaoui, E. D., B. (2015). Les projets d'irrigation à l'épreuve des dynamiques territoriales locales. *LE MAROC AU PRÉSENT* Centre Jacques-Berque, 91-101.

- Kahil, M. T., Ward, F. A., Albiac, J., Eggleston, J., et Sanz, D. (2016). Hydro-economic modeling with aquifer–river interactions to guide sustainable basin management. *Journal of Hydrology* 539, 510-524.
- Kao, C. (2013). Dynamic data envelopment analysis: A relational analysis. *European Journal of Operational Research* 227, 325-330.
- Kauppinen, T. (2016). Data Envelopment Analysis as a tool for the exploration phase of mining. *Computers & Geosciences* 93, 96-102.
- Kenne Pagui, E. C., Salvan, A., et Sartori, N. (2015). On full efficiency of the maximum composite likelihood estimator. *Statistics & Probability Letters* 97, 120-124.
- Kim, K. i., Petrin, A., et Song, S. (2016). Estimating production functions with control functions when capital is measured with error. *Journal of Econometrics* 190, 267-279.
- Koopmans, T. (1951). *Activity analysis of production and allocation*. John Wiley and Sons, New York.
- Kosolapova, N. A., Matveeva, L. G., Nikitaeva, A. Y., et Molapisi, L. (2017). Modeling resource basis for social and economic development strategies: Water resource case. *Journal of Hydrology* 553, 438-446.
- Kostas, B. (2008). The sustainable residential water use: sustainability, efficiency and social equity. The European experience. *Ecol. Econ.* 68, 221-229.
- Kox, H. L. M., et van Leeuwen, G. (2013). Market selection and scale inefficiency – A new methodology applied to EU business services. *Structural Change and Economic Dynamics* 25, 77-94.
- Kwan, S., et Eisenbeis, R. (1997). Bank risk, capitalization and operating efficiency. *Journal of Financial Services Research* 12, 117-131.
- Kwelde, K. (2006). Suivi des exploitations agricoles du Tadla [Maroc] en vue de déterminer leurs performances dans l'utilisation des eaux souterraines. IAV Hassan II, Rabat.
- Laith, S. (2009). La petite et moyenne hydraulique (pmh) : Les enseignements tirés et réflexions pour de nouvelles orientations. *Revue HTE* 141, 32-34.
- Le Gal, P. Y., Rieu, T., et Fall, C. (2003). Water pricing and sustainability of self-governing irrigation schemes. *Irrig. Drain. Syst.* 17, 2013-238.
- Le Moine, N. (2008). Le bassin versant de surface vu par le souterrain : une voie d'amélioration des performances et du réalisme des modèles pluie-débit ?, Université Pierre et Marie Curie.
- Le Treut, H., et Jancovici, J. M. (2004). Effet de serre : allons-nous changer le climat ?. CNRS/ENS/Ecole polytechnique/Université Pierre et Marie Curie.
- Lee, L. F., et Tyler, W. G. (1978). A stochastic Frontier Production Function and Average Efficiency: An Empirical Analysis. *Journal of Econometrics* 7, 385-390.
- Lesk, C., Rowhani, P., et Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature* 529, 84-87.
- Letcher, R. A., Jakeman, A. J., et Croke, B. F. W. (2004). Model development for integrated assessment of water allocation options. *Water Resources Research* 40, W05502.
- Li, X. Y., Waddington, S. R., Dixon, J., Joshi, A. K., et De Vicente, M. C. (2011). The relative importance of drought and other water-related constraints for major food crops in South Asian farming systems. *Food Security* 3, 19-33.
- Lin, B., et Atsagli, P. (2017). Inter-fuel substitution possibilities in South Africa: A translog production function approach. *Energy* 121, 822-831.

- Lin, B., et Zhao, H. (2016). Technology gap and regional energy efficiency in China's textile industry: A non-parametric meta-frontier approach. *Journal of Cleaner Production* 137, 21-28.
- Lionboui, H. (2008). Contribution à l'analyse de l'efficacité technico-économique des exploitations agricoles dans les différentes zones d'action des ORMVA au Maroc. Mémoire du troisième Cycle pour l'obtention du Diplôme d'Etat en Agro-économie. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan Maroc.
- Lionboui, H. (2010). Analyse de l'efficacité technico-économique des exploitations agricoles de Tadla. Mémoire de titularisation. Institut National de la Recherche Agronomique, Maroc.
- Lionboui, H., Doukkali M., Fadlaoui, A., Bahri, A., et Benabdelouahab, T. (2012). Efficacité technico-économique et valorisation de l'eau des exploitations agricoles dans le périmètre irrigué de Tadla. *International Hydrological Program- Division of Water Sciences, UNESCO* 4, 452-459.
- Lionboui, H., Fadlaoui, A., Elame, F., et Benabdelouahab, T. (2014). Water pricing impact on the economic valuation of water resources. *International Journal of Education and Research* Vol. 2 No. 6 147-166.
- Lionboui, H., Benabdelouahab, T., Elame, F., Hasib, A., et Boulli, A. (2016a). Multi-year agro-economic modelling for predicting changes in irrigation water management indicators in the Tadla sub-basin. *International Journal of Agricultural Management and Development* 5, 96-105.
- Lionboui, H., Benabdelouahab, T., Hasib, A., et Boulli, A. (2016b). Analysis of farms performance using different sources of irrigation water: a case study in a semi-arid area. *International Journal of Agricultural Management and Development* 6, 145-154.
- Lobell, D. B., Schlenker, W., et Costa-Roberts, J. (2011). Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. *Science* 333, 616-620.
- Lobell, D. B., Asner, G. P., Ortiz-Monasterio, J. I., et Benning, T. L. (2003). Remote sensing of regional crop production in the Yaqui Valley, Mexico: estimates and uncertainties. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 94, 205-220.
- López-Espín, J. J., Aparicio, J., Giménez, D., et Pastor, J. T. (2014). Benchmarking and Data Envelopment Analysis. An Approach based on Metaheuristics. *Procedia Computer Science* 29, 390-399.
- MAPM (2012). Plan agricole régional Tadla Azilal, Plan Maroc Vert. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, Rabat, Morocco.
- MAPM (2016). Irrigation et aménagements fonciers. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime. Fonds de Développement Agricole. 17 pages.
- MAPMDREF (2017). Irrigation au Maroc. Ministère de l'agriculture, de la pêche maritime, du développement rural et des eaux et forêts. www.agriculture.gov.ma/pages/lirrigation-au-maroc .
- Martin, E., et Vaitkeviciute, J. (2016). Mesure de l'impact du changement climatique sur l'agriculture de Côte-d'Or. *Économie rurale* 355, 21-48.
- Masahiko, G., et Tsur, Y. (2007). The Stabilization Value of Groundwater and Conjunctive Water Management under Uncertainty. *Review of Agricultural Economics* 29, 540-548.
- MDCE (2015). Projet de performance. Ministère Délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, Chargé de l'Eau, Rabat, Maroc.

- MDMEMDD (2016). Plan Cadre National pour les MCPD: Agriculture et alimentation durables. Ministère délégué auprès du Ministre de l'énergie, des mines et du développement durable, Switchmed, Rabat, Maroc.
- Meeusen, W., et Van den Broeck, J. (1977). Efficiency Estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review* 18, 435-444.
- MEF (2015). Tableau de bord sectoriel. Direction des Etudes et des Prévisions Financières, Rabat, Maroc.
- MEMEE (2012). Politique de l'eau au Maroc. Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, Département de l'Eau, Rabat, Maroc.
- MEMEE (2014). Processus de planification et gestion des eaux souterraines au maroc : Bilan et perspectives. Atelier de travail. Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement. Département de l'eau. Skhirat, 26 Mars, Maroc.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W., et Shaw, D. (1994). The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis. *American Economic Review of Agricultural Economics* 84, 753-771.
- Min, D.-J., Shin, J., et Shin, C. (2015). Application of the least-squares inversion method: Fourier series versus waveform inversion. *Journal of Applied Geophysics* 122, 62-73.
- Miotti, L., et Plihon, D. (2001). Libéralisation financière, spéculation et crises bancaires. *Economie Internationale* 85.
- Mishra, D., et Sahu, N. C. (2014). Economic impact of climate change on agriculture sector of Coastal Odisha. *APCBEE Procedia* 10, 241-245.
- Molden, D. (2013). Water for Food Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. International Water Management Institute.
- Momblanch, A., Connor, J. D., Crossman, N. D., Paredes-Arquiola, J., et Andreu, J. (2016). Using ecosystem services to represent the environment in hydro-economic models. *Journal of Hydrology* 538, 293-303.
- Moriondo, M., Bindi, M., Kundzewicz, Z. W., Szwed, M., Chorynski, A., Matczak, P., Radziejewski, M., McEvoy, D., et Wreford, A. (2010). Impact and adaptation opportunities for European agriculture in response to climatic change and variability. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15, 657-679.
- MUAT (2017). Gestion intégrée de l'eau. (Aménagement, ed.). Ministère de l'Urbanisme et de l'Aménagement du Territoire, Rabat, Maroc.
- Murillo-Zamorano, L. R. (2004). Economic efficiency and frontier techniques. *JOURNAL OF ECONOMIC SURVEYS* 18, 33-77.
- Namara, R. E. (2010). Agricultural water management and poverty linkages. *Agricultural Water Management*. 97, 520-527.
- Nepal, S. (2016). Impacts of climate change on the hydrological regime of the Koshi river basin in the Himalayan region. *Journal of Hydro-environment Research* 10, 76-89.
- Nguyen, N. B. (2010). Estimation of technical efficiency in stochastic frontier analysis, Bowling Green State University
- Niang, I., Ruppel, O. C., Abdrabo, M. A., Essel, A., Lennard, C., Padgham, J., et Urquhart, P. (2014). Afrique. Dans: Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité. Section B: Aspects régionaux. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge University Press Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, États-Unis, 1199-1265.

- Nikkhah, A., Emadi, B., Soltanali, H., Firouzi, S., Rosentrater, K. A., et Allahyari, M. S. (2016). Integration of life cycle assessment and Cobb-Douglas modeling for the environmental assessment of kiwifruit in Iran. *Journal of Cleaner Production* 137, 843-849.
- Nikouei, A., et Ward, F. A. (2013). Pricing irrigation water for drought adaptation in Iran. *Journal of Hydrology* 503, 29-46.
- Nishimizu, M., et Page, J. M. (1982). Total Factor Productivity Growth, Technological Progress and Technical Efficiency Change: Dimensions of Productivity Change in Yugoslavia. *The Economic Journal* 92, 920-936.
- ORMVAT (2014). Monographie de Tadla. Office de mise en valeur Agricole, Tadla.
- ORMVAT (2016). Monographie de Tadla. Office de mise en valeur Agricole, Tadla.
- Oussible, M., et Bourarach, E. (2009). Impact de l'intensification agricole sous irrigation sur la qualité physique du sol. Symposium international Agriculture durable en région Méditerranéenne.
- Pablo-Romero, M. d. P., et Gómez-Calero, M. d. l. P. (2013). A translog production function for the Spanish provinces: Impact of the human and physical capital in economic growth. *Economic Modelling* 32, 77-87.
- Peña-Haro, S., Pulido-Velazquez, M., et Sahuquillo, A. (2009). A Hydro-Economic Modeling Framework for Optimal Management of Groundwater Nitrate Pollution from Agriculture. *Journal of Hydrology* 24.
- Polti, C., Imboden, N., Bou, L., et Garibaldi, E. (1979). Rapport d'évaluation du projet de production et de commercialisation des primeurs. (M.-O. e. A. d. N. D. d. p. Bureau régional Europe, ed.). Banque Mondiale, Maroc.
- Pulido-Velázquez, M., Andreu, J., et Sahuquillo, A. (2006). Economic Optimization of Conjunctive Use of Surface Water and Groundwater at the Basin Scale. *Journal of Water Resources Planning and Management* 132, 454-467.
- Qian, Y. (2016). Sustainable Management of Water Resources. *Engineering* 2, 23-25.
- Rahman, M., Lambkin, M., et Hussain, D. (2016). Value creation and appropriation following M&A: A data envelopment analysis. *Journal of Business Research* 69, 5628-5635.
- Richmond, J. (1974). Estimating the efficiency of production. *International Economic Review* 15, 515-521.
- Rogers, P., De Silva, R., et Bhatia, R. (2002). Water is an economic good: how to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. *Water Policy* 4, 1-17.
- Romain, R., et Lambert, R. (1995). Efficacité technique et coûts de production dans les secteurs laitiers du Québec et de l'Ontario. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 43, 37-55.
- Rosegrant, M. W., Ringler, C., McKinney, D. C., Cai, X., Keller, A., et Donoso, G. (2000). Integrated economic-hydrologic water modeling at the basin scale: the Maipo river basin. *Agricultural Economics* 24, 33-46.
- Sage, T. L., Bagha, S., Lundsgaard-Nielsen, V., Branch, H. A., Sultmanis, S., et Sage, R. F. (2015). The effect of high temperature stress on male and female reproduction in plants. *Field Crops Research* 182, 30-42.
- Sahoo, B. K., Khoveyni, M., Eslami, R., et Chaudhury, P. (2016). Returns to scale and most productive scale size in DEA with negative data. *European Journal of Operational Research* 255, 545-558.

- Sahoo, B. K., Zhu, J., Tone, K., et Klemen, B. M. (2014). Decomposing technical efficiency and scale elasticity in two-stage network DEA. *European Journal of Operational Research* 233, 584-594.
- Sali, G., et Monaco, F. (2014). Irrigation water resource in a rice-growing area: economic evaluation under different pricing conditions. In *Agricultural Cooperative Management and Policy* (C. Zopounidis, N. Kalogeras, K. Mattas, G. van Dijk et G. Baourakis, eds.), pp. 23-40. Springer International Publishing.
- Samuelsson, P., Gollvik, S., Jansson, C., Kupiainen, M., Kourzeneva, E., et van de Berg, W. J. (2015). The surface processes of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA4). *Meteorologi* 157.
- Sathye, M. (2001). X-Efficiency in Australian Banking: An Empirical Investigation. *J Banking and Finance* 25, 613-630.
- Seckler, D., Barker, R., et Amarasinghe, U. (1999). Water scarcity in the twenty-first century. *Water Resources Development* 15, 29-42.
- Seiford, L. M., et Thrall, R. M. (1990). Recent Developments in DEA: The Mathematical Programming Approach to Frontier Analysis. *Journal of Econometrics* 46, 7-38.
- Seo, B., et Jeong, S.-O. (2016). Semiparametric maximum likelihood estimation of stochastic frontier model with errors-in-variables. *Journal of the Korean Statistical Society* 45, 199-209.
- Seol, H., Lee, S., et Kim, C. (2011). Identifying new business areas using patent information: A DEA and text mining approach. *Expert Systems with Applications* 38, 2933-2941.
- Serraj, M. (2013). Secteur de l'eau au Maroc et stratégie de l'ONEE.
- Sghaier, M., Mahdhi, N., Fetoui, M., et Nihaya, N. (2006). La gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle de bassin versant en zones arides : Proposition méthodologique et applications. *NEW MEDIT* 4.
- Simar, L., Vanhems, A., et Van Keilegom, I. (2016). Unobserved heterogeneity and endogeneity in nonparametric frontier estimation. *Journal of Econometrics* 190, 360-373.
- Singh, K. (2007). Rational pricing of water as an instrument of improving water use efficiency in the agricultural sector: a case study in Gujarat, India. *Int. J. Water Resour. Dev.* 23, 679-690.
- Soguel, N. (2004). *Analyse de l'efficience : méthodes comparatives*. Institut des hautes études en administration publique, Lausanne.
- Stanley, C. B. (2005). *Investigation of the economics of water as used by smallholder irrigation farmers in South Africa*. University of Pretoria, Department of Agricultural Economics, Extension and Rural Development, South Africa.
- Taky, A., Mailhol, J. C., Debbarh, A., Bouarfa, S., et Hammani, A. (2004). Diagnostic des pratiques d'irrigation gravitaire et possibilités d'amélioration dans le Gharb au Maroc. In *Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée (IAV Hassan II, ed.)*. Cirad-00189198, Rabat, Maroc.
- Tardieu, H., et Préfol, B. (2002). Full cost or "sustainability cost" pricing in irrigated agriculture. Charging for water can be effective, but is it sufficient? *Irrig. Drain.* 51, 97-107.
- Tianyi, L. (2018). These 20 water-stressed countries have the most solar and wind potential. <https://www.wri.org/blog/2018/05/these-20-water-stressed-countries-have-most-solar-and-wind-potential> . World Resources Institute.
- Timmer, C. P. (1971). Using a Probabilistic Frontier Function to Measure Technical Efficiency. *Journal of Political Economy* 79, 579-597.

- Toumi, L. (2008). La Nouvelle Stratégie Agricole au Maroc (Plan Vert) : Les Clés de la Réussite.
- Tsai, D.-M., et Chen, W.-L. (2017). Coffee plantation area recognition in satellite images using Fourier transform. *Computers and Electronics in Agriculture* 135, 115-127.
- Tsionas, E. G. (2012). Maximum likelihood estimation of stochastic frontier models by the Fourier transform. *Journal of Econometrics* 170, 234-248.
- Tsur, Y. (1990). The stabilization role of groundwater when surface water supplies are uncertain: The implications for groundwater development. *Water Resources Research* 26 811-818.
- Tsur, Y. (2005). Economic aspects of irrigation water pricing. *Can. Water Resour. J.* 30, 31-46.
- Tsur, Y., et Graham-Tomasi, T. (1991). The buffer value of groundwater with stochastic surface water supplies *Journal of Environmental Economics and Management* 21 201-224.
- Tyler, S. (2007). *Water Demand Management, Poverty & Equity*. WADImena Project, Amman.
- Varis, O. (2007). Right to water: the millennium development goals and water in the MENA region. *Int. J. Water Resour. Dev.* 23, 243-266.
- Veetil, P. C., Speelman, S., Frija, A., Buysse, J., et van Huylenbroeck, G. (2011). Complementarity between water pricing, water rights and local water governance: A Bayesian analysis of choice behaviour of farmers in the Krishna river basin, India. *Ecological Economics* 70, 1756-1766.
- Ventrella, D., Charfeddine, M., Moriondo, M., Rinaldi, M., et Bindi, M. (2012). Agronomic adaptation strategies under climate change for winter durum wheat and tomato in southern Italy: irrigation and nitrogen fertilization. *Regional Environmental Change* 12, 407-419.
- Walsh, P., Griffiths, C., Guignet, D., et Klemick, H. (2017). Modeling the Property Price Impact of Water Quality in 14 Chesapeake Bay Counties. *Ecological Economics* 135, 103-113.
- Wang, G., Mang, S., Cai, H., Liu, S., Zhang, Z., Wang, L., et Innes, J. (2016). Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. *Journal of Forestry Research* 27, 967-994.
- Wang, Y., Puig, V., et Cembrano, G. (2017). Non-linear economic model predictive control of water distribution networks. *Journal of Process Control* 56, 23-34.
- Ward, F. A. (2007). Decision support for water policy: a review of economic concepts and tools. *Water Policy* 9, 1-31.
- Ward, F. A., Amer, S. A., et Ziaee, F. (2013). Water allocation rules in Afghanistan for improved food security. *Food Security* 5, 35-53.
- Ward, F. A., Hurd, B. H., Rahmani, T., et Gollehon, N. (2006). Economic impacts of federal policy responses to drought in the Rio Grande Basin. *Water Resources Research* 42, W03420.
- Waughray, D. K., et Rodríguez, A. (1998). Valuing water as an economic good in dryland areas - balancing the need for food, environmental and financial security. In *World Congress of Natural Resource Economists*.
- Wheelock, D., et Wilson, P. (1999). Technical Progress, Inefficiency, and Productivity Change in U.S. Banking (1984-1993). *J. Money, Credit and Banking* 31, 212-234.

- White, D. J., Feng, K., Sun, L., et Hubacek, K. (2015). A hydro-economic MRIO analysis of the Haihe River Basin's water footprint and water stress. *Ecological Modelling* 318, 157-167.
- Whiteley, J. M., Ingram, H., et Perry, R. (2008). *Water, Place, and Equity*. Cambridge, Massachusetts, London, England.
- Xi, X., et Poh, K. L. (2013). Using System Dynamics for Sustainable Water Resources Management in Singapore. *Procedia Computer Science* 16, 157-166.
- Yacoubi soussane, M., Moumen, M., Khiati, D., et Najih, D. (1999). Economie de l'eau d'irrigation. *Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA* 58, 1-4.
- Zacks, S. (1981). *Parametric Statistical Inference*, Pergamon.
- Zhang, D., et Guo, P. (2016). Integrated agriculture water management optimization model for water saving potential analysis. *Agricultural Water Management* 170, 5-19.
- Zhao, J., Ni, H., Peng, X., Li, J., Chen, G., et Liu, J. (2016). Impact of water price reform on water conservation and economic growth in China. *Economic Analysis and Policy* 51, 90-103.
- Zhou, P., Ang, B. W., et Zhou, D. Q. (2012). Measuring economy-wide energy efficiency performance: A parametric frontier approach. *Applied Energy* 90, 196-200.

Annexes

Annexe 1

Questionnaire « exploitation agricole »

Questionnaire

Identification de l'exploitation :

	Province	S-Région	Commune rurale	Douar	N° exploitant	Parcelle	Culture principale
Nom							
Code							

Superficie totale: Ha.

Coordonnées (X,Y) :

X: / Y:.....

Culture 1:	Superficie: Ha
Culture 2:	Superficie: Ha
Culture 3:	Superficie: Ha
Culture 4:	Superficie: Ha
...	

Identification de l'exploitation :

	Province	S-Région	Commune rurale	Douar	N° exploitant	Parcelle	Culture principale
Nom							
Code							

Superficie:	Ha	Culture:
-------------	----	----------

Travaux du sol:

Travaux du sol	Code	Mode Méc=1 Trad=2	Mécanisation		Main d'oeuvre					
			Prix location Dh/ha	Nbre de passages	Salariale				familiale	
					Homme		Femme		Homme	Femme
					NJT	Salaire Dh/Jour	NJT	Salaire Dh/Jour	NJT	Salaire Dh/Jour
Labour profond	12									
Labour moyen	11									
Cover cropage										

NJT= nombre de journées de travail.

Semis- Fertilisation- Traitement :

Opération	Code	Mode Méc=1 Trad=2	Mécanisation		Intrant			Main d'oeuvre						
			Prix location Dh/ha	Nbre de passages	Unité	Qté	PU	Salariale				familiale		
								Homme		Femme		Homme	Femme	
								NJT	Salaire Dh/Jour	NJT	Salaire Dh/Jour	NJT	Salaire Dh/Jour	
Semis et plantation														
Semis														
Engrais de fond														
14-28-14														
SSP18%														
Sulfate de potasse														
Formule sucrière														
TSP45%														
Engrais de couverture														
Urée														
Amonitrate														
Sulf. Amoniacal 21%														
Fumier														
Pesticides														
Karate														
Impact														
Opus														
Decis														
2-4-D														
Printazol														

Entretien :

Entretien	Code	Mode Méc=1 Trad=2	Mécanisation		Main d'oeuvre					
					Salariale				familiale	
			Prix location Dh/ha	Nbre de passages	Homme		Femme		Homme	Femme
NJT	Salaire Dh/Jour	NJT			Salaire Dh/Jour	NJT	Salaire Dh/Jour			
Désherbage	359									
Binage	352									
Démariage	358									

Irrigation :

Mode d'irrigation : _____ 1=Gravitaire, 2=Aspersion, 3=Localisée.

En cas d'irrigation par aspersion : Nombre des asperseurs : _____.

En cas d'irrigation localisée : Nombre des goutteurs : _____, Débit par goutteurs _____ Litres/heures.

Irrigation	Source d'irrigation (*)	Durée de la période en (mois)	Nombre d'irrigation par mois	Durée moyenne d'une irrigation (heures)	Main d'oeuvre					
					Salariale				familiale	
					Homme		Femme		Homme	Femme
NJT	Salaire Dh/Jour	NJT	Salaire Dh/Jour	NJT	Salaire Dh/Jour					
Période 1										
Période 2										
Période 3										
Période 4										
Période 5										

(*) : Canal= 1, Oued = 2, Puis= 3.

Récolte :

Opération	Code (*)	Récolte			Production		Main d'oeuvre					
		Mode Méc=1 Trad=2	Unité (**)	Prix location matériel	Unité (**)	Qté Produite (***)	Salariale				familiale	
							Homme		Femme		Homme	Femme
							NJT	Salaire Dh/Jour	NJT	Salaire Dh/Jour	NJT	Salaire Dh/Jour

(*) 1= Moisson- cueillette- arrachage- coupe- fauchage et gaulage, 2= Autre.

(**) 1= Ha, 2= Ql, 3= Tonne, 4= Kg, 5= gramme, 6= Litre, 7= plants, 8= planche, 9= botte, 10= bouquet/robta, 11= Dh.

(***) En cas de vente sur pieds, donner le montant de la vente en Dh à la place de la quantité produite, en mettant le code (11) sur la colonne « unité ».

Annexe 2

Description du modèle élaboré pour le sous bassin de Tadla

1. Les indices du modèle (les ensembles)

Définition des ensembles (SETS)

* -----

SETS

```
RES 'Réservoirs'
/
AEH 'Ahmed El Hansali'
BEO 'Bin El Ouidane'
/
N 'River/canal reaches or nodes'
/
UPAEH 'Apport barrage AEH'
UPBEO 'Apport barrage BEO'
UPCS4 'Apport complexe sourcier zone4'
UPCS5 'Apport complexe sourcier zone5'
UPCS6 'Apport complexe sourcier zone6'
UPCS7 'Apport complexe sourcier zone7'
UPCS8 'Apport complexe sourcier zone8'
UPCS9 'Apport complexe sourcier zone9'
UPCS10 'Apport complexe sourcier zone10'
SAEH 'Sortie du barrage Ahmed el Hansali'
SBEO 'Sortie du barrage Bine El Ouidane'
BENAMI 'Beni Amir'
BENMOU 'Beni Moussa'
CACS4 'Canal complexe sourcier zone4 '
CANA2 'Canal T2 vers le Haouz'
CACS5 'Canal complexe sourcier zone5 '
CACS6 'Canal complexe sourcier zone6 '
CACS7 'Canal complexe sourcier zone7 '
CACS8 'Canal complexe sourcier zone8 '
CACS9 'Canal complexe sourcier zone9 '
CACS10 'Canal complexe sourcier zone10 '
DSTROER 'Noeud downstream pour le sous bassin'
/
;
ALIAS(N_UP, N);
ALIAS(N, N_LO);

SET NUP_N(N_UP, N) 'River node links'
/
UPAEH.SAEH
UPBEO.SBEO
UPCS5.CACS5
UPCS4.CACS4
UPCS6.CACS6
UPCS7.CACS7
UPCS8.CACS8
UPCS9.CACS9
UPCS10.CACS10
SAEH.BENAMI
SAEH.DSTROER
CACS5.DSTROER
BENAMI.DSTROER
CACS4.DSTROER
SBEO.BENMOU
```

Annexes

SBEO.CANA2
BENMOU.DSTROER
SBEO.DSTROER
CACAS7.DSTROER
/

GW 'Groundwater aquifers'

/
GWBM 'Aquifer Beni Moussa'
GWBA 'Aquifer Beni Amir'
GWDR 'Aquifer Dir'
GWDP 'Deep aquifer'

/
SET 'CULT Cultures'

/
Ble_tendre
Ble_dur
Orge
Luzerne
Pois_four
Orge_four
Mais_four
Bersime
MaraP
MaraE
Betterave
Sesame
legumineuses
Agrumes
Olivier
amandier
Grenadier
Noyer
Rosac_Pom

/

;

ALIAS(CULT, CULT2, CULT3);

SETS

SUNITE Sous uunites de communes

/

Afourar	AitTaguella
Aghbala	AitTamlil
AgoudiNLkhair	AlKhalfia
AitAbbas	Anergui
AitBlal	Anzou
AitBouOulli	*BeniMellal
AitMajden	BinElOuidane
AitMHamed	BniAyat
AitOuaarda	BniChegdale
AitOumdis	BniHassane
AitOumElBekht	BniOukil
AitOuqabli	Boutferda

Annexes

Bradia	* Azilal
Bzou	TiffertNAitHamza
DarOZidouh	ZaouiatCheikh
Demnate	/
DirElKsiba	
ElKsiba	
FoumElAneur	Z1(SUNITE) "Beni Amir"
FoumJemaa	/
FoumOudi	FquihBenSalah
FquihBenSalah	AlKhalfia
Guettaya	BniChegdale
HadBoumoussa	BniOukil
HelMerbaa	Bradia
Imlil	HelMerbaa
Isseksi	Krifate
KasbaTadla	OZmam
Krifate	/
MyAissaBenDriss	
Naour	Z2(SUNITE) "Béni Moussa"
OAYad	/
OBourahmoune	Afourar
OGnaou	Rfala
OMBarek	OAYad
ONacer	OGnaou
OSaidLOued	OMBarek
Ouaouizeght	SJaber
Ouaoula	DarOZidouh
OYaich	HadBoumoussa
OYoussef	OBourahmoune
OZmam	ONacer
Rfala	SAissaBenAli
SAissaBenAli	SHammadi
SBoukhalf	Timouilt
Semguet	/
SHammadi	
SJaber	Z3 (SUNITE) "Bour Tadla"
* SoukSONemma	/
SYacoub	KasbaTadla
Tabant	Semguet
Tabaroucht	Guettaya
Tabia	OSaidLOued
Taghzirt	OYaich
Tagleft	OYoussef
TamdaNoumercid	/
Tanant	
Tanougha	Z4 (SUNITE) "Dir Oued Derna"
Taounza	/
TidiliFetouaka	
Tifni	FoumElAneur
Tilougguite	Naour
Timouilt	Taghzirt
Tisqi	Tanougha
TiziNIsly	ZaouiatCheikh
ZaouiatAhansal	
AitMazigh	/

Annexes

Z5 (SUNITE) "Amont du barrage Kasbat Tadla"	/
/	AitAbbas
DirElKsiba	AitBlal
ElKsiba	AitBouOulli
AitOumElBekht	AitMHamed
	Ouaoula
	Tabant
/	/
Z6 (SUNITE) "Amont du barrage BineEelouidane"	Z9 (SUNITE)"Entre barrage hassan 1 er et barrage My Driss"
/	/
AitOuqabli	AitMajden
Anergui	AitMazigh
Isseksi	Demnate
Ouaouizeght	Imlil
Tabaroucht	SBoulkhalf
Tagleft	Tanant
TiffertNAitHamza	Tifni
Tilougguite	/
ZaouiatAhansal	Z10 (SUNITE)"Amont du Barrage My Youssef"
Aghbala	/
Boutferda	AitOumdis
TiziNIsly	AitTamlil
/	Anzou
Z7 (SUNITE) "Aval du barrage BineEelouidane"	SYacoub
/	TidiliFetouaka
BniAyat	/
Timouilt	ZTad(SUNITE) "Tadla"
FoumOudi	/
AgoudiNLkhair	FquihBenSalah
AitOuaarda	AlKhalfia
AitTaguella	BniChegdale
BinElOuidane	BniOukil
Afourar	Bradia
OAYad	HelMerbaa
ONacer	Krifate
BniHassane	OZmam
Bzou	Afourar
FoumJemaa	Rfala
MyAissaBenDriss	OAYad
SAissaBenAli	OGnaou
Tabia	OMBarek
TamdaNoumercid	SJaber
Taounza	DarOZidouh
Tisqi	HadBoumoussa
/	OBourahmoune
Z8 (SUNITE)"Amont du barrage hassan 1 er sur Oued Derna"	ONacer
	SAissaBenAli
	SHammadi

Annexes

KasbaTadla	AitOumElBekht
Semguet	/
Guettaya	;
OSaidLOued	ALIAS(Z1, Z11);
OYaich	ALIAS(Z2, Z22);
OYoussef	ALIAS(Z4, Z44);
FoumElAnceur	ALIAS(Z5, Z55);
Naour	ALIAS(Z6, Z66);
Taghzirt	ALIAS(Z7, Z77);
Tanougha	ALIAS(Z8, Z88);
ZaouiatCheikh	ALIAS(Z9, Z99);
DirElKsiba	ALIAS(Z10, Z100);
ElKsiba	

SET

SIRR 'Mode de conduite selon la source d'eau d'irrigation'

/

GH 'Grande hydraulique'

PMH 'Petite et moyenne hydraulique'

IP 'Irrigation privée'

GHIP 'Grande hydraulique +Irrigation privée '

IPPMH 'Petite et moyenne hydraulique + Irrigation privée'

BOUR 'Agriculture pluviale'

/

;

alias (SIRR,SIRR1,SIRR2) ;

SETS

SIRRI (SIRR)

/

GH

GHIP

/

SIRRP (SIRR)

/

PMH

IPPMH

/

;

alias (SIRRI,SIRRI1,SIRRI2) ;

alias (SIRRP,SIRRP1,SIRRP2) ;

SETS

UTA 'Unites territoriales'

/

UTA11

UTA12

UTA2

UTA3

UTA4

UTA5

/

UTA11

/

AlKhalfia

BniChegdale

BniOukil

Bradia

FquihBenSalah

HelMerbaa

Krifate

OZmam

/

UTA12

/

Annexes

Afourar	BinElOuidane	* -----
BniAyat	BniHassane	-----
DarOZidouh	Demnate	---
FoumOudi	FoumJemaa	
HadBoumoussa	Imlil	SETS
OAyad	MyAissaBenDriss	
OBourahmoune	Ouaouizegth	N_SUNITE(N,SUNITE,SIR
OGnaou	Ouaoula	R) 'Nodes - SUNITE
OMBarek	SBoulkhalf	COMMUNE'
ONacer	SYacoub	/
OYaich	Tabia	BENAMI.FquihBenSalah.G
Rfala	TamdaNoumercid	H
SAissaBenAli	Tanant	BENAMI.FquihBenSalah.G
SHammadi	Taounza	HIP
SJaber	TidiliFetouaka	BENAMI.AIKhalfia.GH
* SoukSONemma	Tifni	BENAMI.AIKhalfia.GHIP
Timouilt	Tisqi	BENAMI.BniChegdale.GH
/	TiziNIsly	BENAMI.BniChegdale.GHI
	/	P
		BENAMI.BniOukil.GH
UTA2	UTA5	BENAMI.BniOukil.GHIP
/	/	BENAMI.Bradia.GH
AitOumElBekht	AitAbbas	BENAMI.Bradia.GHIP
Guettaya	AitBlal	BENAMI.HelMerbaa.GH
KasbaTadla	AitBouOulli	BENAMI.HelMerbaa.GHIP
OSaidLOued	AitMHamed	BENAMI.Krifate.GH
OYoussef	AitOumdis	BENAMI.Krifate.GHIP
Semguet	AitOuqabli	BENAMI.OZmam.GH
/	AitTamlil	BENAMI.OZmam.GHIP
	Anergui	BENMOU.Afourar.GH
	Boutferda	*BENMOU.BniAyat.GH
UTA3	Isseksi	*BENMOU.BniAyat.GHIP
/	Tabant	BENMOU.Rfala.GH
* BeniMellal	Tabaroucht	BENMOU.Rfala.GHIP
Bzou	Tagleft	BENMOU.Timouilt.GH
DirElKsiba	TiffertNAitHamza	BENMOU.Timouilt.GHIP
ElKsiba	Tilougguite	*BENMOU.OAyad
FoumElAnceur	ZaouiatAhansal	BENMOU.OGnaou.GH
Naour	/	BENMOU.OGnaou.GHIP
Taghzirt		BENMOU.OMBarek.GH
Tanougha		BENMOU.OMBarek.GHIP
ZaouiatCheikh	DMM 'Sites de demande en eau municipale'	*BENMOU.OYaich
/	/	BENMOU.SJaber.GH
		BENMOU.SJaber.GHIP
	MBM 'Beni Mellal'	*BENMOU.SoukSONemma
UTA4	MSS 'Souk Sept'	BENMOU.DarOZidouh.GH
/	MFBS 'Fquih ben	BENMOU.DarOZidouh.GH
Aghbala	Saleh'	IP
AgoudiNLkhair	MIND 'zone	BENMOU.HadBoumoussa.
AitMajden	industrielle'	GH
AitMazigh	AZIL 'Azilal'	BENMOU.HadBoumoussa.
AitOuaarda	/	GHIP
AitTaguella	* -----	BENMOU.OBourahmoune.
Anzou	-----	GH
* Azilal	---	

BENMOU.OBourahmoune. GHIP	CACS6.TiziNIsly.IPPMH	GHIP.BniChegdale.BENA MI
BENMOU.ONacer.GH	CACS7.AgoudiNLkhair.PM H	GH.BniOukil.BENAMI
BENMOU.ONacer.GHIP	CACS7.AitOuaarda.PMH	GHIP.BniOukil.BENAMI
BENMOU.SAissaBenAli.G H	CACS7.AitTaguella.PMH	GH.Bradia.BENAMI
BENMOU.SAissaBenAli.G HIP	CACS7.Afourar.PMH	GHIP.Bradia.BENAMI
BENMOU.SHammedi.GH	CACS7.BinElOuidane.PMH	GH.HelMerbaa.BENAMI
BENMOU.SHammedi.GHI P	CACS7.BniHassane.PMH	GHIP.HelMerbaa.BENAMI
*BENMOU.Bradia.GH	CACS7.Bzou.PMH	GH.Krifate.BENAMI
*BENMOU.Bradia.GHIP	*CACS7.FoumJemaa	GHIP.Krifate.BENAMI
BENMOU.HelMerbaa.GH	*CACS7.MyAissaBenDriss	GH.OZmam.BENAMI
BENMOU.HelMerbaa.GHI P	*CACS7.Tabia	GHIP.OZmam.BENAMI
*CACS4.BeniMellal	CACS7.TamdaNoumercid.P MH	GH.Afourar.BENMOU
CACS4.FoumElAnceur.PM H	*CACS7.Taounza	*GH.BniAyat.BENMOU
CACS4.FoumElAnceur.IPP MH	CACS7.Tisqi.PMH	*GHIP.BniAyat.BENMOU
CACS4.Naour.PMH	CACS7.BniAyat.PMH	GH.Rfala.BENMOU
CACS4.Naour.IPPMH	CACS7.BniAyat.IPPMH	GHIP.Rfala.BENMOU
CACS4.Taghzirt.PMH	*CACS7.Rfala	GH.Timoulilt.BENMOU
CACS4.Taghzirt.IPPMH	CACS7.OAyad.IPPMH	GHIP.Timoulilt.BENMOU
CACS4.Tanougha.PMH	CACS7.Timoulilt.PMH	GH.OGnaou.BENMOU
CACS4.Tanougha.IPPMH	CACS7.ONacer.PMH	GHIP.OGnaou.BENMOU
CACS4.ZaouiatCheikh.PM H	CACS7.SAissaBenAli.PMH	GH.OMBarek.BENMOU
CACS7.FoumOudi.PMH	CACS8.AitAbbas.PMH	GHIP.OMBarek.BENMOU
*CACS4.SJaber	CACS8.AitBlal.PMH	GH.SJaber.BENMOU
*CACS4.OYaich	CACS8.AitBouOulli.PMH	GHIP.SJaber.BENMOU
CACS5.DirElKsiba.PMH	CACS8.AitMHamed.PMH	GH.DarOZidouh.BENMOU
CACS5.DirElKsiba.IPPMH	CACS8.AitMHamed.PMH	GHIP.DarOZidouh.BENMO U
CACS5.AitOumElBekht.P MH	CACS8.Ouaoula.PMH	GH.HadBoumoussa.BENM OU
CACS5.AitOumElBekht.IP PMH	CACS8.Tabant.PMH	GHIP.HadBoumoussa.BEN MOU
CACS5.ElKsiba.PMH	CACS9.AitMajden.PMH	GH.OBourahmoune.BENM OU
CACS5.ElKsiba.IPPMH	*CACS9.AitMazigh.PMH	GHIP.OBourahmoune.BEN MOU
*CACS5.KasbaTadla	CACS9.Demnate.PMH	GH.ONacer.BENMOU
*CACS5.Semguet	CACS9.Imlil.PMH	GHIP.ONacer.BENMOU
*CACS6.AitOuqabli	CACS9.SBoukhalf.PMH	GH.SAissaBenAli.BENMO U
CACS6.Anergui.PMH	CACS9.Tanant.PMH	GHIP.SAissaBenAli.BENM OU
CACS6.Isseksi.PMH	CACS9.Tifni.PMH	GH.SHammadi.BENMOU
CACS6.Ouaouizeght.PMH	CACS10.AitOumdis.PMH	GHIP.SHammadi.BENMO U
CACS6.Tabaroucht.PMH	CACS10.AitTamlil.PMH	*GH.Bradia.BENMOU
CACS6.Tagleft.PMH	CACS10.Anzou.PMH	*GHIP.Bradia.BENMOU
*CACS6.TiffertNAitHamza	CACS10.SYacoub.PMH	GH.HelMerbaa.BENMOU
CACS6.Tilougguite.PMH	CACS10.TidiliFetouaka.PM H	GHIP.HelMerbaa.BENMO U
CACS6.ZaouiatAhansal.PM H	/	PMH.FoumElAnceur.CACS 4
CACS6.Aghbala.PMH	SUNITE_N(SIRR,SUNITE, N) 'SUNITE - nodes'	IPPMH.FoumElAnceur.CA CS4
CACS6.Boutferda.PMH	/	PMH.Naour.CACS4
CACS6.TiziNIsly.PMH	GH.FquihBenSalah.BENA MI	
	GHIP.FquihBenSalah.BEN AMI	
	GH.AIKhalfia.BENAMI	
	GHIP.AIKhalfia.BENAMI	
	GH.BniChegdale.BENAMI	

IPPMH.Naour.CACS4	PMH.Tanant.CACS9	BniAyat.PMH
PMH.TaGHzirt.CACS4	PMH.Tifni.CACS9	* BniAyat.GHIP
IPPMH.TaGHzirt.CACS4	PMH.AitOumdis.CACS10	BniAyat.IPPMH
PMH.TanouGHa.CACS4	PMH.AitTamlil.CACS10	BniAyat.BOUR
IPPMH.TanouGHa.CACS4	PMH.Anzou.CACS10	BniChegdale.GH
PMH.ZaouiatCheikh.CACS	PMH.SYacoub.CACS10	BniChegdale.IP
4	PMH.TidiliFetouaka.CACS	BniChegdale.GHIP
PMH.FoumOudi.CACS7	10	BniChegdale.BOUR
PMH.DirElKsiba.CACS5	/	BniHassane.PMH
IPPMH.DirElKsiba.CACS5	SUNITE_SIRR(SUNITE,SI	BniHassane.BOUR
PMH.ElKsiba.CACS5	RR) 'Relation entre	BniOukil.GH
IPPMH.ElKsiba.CACS5	commune et SIRR'	BniOukil.GHIP
IPPMH.AitOumElBekht.CA	/	BniOukil.BOUR
CS5	Afourar.GH	Boutferda.PMH
PMH.AitOumElBekht.CAC	Afourar.PMH	Boutferda.BOUR
S5	Afourar.BOUR	Bradia.GH
PMH.Anergui.CACS6	AGHbala.PMH	Bradia.IP
PMH.Isseksi.CACS6	AGHbala.BOUR	Bradia.GHIP
PMH.OuaouizeGHt.CACS6	AgoudiNLkhair.PMH	Bradia.BOUR
PMH.Tabaroucht.CACS6	AgoudiNLkhair.BOUR	Bzou.PMH
PMH.Tagleft.CACS6	AitAbbas.PMH	Bzou.BOUR
PMH.Tilougguite.CACS6	AitAbbas.BOUR	DarOZidouh.GH
PMH.ZaouiatAhansal.CAC	AitBlal.PMH	DarOZidouh.IP
S6	AitBlal.BOUR	DarOZidouh.GHIP
PMH.AGHbala.CACS6	AitBouOulli.PMH	DarOZidouh.BOUR
PMH.Boutferda.CACS6	AitBouOulli.BOUR	Demnate.PMH
PMH. TiziNIsly.CACS6	AitMajden.PMH	Demnate.BOUR
IPPMH.TiziNIsly.CACS6	AitMajden.BOUR	DirElKsiba.PMH
PMH.AgoudiNLkhair.CAC	AitMazigh.BOUR	DirElKsiba.IP
S7	AitMHamed.PMH	DirElKsiba.IPPMH
PMH.AitOuaarda.CACS7	AitMHamed.BOUR	DirElKsiba.BOUR
PMH.AitTaguella.CACS7	AitOuaarda.PMH	ElKsiba.PMH
PMH.Afourar.CACS7	AitOuaarda.BOUR	ElKsiba.IP
PMH.BinElOuidane.CACS7	AitOumdis.PMH	ElKsiba.IPPMH
PMH.BniHassane.CACS7	AitOumdis.BOUR	ElKsiba.BOUR
PMH.Bzou.CACS7	AitOumElBekht.PMH	FoumElAnceur.PMH
PMH.TamdaNoumercid.CA	AitOumElBekht.IPPMH	FoumElAnceur.IP
CS7	AitOumElBekht.BOUR	FoumElAnceur.IPPMH
PMH.Tisqi.CACS7	AitOuqabli.BOUR	FoumElAnceur.BOUR
PMH.BniAyat.CACS7	AitTaguella.PMH	FoumJemaa.BOUR
IPPMH.BniAyat.CACS7	AitTaguella.BOUR	FoumOudi.PMH
IPPMH.OAyad.CACS7	AitTamlil.PMH	FoumOudi.BOUR
PMH.Timoulilt.CACS7	AitTamlil.BOUR	FquihBenSalah.GH
PMH.ONacer.CACS7	AlKhalfia.GH	FquihBenSalah.GHIP
PMH.SAissaBenAli.CACS7	AlKhalfia.IP	FquihBenSalah.BOUR
PMH.AitAbbas.CACS8	AlKhalfia.GHIP	Guettaya.IP
PMH.AitBlal.CACS8	AlKhalfia.BOUR	Guettaya.BOUR
PMH.AitBouOulli.CACS8	Anergui.PMH	HadBoumoussa.GH
PMH.AitMHamed.CACS8	Anergui.BOUR	HadBoumoussa.IP
PMH.Ouaoula.CACS8	Anzou.PMH	HadBoumoussa.GHIP
PMH.Tabant.CACS8	Anzou.BOUR	HadBoumoussa.BOUR
PMH.AitMajden.CACS9	BinElOuidane.PMH	HelMerbaa.GH
PMH.Demnate.CACS9	BinElOuidane.BOUR	HelMerbaa.GHIP
PMH.Imlil.CACS9	* BniAyat.GH	HelMerbaa.BOUR
PMH.SBoulkhalf.CACS9		Imlil.PMH

Imlil.BOUR	SHammadi.GH	AGHbala.PMH
Isseksi.PMH	SHammadi.GHIP	AgoudiNLkhair.PMH
Isseksi.BOUR	SJaber.GH	AitAbbas.PMH
KasbaTadla.IP	SJaber.GHIP	AitBlal.PMH
KasbaTadla.BOUR	SJaber.BOUR	AitBouOulli.PMH
Krifate.GH	SYacoub.PMH	AitMajden.PMH
Krifate.IP	SYacoub.BOUR	AitMHamed.PMH
Krifate.GHIP	Taghzirt.PMH	AitOuaarda.PMH
Krifate.BOUR	Taghzirt.IP	AitOumdis.PMH
MyAissaBenDriss.BOUR	Taghzirt.IPPMH	AitOumElBekht.PMH
Naour.PMH	Taghzirt.BOUR	AitOumElBekht.IPPMH
Naour.IP	Tabant.PMH	AitTaguella.PMH
Naour.IPPMH	Tabant.BOUR	AiTamlil.PMH
Naour.BOUR	Tabaroucht.PMH	AlKhalfia.GH
Obourahmoune.GH	Tabaroucht.BOUR	AlKhalfia.IP
Obourahmoune.IP	Tabia.BOUR	AlKhalfia.GHIP
Obourahmoune.GHIP	Tagleft.PMH	Anergui.PMH
Obourahmoune.BOUR	Tagleft.BOUR	Anzou.PMH
OAYad.IPPMH	TamdaNoumercid.PMH	BinElOuidane.PMH
OGnaou.GH	TamdaNoumercid.BOUR	* BniAyat.GH
OGnaou.GHIP	Tanant.PMH	BniAyat.PMH
OMBarek.GH	Tanant.BOUR	* BniAyat.GHIP
OMBarek.GHIP	Tanougha.PMH	BniAyat.IPPMH
OMBarek.BOUR	Tanougha.IP	BniChegdale.GH
ONacer.GH	Tanougha.IPPMH	BniChegdale.IP
ONacer.PMH	Tanougha.BOUR	BniChegdale.GHIP
ONacer.IP	Taounza.BOUR	BniHassane.PMH
ONacer.GHIP	TidiliFetouaka.PMH	BniOukil.GH
ONacer.BOUR	TidiliFetouaka.BOUR	BniOukil.GHIP
OSaidLOued.IP	TiffertNAitHamza.BOUR	Boutferda.PMH
OSaidLOued.BOUR	Tifni.PMH	Bradia.GH
Ouaouizeght.PMH	Tifni.BOUR	Bradia.IP
Ouaouizeght.BOUR	Tilougguite.PMH	Bradia.GHIP
Ouaoula.PMH	Tilougguite.BOUR	Bzou.PMH
Ouaoula.BOUR	Timoulilt.GH	DarOZidouh.GH
OYaich.IP	Timoulilt.PMH	DarOZidouh.IP
OYaich.BOUR	Timoulilt.GHIP	DarOZidouh.GHIP
OYoussef.IP	Timoulilt.BOUR	Demnate.PMH
OYoussef.BOUR	Tisqi.PMH	DirElKsiba.PMH
OZmam.GH	Tisqi.BOUR	DirElKsiba.IP
OZmam.IP	TiziNIsly.PMH	DirElKsiba.IPPMH
OZmam.GHIP	TiziNIsly.IPPMH	ElKsiba.PMH
OZmam.BOUR	TiziNIsly.BOUR	ElKsiba.IP
Rfala.GH	ZaouiatAhansal.PMH	ElKsiba.IPPMH
Rfala.GHIP	ZaouiatAhansal.BOUR	FoumElAnceur.PMH
Rfala.BOUR	ZaouiatCheikh.PMH	FoumElAnceur.IP
SAissaBenAli.GH	ZaouiatCheikh.BOUR	FoumElAnceur.IPPMH
SAissaBenAli.PMH	/	FoumOudi.PMH
SAissaBenAli.IP	SUNIT2_SIRR(SUNITE,SI	FquihBenSalah.GH
SAissaBenAli.GHIP	RR) 'Relation entre	FquihBenSalah.GHIP
SAissaBenAli.BOUR	commune et source	Guettaya.IP
SBoulkhalf.PMH	dirrigation'	HadBoumoussa.GH
SBoulkhalf.BOUR	/	HadBoumoussa.IP
Semguet.IP	Afourar.GH	HadBoumoussa.GHIP
Semguet.BOUR	Afourar.PMH	HelMerbaa.GH

HelMerbaa.GHIP	Tifni.PMH	ElKsiba.PMH
Imlil.PMH	Tilougguite.PMH	ElKsiba.IPPMH
Isseksi.PMH	Timouilt.GH	FoumElAnceur.PMH
KasbaTadla.IP	Timouilt.PMH	FoumElAnceur.IPPMH
Krifate.GH	Timouilt.GHIP	FoumOudi.PMH
Krifate.IP	Tisqi.PMH	FquihBenSalah.GH
Krifate.GHIP	TiziNIsly.PMH	FquihBenSalah.GHIP
Naour.PMH	TiziNIsly.IPPMH	HadBoumoussa.GH
Naour.IP	ZaouiatAhansal.PMH	HadBoumoussa.GHIP
Naour.IPPMH	ZaouiatCheikh.PMH	HelMerbaa.GH
Obourahmoune.GH	/	HelMerbaa.GHIP
Obourahmoune.IP		Imlil.PMH
Obourahmoune.GHIP	SUNIT1_SIRR(SUNITE,SI	Isseksi.PMH
OAyad.IPPMH	RR) 'Relation entre	Krifate.GH
OGnaou.GH	commune et source	Krifate.GHIP
OGnaou.GHIP	d'irrigation de surface'	Naour.PMH
OMBarek.GH	/	Naour.IPPMH
OMBarek.GHIP	Afourar.GH	Obourahmoune.GH
ONacer.GH	Afourar.PMH	Obourahmoune.GHIP
ONacer.PMH	AGHbala.PMH	OAyad.IPPMH
ONacer.IP	AgoudiNLkhair.PMH	OGnaou.GH
ONacer.GHIP	AitAbbas.PMH	OGnaou.GHIP
OSaidLOued.IP	AitBlal.PMH	OMBarek.GH
Ouaouizeght.PMH	AitBouOulli.PMH	OMBarek.GHIP
Ouaoula.PMH	AitMajden.PMH	ONacer.GH
OYaich.IP	AitMHamed.PMH	ONacer.PMH
OYoussef.IP	AitOuaarda.PMH	ONacer.GHIP
OZmam.GH	AitOumdis.PMH	Ouaouizeght.PMH
OZmam.IP	AitOumElBekht.PMH	Ouaoula.PMH
OZmam.GHIP	AitOumElBekht.IPPMH	OZmam.GH
Rfala.GH	AitTaguella.PMH	OZmam.GHIP
Rfala.GHIP	AitTamlil.PMH	Rfala.GH
SAissaBenAli.GH	AlKhalfia.GH	Rfala.GHIP
SAissaBenAli.PMH	AlKhalfia.GHIP	SAissaBenAli.GH
SAissaBenAli.IP	Anergui.PMH	SAissaBenAli.PMH
SAissaBenAli.GHIP	Anzou.PMH	SAissaBenAli.GHIP
SBoulkhalf.PMH	BinElOuidane.PMH	SBoulkhalf.PMH
Semguet.IP	* BniAyat.GH	SHammadi.GH
SHammadi.GH	BniAyat.PMH	SHammadi.GHIP
SHammadi.GHIP	* BniAyat.GHIP	SJaber.GH
SJaber.GH	BniAyat.IPPMH	SJaber.GHIP
SJaber.GHIP	BniChegdale.GH	SYacoub.PMH
SYacoub.PMH	BniChegdale.GHIP	Taghzirt.PMH
Taghzirt.PMH	BniHassane.PMH	Taghzirt.IPPMH
Taghzirt.IP	BniOukil.GH	Tabant.PMH
Taghzirt.IPPMH	BniOukil.GHIP	Tabaroucht.PMH
Tabant.PMH	Boutferda.PMH	Tagleft.PMH
Tabaroucht.PMH	Bradia.GH	TamdaNoumercid.PMH
Tagleft.PMH	Bradia.GHIP	Tanant.PMH
TamdaNoumercid.PMH	Bzou.PMH	Tanougha.PMH
Tanant.PMH	DarOZidouh.GH	Tanougha.IPPMH
Tanougha.PMH	DarOZidouh.GHIP	TidiliFetouaka.PMH
Tanougha.IP	Demnate.PMH	Tifni.PMH
Tanougha.IPPMH	DirElKsiba.PMH	Tilougguite.PMH
TidiliFetouaka.PMH	DirElKsiba.IPPMH	Timouilt.GH

Timouilt.PMH	MyAissaBenDriss.BOUR	GWBA.GWDR
Timouilt.GHIP	Naour.BOUR	GWDR.GWDP
Tisqi.PMH	Obourahmoune.BOUR	GWDP.GWBM
TiziNIsly.PMH	OMBarek.BOUR	/
TiziNIsly.IPPMH	ONacer.BOUR	;
ZaouiatAhansal.PMH	OSaidLOued.BOUR	
ZaouiatCheikh.PMH	Ouaouizeght.BOUR	GW_GW2(GW,GW2) =
/	Ouaoula.BOUR	NO;
SUNIT3_SIRR(SUNITE,SI	OYaich.BOUR	
RR) 'Relation entre	OYoussef.BOUR	SET
commune et SIRR'	OZmam.BOUR	
/	Rfala.BOUR	
Afourar.BOUR	SAissaBenAli.BOUR	GW_SUNITE(GW,SUNITE
AGHbala.BOUR	SBoulkhalf.BOUR	,SIRR) 'Aquifers - SUNITE
AgoudiNLkhair.BOUR	Semguet.BOUR	COMMUNE'
AitAbbas.BOUR	SJaber.BOUR	/
AitBlal.BOUR	SYacoub.BOUR	
AitBouOulli.BOUR	Taghzirt.BOUR	GWBA.FquihBenSalah.IP
AitMajden.BOUR	Tabant.BOUR	GWBA.FquihBenSalah.GHIP
AitMazigh.BOUR	Tabaroucht.BOUR	P
AitMHamed.BOUR	Tabia.BOUR	GWBA.AIKhalfia.IP
AitOuaarda.BOUR	Tagleft.BOUR	GWBA.AIKhalfia.GHIP
AitOumdis.BOUR	TamdaNoumercide.BOUR	GWBA.BniChegdale.IP
AitOumElBekht.BOUR	Tanant.BOUR	GWBA.BniChegdale.GHIP
AitOuqabli.BOUR	Tanougha.BOUR	GWBA.BniOukil.GHIP
AitTaguella.BOUR	Taounza.BOUR	GWBA.Bradia.IP
AitTamlil.BOUR	TidiliFetouaka.BOUR	GWBA.Bradia.GHIP
AIKhalfia.BOUR	TiffertNAitHamza.BOUR	GWBA.HelMerbaa.GHIP
Anergui.BOUR	Tifni.BOUR	GWBA.Krifate.IP
Anzou.BOUR	Tilougguite.BOUR	GWBA.Krifate.GHIP
BinElOuidane.BOUR	Timouilt.BOUR	GWBA.OZmam.IP
BniAyat.BOUR	Tisqi.BOUR	GWBA.OZmam.GHIP
BniChegdale.BOUR	TiziNIsly.BOUR	*GWBM.Afourar
BniHassane.BOUR	ZaouiatAhansal.BOUR	*GWBM.BniAyat.GHIP
BniOukil.BOUR	ZaouiatCheikh.BOUR	GWBM.BniAyat.IPPMH
Boutferda.BOUR	/	GWBM.Rfala.GHIP
Bradia.BOUR	;	GWBM.Timouilt.GHIP
Bzou.BOUR	SET	*GWBM.FoumOudi
DarOZidouh.BOUR	GW_GW2(GW,GW2)	GWBM.OAyad.IPPMH
Demnate.BOUR	'Aquifers - DSTR aquifers'	GWBM.OGnaou.GHIP
DirElKsiba.BOUR	* --- The exact links are not	GWBM.OMBarek.GHIP
ElKsiba.BOUR	certain!	GWBM.OYaich.IP
FoumElAnceur.BOUR	/	GWBM.SJaber.GHIP
FoumJemaa.BOUR	* --- AK67: I CREATED A	*GWBM.SoukSONemma
FoumOudi.BOUR	STRING OF AQUIFERS,	GWBM.DarOZidouh.IP
FquihBenSalah.BOUR	THE LAST BEIN GWBM.	GWBM.DarOZidouh.GHIP
Guettaya.BOUR	THIS IS THEN	GWBM.HadBoumoussa.IP
HadBoumoussa.BOUR	DISCHARGING INTO	GWBM.HadBoumoussa.GHIP
HelMerbaa.BOUR	DSTR (SEE BELOW)	IP
Imlil.BOUR	* --- I DONT KNOW IF	GWBM.OBourahmoune.IP
Isseksi.BOUR	THIS IS REALISTIC; IT IS	GWBM.OBourahmoune.GHIP
KasbaTadla.BOUR	ONLY SUPPOSED TO	IP
Krifate.BOUR	MAKE THE MODEL	GWBM.ONacer.IP
	FEASIBLE	GWBM.ONacer.GHIP
		GWBM.SAissaBenAli.IP

Annexes

```

GWBM.SAissaBenAli.GHI
P
GWBM.SHammedi.GHIP
GWDP.AitOumElBekht.IPP
MH
GWDP.OYaich.IP
GWDP.FoumElAnceur.IP
GWDP.Guettaya.IP
GWDP.Naour.IPPMH
GWDP.Naour.IP
GWDP.OSaidLOued.IP
GWDP.OYoussef.IP
GWDP.Taghzirt.IP
GWDP.Taghzirt.IPPMH
GWDP.Tanougha.IP
GWDP.Tanougha.IPPMH
GWDP.DirElKsiba.IP
GWDP.DirElKsiba.IPPMH
GWDP.ElKsiba.IP
GWDP.ElKsiba.IPPMH
GWDP.KasbaTadla.IP
GWDP.Semguet.IP
GWDP.TiziNIsly.IPPMH
* ZaouiatCheikh
*GWDR.BeniMellal
GWDR.FoumElAnceur.IP
GWDR.FoumElAnceur.IPP
MH
GWDR.Guettaya.IP
GWDR.Naour.IP
GWDR.Naour.IPPMH
GWDR.OSaidLOued.IP
GWDR.OYoussef.IP
GWDR.Taghzirt.IP
GWDR.Taghzirt.IPPMH
GWDR.Tanougha.IP
GWDR.Tanougha.IPPMH
GWDR.DirElKsiba.IP
GWDR.DirElKsiba.IPPMH
GWDR.ElKsiba.IP
GWDR.ElKsiba.IPPMH
GWDR.KasbaTadla.IP
GWDR.Semguet.IP
/

* --- Link aquifers to
municipal demand sites

GW_DMM(GW,DMM)
'Aquifers - municipalities'
/
GWBM.MSS
GWBA.MFBS
GWDR.MBM

GWDP.(MFBS,MSS,MBM,
AZIL)
/
* --- Link groundwater -
river (Zuordnung zum
naechsten Knoten?)

GW_N(GW,N) 'Aquifers -
nodes'
/
GWBA.DSTROER
GWDR.DSTROER
GWBM.DSTROER
GWDP.DSTROER
/

N_GW(N,GW) 'Nodes-
aquifer'
/
BENMOU.GWBM
BENAMI.GWBA
CAC4S.GWDR
CAC5S.GWDR
/

* --- Link river node to
reservoir

N_RES(N,RES) 'River
inflows - reservoirs'
/
UPAEH.AEH
UPBEO.BEO
/

* --- Link reservoir to river
reach

RES_N(RES, N)
'Reservoirs - river outflows'
/
AEH.SAEH
BEO.SBEO
/

;

set PD 'Les mois'
/ SEP 'SEPTEMBER'
OCT 'OCTOBER'
NOV 'NOVEMBER'
DEC 'DECEMBER'
JAN 'JANUARY'
FEB 'FEBRUARY'
MAR 'MARCH'
APR 'APRIL'
MAY 'MAY'
JUN 'JUNE'
JUL 'JULY'
AUG 'AUGUST' /

INIT 'INITIAL'
AN0 'Annee 2014'
AN1 'Annee 2015'
AN2 'Annee 2016'
AN3 'Annee 2017'
AN4 'Annee 2018'
AN5 'Annee 2019'
AN6 'Annee 2020'
AN7 'Annee 2021'
AN8 'Annee 2022'
AN9 'Annee 2023'
AN10 'Annee 2024'
AN11 'Annee 2025'
AN12 'Annee 2026'
AN13 'Annee 2027'
AN14 'Annee 2028'
AN15 'Annee 2029'
AN16 'Annee 2030'
AN17 'Annee 2031'
AN18 'Annee 2032'
AN19 'Annee 2033'
AN20 'Annee 2034'
AN21 'Annee 2035'
AN22 'Annee 2036'
AN23 'Annee 2037'
AN24 'Annee 2038'
AN25 'Annee 2039'
AN26 'Annee 2040'
AN27 'Annee 2041'
AN28 'Annee 2042'
AN29 'Annee 2043'
AN30 'Annee 2044'
AN31 'Annee 2045'
AN32 'Annee 2046'
AN33 'Annee 2047'
AN34 'Annee 2048'
AN35 'Annee 2049'
AN36 'Annee 2050'
/

```

Annexes

;

ALIAS(PD,PD2,PD3);

SET CULT_PD(CULT,PD)
'calendrier des cultures'
/

Luzerne.SEP
Mais_four.SEP
Bersime.SEP
MaraE.SEP
Sesame.SEP
Agrumes.SEP
Olivier.SEP
amandier.SEP
Grenadier.SEP
Noyer.SEP
Rosac_Pom.SEP

Luzerne.OCT
Pois_four.OCT
Orge_four.OCT
Mais_four.OCT
Bersime.OCT
MaraE.OCT
Betterave.OCT
Sesame.OCT
Agrumes.OCT
Olivier.OCT
amandier.OCT
Grenadier.OCT
Noyer.OCT
Rosac_Pom.OCT

Ble_tendre.NOV
Ble_dur.NOV
Orge.NOV
Luzerne.NOV
Pois_four.NOV
Orge_four.NOV
Mais_four.NOV
Bersime.NOV
MaraE.NOV
Betterave.NOV
legumineuses.NOV
Agrumes.NOV
Olivier.NOV
amandier.NOV
Grenadier.NOV
Noyer.NOV
Rosac_Pom.NOV

Ble_tendre.DEC
Ble_dur.DEC
Orge.DEC

Luzerne.DEC
Pois_four.DEC
Orge_four.DEC
Bersime.DEC
Betterave.DEC
legumineuses.DEC
Agrumes.DEC
Olivier.DEC
amandier.DEC
Grenadier.DEC
Noyer.DEC
Rosac_Pom.DEC

Ble_tendre.JAN
Ble_dur.JAN
Orge.JAN
Luzerne.JAN
Pois_four.JAN
Orge_four.JAN
Betterave.JAN
legumineuses.JAN
Agrumes.JAN
Olivier.JAN
amandier.JAN
Grenadier.JAN
Noyer.JAN
Rosac_Pom.JAN

Ble_tendre.FEB
Ble_dur.FEB
Orge.FEB
Luzerne.FEB
Pois_four.FEB
Orge_four.FEB
MaraP.FEB
Betterave.FEB
legumineuses.FEB
Agrumes.FEB
Olivier.FEB
amandier.FEB
Grenadier.FEB
Noyer.FEB
Rosac_Pom.FEB

Ble_tendre.MAR
Ble_dur.MAR
Orge.MAR
Luzerne.MAR
Pois_four.MAR
Orge_four.MAR
MaraP.MAR
Betterave.MAR
legumineuses.MAR
Agrumes.MAR
Olivier.MAR

amandier.MAR
Grenadier.MAR
Noyer.MAR
Rosac_Pom.MAR

Ble_tendre.APR
Ble_dur.APR
Orge.APR
Luzerne.APR
Pois_four.APR
Orge_four.APR
MaraP.APR
Betterave.APR
legumineuses.APR
Agrumes.APR
Olivier.APR
amandier.APR
Grenadier.APR
Noyer.APR
Rosac_Pom.APR

Ble_tendre.MAY
Ble_dur.MAY
Orge.MAY
Luzerne.MAY
Orge_four.MAY
MaraP.MAY
Betterave.MAY
legumineuses.MAY
Agrumes.MAY
Olivier.MAY
amandier.MAY
Grenadier.MAY
Noyer.MAY
Rosac_Pom.MAY

Ble_tendre.JUN
Ble_dur.JUN
Orge.JUN
Luzerne.JUN
MaraP.JUN
Betterave.JUN
Agrumes.JUN
Olivier.JUN
amandier.JUN
Grenadier.JUN
Noyer.JUN
Rosac_Pom.JUN

Luzerne.JUL
Mais_four.JUL
MaraP.JUL
MaraE.JUL
Sesame.JUL
Agrumes.JUL

Annexes

Olivier.JUL
amandier.JUL
Grenadier.JUL
Noyer.JUL
Rosac_Pom.JUL

Luzerne.AUG
Mais_four.AUG
MaraE.AUG
Sesame.AUG
Agrumes.AUG
Olivier.AUG
amandier.AUG
Grenadier.AUG
Noyer.AUG
Rosac_Pom.AUG
/
;

SET PROF 'Production
factors'
/
SEME 'semence in
T/ha'
ENGR 'Engrais'
PDPH 'Produits
phytosanitaires'
MECA 'Mecanisation'
LABO 'Main œuvre'
LAND 'Valeur locative
de la terre'
*TRSP 'Transport'
/
;

