

Quand l'eau n'est plus un don du ciel: Un MEGC appliqué au Maroc*

Bernard Decaluwé[†]
André Patry[†]
Luc Savard[†]

Cahier de recherche 9716
Département d'économie
Université Laval

Cahier de recherche 97-18
Centre de Recherche en Économie et Finance Appliquées
CRÉFA

Décembre 1997

DÉPARTEMENT D'ÉCONOMIQUE
Faculté des Sciences Sociales

*Nous aimerions remercier le Programme PARADI pour son support financier ainsi que Y. Surry, G. Leblanc, T. Muller et le GREI de l'Université Mohammed V pour leurs précieux commentaires.

[†]Département d'Économie et Centre de Recherche en Économie et Finance Appliquées, Université Laval, Cité Universitaire, Québec, Canada G1K 7P4.

Résumé

L'eau est devenue une ressource naturelle précieuse dans la plupart des régions du monde. Avec une croissance phénoménale de la demande, les gouvernements des pays au prise avec cette rareté nouvelle ont tenté d'y faire face en augmentant la capacité de stockage de l'or blanc. Depuis le début de cette décennie, ces gouvernements semblent changer de cap en s'orientant vers une meilleure gestion de la demande afin de rationaliser l'utilisation de la ressource. Cependant, une augmentation drastique du prix chargé aux agriculteurs pourrait avoir des conséquences néfastes sur les secteurs agricoles et se répercuter sur le niveau de vie des ménages agricoles qui représentent une large part de la population active. Nous pensons que toute nouvelle grille tarifaire devrait être étudiée en prenant conscience des répercussions directes et indirectes qu'elle pourrait avoir sur l'ensemble de l'économie et sur le secteur agricole en particulier. Afin de capter ces effets d'interdépendance, nous utilisons un modèle d'équilibre général calculable (MEGC). Avec l'aide de cet outil, nous étudions également l'impact d'une sécheresse sur l'ensemble de l'économie dans ce cahier de recherche.

Abstract

Water has become a precious resource in most regions of the world. The unrelentless increase in its demand over the years forced governments to significantly increase their country's resource storage capabilities. Public investments were reallocated into the construction of infrastructures such as dams and wells. However, the governments occupied by the scarcity crisis are now reassessing their water management policies due to the mounting costs of these infrastructures. This change of action emphasizes on a better management of the demand for water. These water management reforms often implies an increase in the prices of agricultural water. However, a drastic increase in the agricultural water prices could have negative impacts on the agricultural sector and consequently on the rural households, which represents an important part of the labor force in developing countries. Hence, the pricing instrument should be applied cautiously. The direct and indirect effects that this instrument could induce on the economy should be considered with great importance. To capture these general equilibrium effects generated by new water tariffs, we use a computable general equilibrium (CGE) model. The effect of a drought on the economy is also analyzed through a general equilibrium framework in this working paper.

1 Introduction

Dans la majorité des pays à climat aride ou semi-aride, la production, le traitement et la distribution de l'eau ont toujours été au centre des préoccupations des collectivités et des autorités gouvernementales. L'eau, source de vie et de richesse, fait l'objet d'une attention particulière puisque sa rareté relative force les utilisateurs, c'est-à-dire les ménages, les industriels et surtout les agriculteurs à se partager une ressource dont ils ont tous cruellement besoin. Afin de réduire cette dépendance et de satisfaire d'une façon régulière les besoins des particuliers et des collectivités, les autorités gouvernementales ont été forcées de consacrer des investissements importants pour accroître la production d'eau et veiller à sa distribution entre tous les utilisateurs. Les économistes ont souvent été sollicités afin d'étudier la rentabilité de tels investissements puisqu'ils y trouvaient un champ naturel d'application de leurs instruments d'analyse. En général, ils se sont limités à effectuer des calculs d'analyse bénéfice-coût pour déterminer le niveau approprié d'investissement ou étudier le niveau de la redevance que les utilisateurs devraient être invités à payer afin de rentabiliser des investissements coûteux.

D'autre part, considérant bien souvent l'eau comme un bien public, les utilisateurs, en particulier les producteurs agricoles, se sont souvent objectés à l'imposition d'une redevance pensant que, si elle doit exister, celle-ci doit être minimale. Ils pensent que les coûts inhérents à la construction de barrages et au développement et à l'entretien des réseaux de distribution d'eau devraient être pris en charge par l'État et que tous les utilisateurs devraient avoir libre accès à cette ressource. Des politiques de gestion de la demande par le biais d'une régulation par les prix ne sont donc pas populaires. C'est pourquoi qu'on constate dans la majorité des pays que le cœur de la problématique se situe au niveau du prix de l'eau et en particulier au niveau de la redevance souvent dérisoire imposée aux producteurs agricoles.

En général, le prix de l'eau d'irrigation est beaucoup moins élevé que la redevance réclamée aux ménages urbains ou aux utilisateurs industriels. Lorsqu'elle existe, cette redevance est minimale et ne couvre en général qu'une fraction négligeable du coût de production ou de la valeur économique de cette ressource. Ces distorsions dans la structure des prix conduisent nécessairement à un usage sous optimal de la ressource.

La plupart des études qui ont abordé la problématique de l'eau sous l'angle d'une meilleure gestion de la demande ont étudié les questions de ta-

rification du simple point de vue d'une analyse en équilibre partiel en évitant ainsi de prendre en considération les mécanismes d'interdépendance générale et les effets de rétroaction des décisions des agents sur la structure de la production et de la demande. Nous croyons que cette vision est réductrice et nous nous proposons de montrer que l'étude des conséquences d'une nouvelle tarification de l'eau sur l'allocation des ressources et le bien-être collectif doit se faire dans un cadre d'équilibre général afin de bien saisir les relations d'interdépendance qui existent entre les agents. Pour illustrer notre propos, nous avons construit un modèle d'équilibre général calculable (MEGC) qui capte d'une manière adéquate les caractéristiques particulières de ce secteur. Nous avons choisi d'étudier cette problématique sur le Maroc. Le Maroc fait face à des problèmes récurrents de pénurie d'eau et est au prise avec une quantité de ressources hydrauliques décroissante ainsi qu'avec des distorsions considérables dans son allocation entre les usagers. Le cas du Maroc est un reflet de la problématique de gestion de l'eau dans cette région et l'approche que nous proposons pourrait éventuellement être adaptée à d'autres pays, en tenant compte de leur situation particulière.

2 Situation actuelle

Depuis plusieurs années, les autorités marocaines ont été forcées de placer la problématique de l'eau au centre de leur préoccupation. Un accroissement démographique excessif et persistant, une urbanisation croissante et des inégalités accentuées dans l'économie marocaine, telles que les subventions au secteur agricole, sont quelques-uns des facteurs qui intensifient les pressions sur l'offre de l'eau.

Les ressources hydrauliques renouvelables du pays résultent d'une pluviométrie moyenne de 150 milliards m^3 par année. De ces précipitations, 30 milliards m^3 forment la pluviométrie efficace du pays. Cette pluie peut ruisseler dans les cours d'eau ou s'infiltrer jusqu'aux nappes phréatiques. Le volume de la pluviométrie efficace qui ruisselle dans les cours d'eau s'élève à 20 milliards de m^3 , alors que le volume qui s'infiltré se chiffre à 10 milliards de m^3 .¹ Dans des conditions économiques et techniques favorables 16 milliards

¹Mriouah, Driss (1992), *Planification des ressources en eau au Maroc*, *Revue canadienne d'études du développement*, numéro spécial.

m³ d'eau de surface et 5 milliards m³ d'eau souterraine sont actuellement mobilisables.²

La variabilité spatiale du climat engendre des disparités importantes dans les apports en eaux des différentes régions. Nous pouvons répartir les diverses zones du pays en deux régions: le Nord et le Sud. Le Nord représente la région la plus favorisée alors que le Sud est la région la plus dépourvue en eau. On retrouve dans le Nord: la zone Atlantique, la zone Orientale et la zone Méditerranéenne du pays. Le Nord renferme 90.8% des eaux de surface du pays et 64.4% des eaux souterraines. Le Sud est composé de la zone Sud-Atlas occidentale et de la zone Sud-Atlas orientale.

L'équilibre ressource-emploi de l'eau est présentement positif dans la région nord et négatif pour le reste du pays. Des projections pour l'an 2020 indiquent que la balance des ressources hydrauliques sera alors négative pour l'ensemble du pays. Le déficit de la ressource devrait alors se chiffrer dans les environs de 200 millions m³ s'il y a une croissance continue de la demande de 4 % par an.³

Afin de contrer les problèmes de pénurie, le gouvernement marocain a mis sur pied, au début de la décennie, un programme ambitieux visant à construire un barrage d'envergure et de 6 à 10 petits et moyens barrages par an. Cette politique devrait augmenter de façon significative la capacité de stockage du pays dans le futur. Avec ces efforts de constructions et des investissements importants dans le domaine de l'irrigation, la part budgétaire des investissements publics reliés à l'approvisionnement en eaux devrait passer de 25 % à 60 % d'ici la fin du siècle. Ces investissements massifs dans le secteur de l'eau ne peuvent cependant satisfaire à long terme la demande croissante de la ressource étant donné les politiques actuelles de gestion de la demande.

Actuellement les politiques marocaines de gestion de la demande sont quasi-inexistantes ou totalement inappropriées. Comme dans d'autres pays du Maghreb, la tarification discriminatoire de l'eau favorise les agriculteurs en leur accordant un tarif préférentiel; le prix de l'eau destiné à l'irrigation est beaucoup plus faible que celui facturé aux autres usagers.

Trois raisons principales sont généralement présentées pour justifier une

²Mriouah, Driss (1992), *Planification des ressources en eau au Maroc*, *Revue canadienne d'études du développement*, numéro spécial.

³Goldin, I. et D. Roland-Host (1993), *Economic Policies for Sustainable Resource Use in Morocco*, OECD et CEPR, Paris.

telle politique.⁴ La première repose sur la gratuité traditionnelle de l'eau. Sous ces conditions, l'inertie des habitudes rend très difficile l'imposition de redevances à une population pour la consommation d'eau lorsque celle-ci était auparavant quasi-gratuite. La deuxième raison découle d'un argument de lutte contre le chômage élevé qui sévit dans la plupart des grandes agglomérations et de l'accroissement de la population urbaine. L'augmentation du prix de l'eau d'irrigation aurait un impact négatif sur la production agricole et accentuerait la migration urbaine. Ce choc négatif inciterait un exode rural en libérant une population active jusqu'alors occupée dans l'agriculture qui fournit de l'emploi à 30% de la main-d'oeuvre active. La dernière raison repose sur des politiques d'auto-suffisance alimentaire poursuivies par de nombreux gouvernements. Une augmentation du prix de l'eau destinée au secteur agricole va à l'encontre des politiques d'auto-suffisance alimentaire. Il devient alors difficile de justifier une augmentation des prix de l'eau destinée à l'agriculture puisqu'elle viendrait contrecarrer les politiques mises en oeuvre afin d'accroître la production agricole et atteindre ainsi l'objectif d'auto-suffisance alimentaire.

Pour ces trois raisons, la plupart des gouvernements, au prise avec une rareté croissante de l'eau, ont de la difficulté à s'attaquer à la gestion de la demande. Ils préfèrent s'attarder aux problèmes d'offre en construisant des infrastructures dans le but de répondre à une demande croissante.

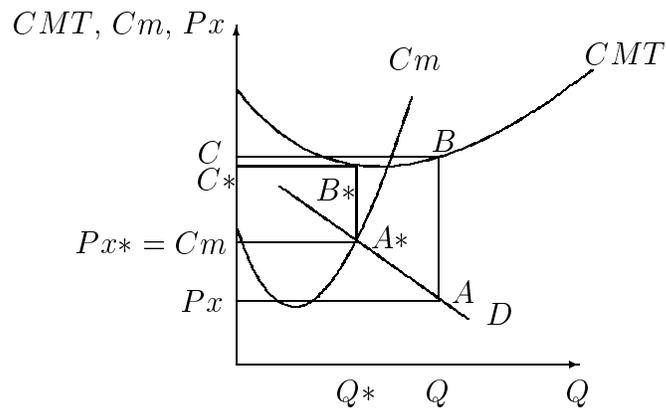
Depuis la fin des années quatre-vingts et le début de cette décennie, le gouvernement marocain a pris conscience de la gravité du problème et révisé son plan afin de concevoir des politiques de gestion de la demande. En général, les plans de gestion de la demande peuvent comprendre plusieurs volets. On peut prévoir un programme de sensibilisation accrue afin de prévenir le gaspillage, instaurer des incitations fiscales ou utiliser des instruments de marché pour régler le problème de discrimination tarifaire entre usagers.

D'un strict point de vue économique, et dans des circonstances normales, la tarification au coût marginal est un principe économique simple qui permet d'assurer une allocation optimale de la ressource entre tous les utilisateurs. Selon ce principe, on obtient une allocation efficace de la ressource lorsque le prix de l'eau est égal au coût de produire une unité supplémentaire. De cette façon, les consommateurs vont consommer jusqu'à ce que leur bénéfice

⁴Ayub, M.A. et U. Kuffner (1994), *La gestion de l'eau dans le Maghreb*, Finance et Développement, 31:2, p. 28-29.

marginal égalise le coût marginal de produire. À la figure 1, les courbes de coût marginal et de coût moyen associées à la production de la ressource ainsi qu'une demande pour l'eau sont présentées.

Figure 1: Courbes de coûts et de demande d'eau



Supposons que le prix de l'eau d'irrigation se situe à Px . À ce prix, le coût marginal est supérieur au prix et il y a une surconsommation de la ressource. Cette surconsommation oblige l'État à subventionner le producteur afin de lui permettre de continuer à produire.⁵ La subvention versée à Px est représentée par la surface (A, B, C, Px) à la figure 1. Lorsque le prix est égal au coût marginal, on obtient une allocation efficace de la ressource au

⁵Notons que dans certain cas, la tarification au coût marginal peut engendrer des profits pour le monopoleur. Tel est le cas lorsque le producteur produit avec des rendements d'échelle décroissants

sens de Pareto. Le bénéfice marginal à consommer est égal au coût marginal de produire. Par contre, le gouvernement doit toujours verser une subvention au producteur (A^*, B^*, C^*, Px^*). Cette subvention représente la subvention sociale optimale que doit recevoir le producteur. L'augmentation du prix de l'eau tendra vers une allocation efficace jusqu'à ce qu'il soit égal au coût marginal.

Un aspect qui mérite également d'être analysé est le principe de tarification de second rang. Ce principe est très utilisé dans la tarification des services publics. Il consiste à tarifier la ressource à un niveau supérieur au coût marginal tout en minimisant les distortions créées en s'éloignant de l'optimum de Pareto. Le taux de majoration, représenté par l'écart entre le coût marginal et le prix, résulte de la règle de l'élasticité inverse anticipée par Ramsey (1927)⁶. Selon cette règle, le taux de majoration est calculé en tenant compte de l'élasticité-prix de la demande de façon à considérer la sensibilité des consommateurs à une variation de prix. On appelle les prix calculés à partir de ce taux de majoration des prix Ramsey. Dans le cas d'une politique de profit nul, ces prix peuvent être interprétés comme les prix résultant de la maximisation du surplus des consommateurs sous la contrainte de profit nul.

Dans la mesure où la tarification de l'eau est très éloignée de son coût marginal ou du prix de Ramsey, une hausse soudaine des tarifs peut avoir des effets drastiques sur la production.⁷ Une stricte politique de ces tarifications pourrait donc entraîner une hausse importante du prix de l'eau d'irrigation et se répercuter sur les producteurs agricoles, sur l'emploi et la rémunération des facteurs de production, tels que la main-d'oeuvre agricole. Ce choc peut alors avoir des conséquences néfastes sur le bien-être des ménages et sur l'ensemble de l'économie.

Dans notre étude, nous tenterons d'examiner les conséquences d'une nouvelle tarification de la ressource en analysant les répercussions que celle-ci engendre sur l'ensemble de l'économie. Un cadre d'équilibre général est évidemment l'instrument le plus adapté et, à l'aide d'un MEGC, nous pourrions calculer les tarifs "optimaux" correspondant à un équilibre de la ressource.

⁶Ramsey, F. (1927), *A Contribution to the Theorie of Taxation*, *Economic Journal*, 37, p. 47-61.

⁷Dans cet article, nous ne tenterons pas de calculer ces tarifs optimaux (les tarifs de premier et second rang). L'objectif est plutôt d'identifier les conséquences d'une augmentation de prix tendant vers ces derniers.

ce tout en tenant compte de la capacité de payer des divers utilisateurs. En quelque sorte, nous pourrions calculer un coût marginal de production d'eau, qui représente le coût, subi par l'ensemble de l'économie, de produire une unité supplémentaire de la ressource hydraulique.

La question de gestion de l'eau dans les MEGC est peu étudiée par la littérature économique. Un premier modèle a été présenté par Berck, Robinson et Goldman (1991)⁸. Il a été élaboré pour évaluer les politiques d'investissements favorisant la distribution de l'eau dans la région de San Joaquin en Californie. Ce modèle qui a 14 secteurs, dont 6 sont des secteurs agricoles, a été construit afin d'analyser l'impact d'une variation du stock d'eau sur l'économie. Dans le modèle, les auteurs traitent l'eau comme un stock exogène, et le seul secteur consommant la ressource est le secteur agricole. Les résultats indiquent une modification dans la structure de la production, soit une substitution de l'agriculture vers l'élevage ainsi qu'une baisse du PIB, de l'emploi agricole et des revenus agricoles, lorsque la quantité d'eau disponible diminue.

La deuxième étude est celle de Goldin et Roland-Holst (1993)⁹. Les auteurs examinent les relations entre les politiques de gestion de l'eau et le commerce extérieur au Maroc à l'aide d'un MEGC comportant 4 secteurs dont deux sont des branches agricoles. Les deux secteurs agricoles se différencient selon la région en distinguant une zone aride et une zone humide. Les auteurs examinent trois simulations: une augmentation des prix de l'eau destinée à l'agriculteur, une élimination des tarifs à l'importation et la troisième est une combinaison des deux scénarios précédents. Dans la première simulation, le PIB, le revenu et la consommation des ménages ainsi que la quantité d'eau utilisée diminuent, tandis que dans la deuxième simulation l'inverse se produit. Dans la dernière simulation, les auteurs constatent une diminution de la quantité d'eau utilisée ainsi qu'une augmentation dans le PIB, le revenu et la consommation des ménages. Malgré des résultats intéressants, les auteurs imposent des hypothèses contraignantes à leur modèle. Ils utilisent une fonction de production agricole très restrictive puisqu'elle ne permet aucune substitution entre le facteur eau et les consommations intermédiaires. Une

⁸Berk, P., S. Robinson. et G. Goldman (1991), *The Use of Computable General Equilibrium Models to Assess Water Policies*, dans A. Dinar et D. Zilberman (eds.), *The Economic and Management of Water and Drainage in Agriculture*, Boston.

⁹Goldin, I. et D. Roland-Host. (1993), *Economic Policies for Sustainable Resource Use in Morocco*, OECD et CEPR, Paris.

modification du coût de l'eau d'irrigation n'affecte donc pas les décisions de consommation des agriculteurs. Ensuite, à l'instar de Berk et al., l'eau n'est pas produite, la quantité d'eau disponible est fixe. Finalement, l'eau n'est pas une composante du panier de consommation des ménages. N'étant pas des consommateurs d'eau, les ménages ne sont donc pas en concurrence avec les agriculteurs pour sa consommation.

3 Le modèle

Le modèle que nous avons élaboré s'inspire du modèle d'équilibre général développé par Decaluwé, Martin, et Souissi (1995)¹⁰ auquel nous avons affecté les modifications nécessaires afin de bien capter la problématique étudiée. Notre modèle comptera quatre catégories d'agents: un ménage, une firme, l'État et le reste du monde. La fonction d'utilité du ménage est une Stone-Geary permettant une consommation minimale nécessaire à la subsistance du ménage. Les facteurs de production utilisés sont le travail, le capital industriel, le capital agricole et la terre. Le travail est mobile entre les diverses branches de production, tandis que le capital industriel et agricole ne sont mobiles qu'à l'intérieur de leur secteur respectif. Un cinquième facteur de production appelé "capital fixe" est introduit dans le modèle. Pour la production d'eau, on fait l'hypothèse qu'un capital fixe est immobilisé dans les barrages et ne peut donc être réaffecté à d'autres usages. Il représente le capital utilisé pour mobiliser les eaux de surface et correspond au volume des investissements passés immobilisés dans la construction de barrage. Nous considérons la terre fixe dans notre modèle, et seul le secteur agricole l'utilise dans sa production. Il y aura alors un facteur terre spécifique à chacune des branches agricoles.

Dans le contexte marocain, nous avons divisé le pays en deux régions. Une région abondante en eau, "Nord", et une région aride appelée "Sud". Dans chacune de ces régions, des branches de production semblables desserviront un marché national unique. Un même bien sera donc produit par deux branches distinctes. Nous pouvons regrouper ces branches en 6 blocs: les branches agricoles nord (grain nord, maraîchère nord, agrume nord et autres cultures nord), les branches agricoles sud (grain sud, maraîchère sud et autres

¹⁰B. Decaluwé, Martin, M.-C. et M. Souissi (1995), *modèle 3*, École PARADI, Université Laval.

cultures sud), les branches industrielles nord (industrie nord et fertilisant), la branche industrie sud, la branche eau nord, la branche eau sud, la branche de services marchands et la branche de services non-marchands. Au total, le modèle retient 14 branches réparties entre deux régions. Étant donné que le secteur agricole est le principal utilisateur des ressources hydrauliques marocaines, la désagrégation de ce secteur devait être très exhaustive. Cette désagrégation nous permettra d'affiner les effets d'équilibre général de notre modèle. La production agricole sera composée de CES emboîtées à plusieurs niveaux de la production afin de permettre une substituabilité entre intrants.

La production des branches industrielles nord et sud ainsi que de la branche fertilisant se fera à l'aide d'une Leontieff liant la valeur ajoutée et les consommations intermédiaires. La valeur ajoutée est modélisée par une Cobb-Douglas combinant le capital industriel et la main-d'oeuvre. Quant aux consommations intermédiaires, elles sont déterminées par une proportion fixe dans leurs utilisations.

Nous introduisons deux branches productrices d'eau. L'inclusion de ces branches est nécessaire pour bien représenter les caractéristiques d'offre de cette ressource. Les capacités de production d'eau refléteront les caractéristiques de chaque région en fonction de la disponibilité d'eau et des caractéristiques techniques de production, soit l'eau de surface, soit les nappes souterraines. Chacune de ces deux branches pourra desservir trois marchés qui leur sont spécifiques. C'est à dire, la consommation d'eau provenant d'une région se fait dans cette même région. Il n'y a pas de transferts inter-régionaux des ressources. Alors, la branche de production d'eau d'une région peut desservir un marché destiné à la consommation du ménage, un marché destiné à la consommation industrielle et un marché destiné à la consommation agricole dans chacune des régions. De ce fait, nous aurons six prix pour l'eau.

En ce qui à trait la fermeture du modèle, nous avons fixé la dotation du travail, la dotation du capital industriel, la dotation du capital agricole et la dotation du capital utilisé par les barrages. Quant à la terre, elle est spécifique à chaque branche de production agricole. En ce qui concerne le commerce extérieur, nous acceptons l'hypothèse du petit pays. Les prix mondiaux aux exportations et aux importations sont déterminés par le reste du monde. Ils représentent alors des variables exogènes. Aussi, l'épargne étrangère et le taux de change sont déterminés de façon exogène. La consommation de l'État et les transferts sont également exogènes dans le modèle. Les tarifs de l'eau des divers consommateurs sont exogènes. Ils sont fixés par l'État

produisant l'eau.

4 Productions d'eau

Au Maroc, la production hydraulique se fait d'abord par l'exploitation des barrages qui récupèrent les eaux de surface. Ensuite, à mesure que les réservoirs des barrages se vident, la production d'eau à partir de techniques de récupération d'eau de surface et d'une exploitation des nappes souterraines devient prédominante. On peut alors identifier deux stades de production, le premier, EB_{eau} , étant fait avec un capital fixe représenté par les barrages déjà mis en place et le deuxième, Wat_{eau} , fait avec un input composite, KL_{eau} , composé du capital variable et du travail. L'entreprise publique chargée de la production, de la distribution et de la commercialisation doit donc tenir compte du coût du capital fixe et des autres facteurs de production nécessaire à l'exploitation.

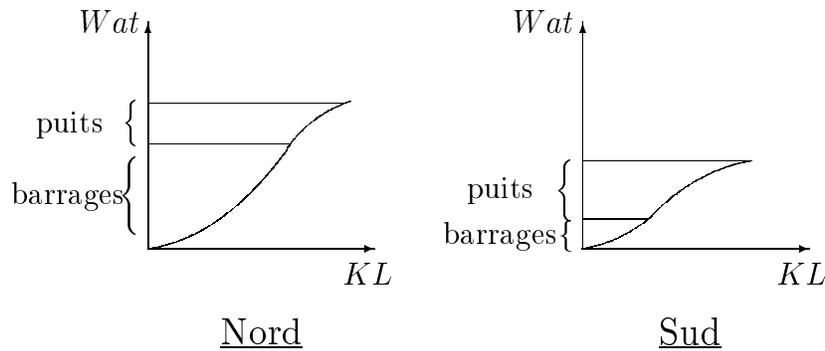
La production d'eau générée par l'exploitation du capital fixe peut se joindre à la production utilisant l'input composite, KL_{eau} , sous forme de fonction additive pour ainsi donner la production totale de la ressource. À la production d'eau utilisant les barrages vient s'ajouter une production d'eau utilisant des techniques de récupération des eaux de surface et une exploitation souterraine.

Dans le premier cas, les coûts associés à la production par barrages sont fixes, tandis que dans le deuxième cas, les coûts associés à la production sont variables. Dans ce dernier cas, les techniques de récupération d'eau de surface se fait avec des coûts marginaux décroissants. Ceci peut se justifier par une productivité marginale croissante du facteur KL_{eau} . Lorsque l'exploitation est souterraine, les coûts marginaux sont croissants dans la quantité produite. Les coûts marginaux croissants sont liés à une productivité marginale décroissante dans ce type d'exploitation. Chaque unité d'eau supplémentaire produite implique l'implantation de puits plus coûteux à exploiter. Plus on produit, plus l'accès à la ressource devient difficile. On doit forer plus profondément et le débit devient plus faible. On a alors besoin de plus de ressources productives pour produire une quantité d'eau identique.

Nous devons donc modéliser une fonction de production de l'eau reflétant une productivité marginale variable afin de représenter une fonction de coût marginal variable de la quantité d'eau produite par le facteur KL_{eau} . À la

figure 2, nous pouvons décrire l'allure que peut prendre la production d'eau en fonction du facteur composite, KL_{eau} .

Figure 2: Production d'eau du Nord et du Sud



Sous ce type de technologie, on obtient une productivité marginale croissante lorsque la production augmente dans les premières étapes de production. Ensuite, au-delà d'un point d'inflexion, la productivité marginale devient de plus en plus décroissante à mesure que l'output augmente dans la deuxième étape de production, soit lorsque l'utilisation des puits est dominante. Afin de refléter ces caractéristiques, nous avons choisi la fonction Weibull pour représenter la production de l'eau attribuée à l'utilisation de l'input composite, KL_{eau} . La Weibull a la caractéristique d'avoir une forme en S et permet une productivité marginale variable selon la quantité produite.¹¹ Celle-ci est décrite à l'aide de l'équation (1).

¹¹La Logistique est également une fonction qui est caractérisée par une forme en S et une productivité marginal variable, mais elle est contraignante pour ce qui est du niveau du point d'inflexion. Cette dernière impose un point d'inflexion qui reflète toujours 50%

$$Wat_{eau} = (\varpi_{eau} - \tau_{eau}^2 Pl_{eau}) \left(1 - e^{-\left(\frac{K L_{eau}}{\phi_{eau}}\right)^{\delta_{eau}}} \right) \quad (1)$$

Le paramètre δ_{eau} influence le point d'inflexion de la fonction et l'allure de la courbe.¹² Le paramètre ϕ_{eau} influence également l'allure de la courbe, mais son effet est minime.¹³ L'asymptote de la fonction est représentée par le paramètre ϖ_{eau} . Quant à la variable Pl_{eau} et le paramètre τ_{eau}^2 , ils nous aideront à simuler des chocs sur la pluviométrie.

Comme nous avons deux régions. Les paramètres de la Weibull seront calibrés selon l'information disponible de façon à ce que la fonction représente adéquatement les conditions hydrographiques de chacune des régions. Comme le montrent les graphiques de la figure 2, la région Sud atteint la production par puits plus rapidement que le Nord et la disponibilité maximale en eau de cette région est inférieure à celle du Nord. Nos paramètres doivent alors être choisis afin de respecter la disponibilité maximale de la ressource au pays et de reproduire le point de transfert, c'est à dire le moment où l'exploitation souterraine devient dominante dans la production. Les paramètres δ_{eau} , ϖ_{eau} et ϕ_{eau} sont alors calibrés en tenant compte des particularités hydrographiques des régions.

Une particularité intéressante de la Weibull est le choix du paramètre, δ_{eau} . Selon Sharif et Islam (1980)¹⁴, le choix de δ_{eau} est critique pour l'allure de la courbe. Le paramètre δ_{eau} détermine le point d'inflexion de la fonction. Lorsque $\delta_{eau} = 2.2814$, la Weibull est symétrique. C'est à dire, la valeur de la fonction au point d'inflexion correspond à 50% de l'asymptote. Pour $\delta_{eau} = 1$, la Weibull se transforme en une Exponentielle. Entre les valeurs 2.2814 et 1, la fonction devient asymétrique; la valeur de l'ordonnée au point d'inflexion est inférieure à 50% de l'asymptote. Pour des valeurs supérieures à 2.2814, la valeur de la fonction au point d'inflexion est supérieure à 50%

de l'asymptote.

¹² δ_{eau} influence l'allure de la courbe en la rendant abrupte ou en un forme plus horizontale. Plus la valeur de δ_{eau} est élevée, plus la courbe devient abrupte.

¹³Plus la valeur de ϕ_{eau} est petite, plus la courbe devient abrupte.

¹⁴Sharif, M.N. et M.N. Islam (1980), *The Weibull Distribution as a General Model Forecasting Technological Change*, Technological Forecasting and Social Change, 18.

de l'asymptote.¹⁵

Ensuite, nous devons calibrer le paramètre ϕ_{eau} . Ce paramètre rapportera à des valeurs calculables l'expression à l'exponentiel afin d'éviter que la valeur de l'expression tende vers l'infini. La calibration de ce paramètre est faite en fonction du choix de la quantité de KL_{eau} utilisée au point d'inflexion, soit KL_{eau}^{inflex} . Pour ce faire, nous prenons $\frac{\partial^2 Wat_{eau}}{\partial^2 KL_{eau}} = 0$ et on isole le paramètre ϕ_{eau} pour obtenir l'équation (2).

$$\phi_{eau} = KL_{eau}^{inflex} \left(\frac{\delta_{eau}}{\delta_{eau} - 1} \right)^{\frac{1}{\delta_{eau}}} \quad (2)$$

Le dernier paramètre à calibrer représente l'asymptote de la fonction, ϖ_{eau} . Il permet d'atteindre des valeurs supérieures à un sur l'ordonné.

$$\varpi_{eau} = \frac{Wat_{eau}}{\left(1 - e^{\left(\frac{KL_{eau}}{\phi_{eau}} \right)^{\delta_{eau}}} \right)} \quad (3)$$

Comme l'asymptote est plus grande que la disponibilité maximale de la ressource, nous devons imposer une contrainte à la production de l'eau associée à KL_{eau} . Étant donné une disponibilité maximale dictée par l'hydrographie d'une région, une quantité de KL_{eau} est associée à cette disponibilité. Une fois cette quantité calibrée, elle sera utilisée dans notre modèle comme une borne supérieure à KL_{eau} dans la production de l'eau, Wat_{eau} . La calibration de cette borne supérieure est représentée par l'équation (4).

$$KL_{eau}^{\max} = -\phi_{eau} \left(\log \left(1 - \frac{disp_{eau}^{\max}}{\varpi_{eau}} \right) \right)^{\frac{1}{\delta_{eau}}} \quad (4)$$

La demande du facteur variable, KL_{eau} , n'est pas le résultat d'une maximisation de profit. Étant donné que les gestionnaires publics ont l'obligation

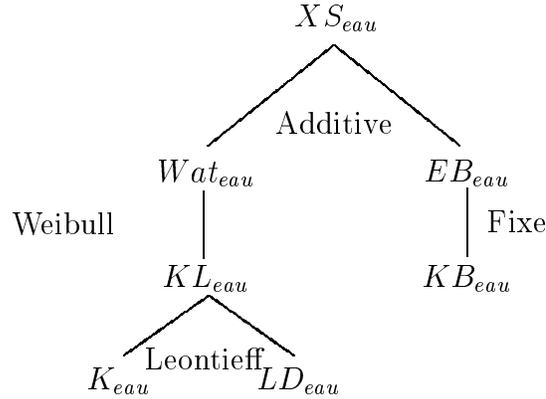
¹⁵Par contre, une contrainte est imposée par cette forme fonctionnelle. La valeur de δ_{eau} ne peut être supérieure à 12, soit un point d'inflexion reflétant 63% de l'asymptote. Afin de contourner cette contrainte, nous avons calibré l'asymptote de façon à ce qu'elle soit supérieure à la disponibilité maximale de la ressource. Ainsi, nous avons pu choisir une valeur pour δ_{eau} de sorte que le ratio $\frac{\text{eaudesurface}}{\text{eausouterraine}}$ au point d'inflexion représente la quantité d'eau de surface et souterraine disponibles dans la région concernée. Par exemple, si on se situe dans une région où l'eau de surface est rare et l'eau souterraine abondante, le paramètre δ_{eau} sera choisi de sorte que la quantité d'eau correspondant au point d'inflexion se situe plus près de l'origine que dans une situation opposée.

de satisfaire la demande correspondant aux prix fixés, la demande de KL_{eau} est obtenue de la Weibull.

$$KL_{eau} = -\phi_{eau} \left(\log \left(1 - \frac{Wat_{eau}}{\varpi_{eau} - \tau_{eau}^2 Pl_{eau}} \right) \right)^{\frac{1}{\delta_{eau}}} \quad (5)$$

Selon l'équation (5), l'input composite sera alors déterminé une fois que le niveau de production, Wat_{eau} , est choisi. Quant au capital variable et au travail, ils sont liés par une Leontieff pour former l'input composite KL_{eau} . On peut alors définir la structure de la production de l'eau à la figure 3.

Figure 3: Structure de la production d'eau



Afin de pouvoir simuler des chocs sur la pluviométrie, nous avons inclu une variable Pl_{eau} et un paramètre τ_{eau}^2 dans l'équation (1). La variable Pl_{eau} est une variable exogène qui représente la variation dans la pluviométrie. Le paramètre τ_{eau}^2 représente la part de la pluie totale qui affecte la disponibilité maximale de la ressource exploitable par la technologie décrite par

la Weibull. De même, la production associée à l'utilisation du capital fixe, EB_{eau} , sera également additionnée de la variable Pl_{eau} qui est multipliée par un paramètre τ_{eau}^1 . Ce paramètre représente la part de la pluie affectant le volume d'eau mobilisé par les barrages mis en place.

En ce qui à trait la fonction de coûts de production de l'eau, nous pouvons la définir telle que le coût de production soit égal à la somme des valeurs des facteurs utilisés.

$$Ct_{eau} = Pkl_{eau}KL_{eau} + rb_{eau}KB_{eau} \quad (6)$$

Les variables Pkl_{eau} et rb_{eau} représentent les rémunérations associées à KL_{eau} et KB_{eau} . À l'aide de cette fonction de coûts et des revenus générés par la vente d'eau, nous pourrions identifier l'ordre des pertes ou profits du monopole. De plus, on pourra capter les effets de distorsions, provenant des subventions indirectes destinées aux branches agricoles, en soustrayant ces subventions de l'épargne de l'État.

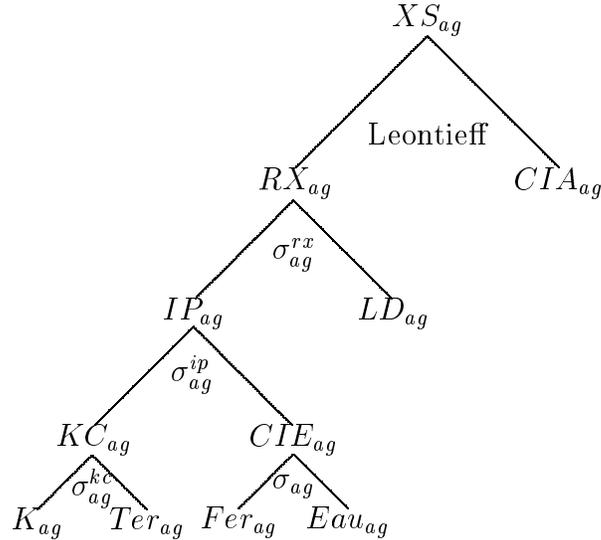
5 Productions agricoles

Comme les branches agricoles sont les plus grandes consommatrices d'eau au pays, il importe de s'intéresser aux technologies de production agricole afin de capter les relations de substituabilité entre l'eau, les facteurs de production et certaines consommations intermédiaires.

Selon Just (1991)¹⁶, l'inclusion de possibilités de substitutions entre intrants dans la fonction de production agricole est primordiale pour une analyse appropriée des questions de l'eau. C'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser une CES emboîtée à plusieurs niveaux pour représenter la production agricole. Cette fonction permettra de postuler une substituabilité entre les divers facteurs de production et consommations intermédiaires à plusieurs stades de la production. À la figure 4, la structure de la production agricole y est présentée.

¹⁶Just, R.E. (1991), *Estimation of Production Systems with Emphasis on Water Productivity*, dans A.Dinar et D. Zilberman, (eds.), *The Economic and Management of Water and Drainage in Agriculture*, Kluwer Academic Publisher, Boston.

Figure 4: Structure de la production agricole



Dans cette figure, on retrouve au premier niveau de la production une relation entre le capital, K_{ag} , et la terre, Ter_{ag} , ainsi qu'une relation entre l'eau, Eau_{ag} , et le fertilisant, Fer_{ag} . Comme de nombreux auteurs tels que Burniaux et al. (1988)¹⁷, Boyd et Newman (1991)¹⁸ et Boyd et al. (1992)¹⁹, nous avons lié le capital et la terre par une CES. Ceci nous permettra d'avoir

¹⁷Burniaux, J.-M., F. Delorme, I. Lienert, J.P. Martin et P. Hoeller (1988), *Quantifying the Economy-Wide Effects of Agricultural Policies: A General Equilibrium Approach*, Working Papers, OECD, Dept. of Economics and Statistics, July.

¹⁸Boyd, R. et D.H. Newman (1991), *Tax Reform and Land-using Sectors in the U.S. Economy: A General Equilibrium Analysis*, American Journal of Agricultural Economics.

¹⁹Boyd, R.G., L. Gallaway et R. Vedder (1992), *Across Group Pareto Efficiency and the 1986 Tax Reform: A General Equilibrium Assessment*, Economic Notes by Monte dei Paschi di Siena, vol. 21, no. 1, p. 211-243.

un degré de substitution entre ces derniers.

En outre, et selon Hexem et Heady (1978)²⁰, une bonne définition de la relation eau-fertilisant est cruciale dans une production agricole. Nous avons également capté cette relation par une CES afin d'inclure une possible substitution entre ceux-ci. Étant donné que la problématique étudiée vise une réduction de la consommation d'eau des agriculteurs, nous nous devons d'inclure cette possibilité de substitution. De plus, les études empiriques démontrent que le potentiel de substitution est plus élevé entre les consommations intermédiaires qu'entre les facteurs de production, tels que le capital, la terre et le travail (Hertel et al. 1989)²¹. Le deuxième niveau de la structure de production agricole consiste à joindre l'input composite, KC_{ag} , et le bien intermédiaire, CIE_{ag} , par une CES. Au troisième niveau, on retrouve le bien composite, RX_{ag} . Ce dernier est défini par une CES qui joint le travail au bien intermédiaire composite, IP_{ag} . Ainsi, un choc perturbant la consommation de l'eau agricole pourra se répercuter sur la terre, le capital, le travail et le fertilisant via les élasticités des trois premiers niveaux de la structure de la production.

À la dernière étape, on retrouve la combinaison de RX_{ag} et les autres consommations intermédiaires, CIA_{ag} . Les autres consommations intermédiaires sont déterminées par une part fixe de leur utilisation et sont combinées à RX_{ag} par une Leontieff pour ainsi donner la production finale des branches agricoles.

Cette caractérisation de la production agricole permettra d'avoir des degrés de substituabilité entre les divers biens intermédiaires et inputs à plusieurs étapes de la production. Ainsi, nous pourrions affiner les effets d'équilibre général entraînés par une variation du prix de l'eau d'irrigation.

6 Fermeture du modèle

La problématique que l'on veut capter avec notre modèle nécessite que les prix de l'eau soient exogènes. Avec les prix exogènes, nous pourrions effectuer

²⁰Hexem, R.W. et E.O., Heady (1978), *Water Production Functions for Irrigated Agriculture*, Ames, Iowa: The Iowa State University Press.

²¹Hertel, T.W., V.E. Ball, K.S. Huang and M.E. Tsigas (1989), *Computing General Equilibrium Farm Level Demand Elasticities for Agricultural Commodities*, AES Research Bulletin No. 988, Perdue University.

des simulations visant à éliminer ou à atténuer la discrimination des prix favorisant les agriculteurs. Ensuite, le facteur de production terre et l'offre totale des facteurs travail et capital sont fixes dans le modèle. La consommation du gouvernement, les divers transferts, la balance courante, les prix internationaux et le taux change réel sont également exogènes.

7 Matrice de comptabilité sociale : cas du Maroc

La matrice de comptabilité sociale (MCS), qui a été utilisée pour le modèle, a été construite en s'inspirant de la matrice de Boukhou (1995)²², elle même adaptée de la MCS construite par Martens et al. (1991)²³. Les principales modifications apportées à cette matrice sont la désagrégation régionale des branches des productions industrielles et agricoles. Pour les informations sur la production et la demande de la ressource hydraulique, elles ont été tirées d'une étude menée par le directeur de la recherche et de la planification de l'eau au sein de l'Administration de l'Hydraulique à Agdal-Rabat, Maroc ²⁴.

8 Simulations et interprétations des résultats

Nous avons effectué deux types de chocs sur le modèle. Le premier choc consiste d'augmenter les prix de l'eau agricole du Nord et du Sud de 4%. Ce choc nous permettra d'interpréter une réduction des distorsions au sein de la tarification de l'eau. Le deuxième choc choisi représente une baisse dans la pluviométrie dans les deux régions concernées. On peut interpréter ce choc comme une baisse dans le volume d'eau mobilisable par les barrages dans les deux régions, soit une diminution de la production EB_{eau} . Nous pouvons expliciter l'ordre du choc comme une baisse de EB_{eau} de 13.15% dans le Sud

²²Boukhou, M. (1995), *Le secteur agricole dans la matrice de comptabilité sociale marocaine*, Université Mohammed V, Rabat-Agdal.

²³Martens, A. et al. (1992), *La matrice de comptabilité sociale du Maroc de 1985*, GREI.

²⁴Mriouah, Driss (1992), *Planification des ressources en eau au Maroc*, Revue canadienne d'études du développement, numéro spécial.

et de 7.85% dans le Nord.²⁵

Ces deux simulations sont d'abord exécutées avec une valeur d'élasticité de substitution faible ($\sigma = 0.5$) pour l'ensemble des CES présentées dans la production agricole. Ensuite, ces simulations sont reprises avec une élasticité de substitution élevée ($\sigma = 2$) pour les CES agricoles. Cette étude de sensibilité permet de vérifier les réactions du modèle sous des hypothèses différentes en terme de rigidité (flexibilité) de la production agricole.

Pour la première simulation, les prix de l'eau sont augmentés de 4% dans les deux régions. En premier lieu, cette simulation a été exécutée avec des élasticités de substitution faible. De cette simulation, l'ensemble des productions agricoles du Sud réduisent leur production. La baisse la plus marquée dans cette région est dans la production de maraîchères (-1.02%). Celle-ci peut s'expliquer par le fait que cette branche est la plus intensive en l'utilisation de la ressource. Dans les branches agricoles du Nord, les productions ont tendance d'augmenter à l'exception de la branche maraîchère nord. L'explication de ces augmentations peut se traduire par plusieurs effets. Premièrement, l'augmentation du prix de l'eau au Nord est inférieure, en terme réel, à l'augmentation du prix au Sud. Le choc est alors moins élevé sur la région du Nord. Ensuite, étant donné que ces secteurs sont moins intensifs en eau et plus intensifs en capital et en fertilisant que les autres branches agricoles, leur adaptation suite à un choc négatif sur le prix de l'eau est plus facile. Pour terminer, la CES liant les productions des deux régions en une production finale incite les branches du Nord à compenser la diminution des biens agraires du Sud en augmentant son offre sur le marché. En ce qui à trait la baisse de la branche maraîchère nord, celle-ci peut s'expliquer par sa consommation en eau qui est la plus intensive de la région du Nord.

Quant aux productions non-agricoles, celles-ci augmentent leur output à l'exception des branches de production d'eau. La branche fertilisant nord est celle qui augmente le plus son output (+0.83%). La raison de cette augmentation découle de l'augmentation de la demande en fertilisants de la part des branches agraires. Quant à la baisse de la production d'eau dans les deux régions, elle peut s'expliquer par la diminution de la demande pour l'eau agricole. La branche eau nord baisse de 1.62% et la branche du Sud de 1.55%. Cette baisse dans la production d'eau entraîne une baisse dans

²⁵Une baisse de la pluviométrie affectera également les terres agricoles via le paramètre ρ_{eau} .

Table 1: Résultats des simulations, variations en %†

Variables	Base	Sim. 1		Sim. 2	
		$\sigma = 0.5$	$\sigma = 2.0$	$\sigma = 0.5$	$\sigma = 2.0$
<i>PIB</i>	11921.96	0.05	0.31	-0.43	-0.08
<i>Yg</i>	27832.0	0.01	-0.02	-0.11	-0.14
<i>Sg</i>	-7273.0	5.10	8.11	-10.18	-2.84
<i>Subven</i>	6203.0	-4.16	-7.35	8.84	2.68
<i>Subves</i>	818.0	-13.36	-17.12	19.16	-0.07
<i>Ym</i>	96562.0	-0.10	-0.10	-	-
<i>EV</i>	-	-0.04	-0.18	-0.12	-0.13
<i>w</i>	1.0	-0.02	0.03	-0.25	-
<i>ra</i>	1.0	0.92	-0.26	-3.13	0.39
<i>rd</i>	1.0	-0.34	-1.08	0.35	0.32
<i>XSaugrs</i>	4962.0	-0.51	-1.33	-2.18	-1.23
<i>XSgrais</i>	2569.0	-0.19	-0.60	-0.78	-1.57
<i>XSmaras</i>	1269.0	-1.02	-0.92	-2.36	-2.65
<i>XSaugrn</i>	11277.0	0.02	-1.26	-1.10	-0.01
<i>XSgrain</i>	8847.0	0.33	-1.72	-0.88	-0.18
<i>XSmaran</i>	4097.0	-0.34	-2.18	-1.25	-0.73
<i>XSagrun</i>	3160.0	1.17	2.75	-3.37	0.72
<i>XSinds</i>	33521.0	0.44	0.41	-0.87	-0.17
<i>XSindn</i>	78217.0	0.28	0.51	-0.56	-0.51
<i>XSfern</i>	1463.0	0.83	2.62	-1.76	-0.78
<i>Xses</i>	3280	-1.55	-4.41	-1.30	-2.40
<i>Xsen</i>	10546.0	-1.62	-4.29	0.02	-0.86
<i>XsERM</i>	63488.0	0.19	0.40	-0.32	-0.27
<i>XsERNM</i>	21520.0	0.03	0.02	0.16	-0.03
<i>Pa2^{sud}</i>	0.7	4.0	4.0	-	-
<i>Pa1^{nord}</i>	0.35	4.0	4.0	-	-
<i>ct^{sud}</i>	214.02	-1.93	-4.94	3.83	-1.70
<i>ct^{nord}</i>	704.60	-1.70	-4.52	5.17	1.24
<i>cm^y^{sud}</i>	1.53	-0.39	-0.56	5.21	0.72
<i>cm^y^{nord}</i>	1.50	-0.08	-0.24	5.15	2.12
<i>cm^g^{sud}</i>	1.17	-3.08	-8.15	7.13	4.69
<i>cm^g^{nord}</i>	0.74	-2.36	-5.76	4.22	2.84

† Tous les variables sont présentées en % à l'exception de *EV*.

les coûts totaux associés à cette production dans les deux régions. De plus, une baisse dans les coûts marginaux de 2.36% au Nord et de 3.08% au Sud nous aide à se rapprocher des objectifs d'allocation optimale de la ressource en réduisant l'écart entre le prix et le coût marginal.

Une allocation plus efficace des ressources fait en sorte que le *PIB* réel de l'économie s'améliore suite à une politique d'augmentation du prix de l'eau agricole. L'augmentation du *PIB* se chiffre à 0.05%.²⁶ Quant aux subventions associées à la consommation d'eau, celles-ci diminuent de 4.16% pour le Nord et de 13.36% pour le Sud. Cette diminution dans les subventions avec une faible hausse dans le revenu gouvernemental (0.01%) font augmenter l'épargne du gouvernement de 5.1%.

Nous mesurons le bien-être du ménage à l'aide de la variation équivalente. Le choc négatif sur le prix de l'eau agricole entraîne une baisse de 0.04 dans cette mesure. Cette baisse est le résultat d'une détérioration dans le revenu du ménage, ainsi qu'une augmentation dans les prix composites des biens pour lesquels le ménage consacre le plus d'importance dans son panier de consommation, soit les biens agricoles.

En deuxième lieu, nous avons exécuté cette même simulation avec des valeurs élevées pour les élasticités de substitution agricoles ($\sigma = 2$). Les résultats nous montrent une diminution dans l'ensemble des productions agricoles à l'exception de la branche agrume qui augmente sa production de 2.75%. En comparant ces résultats avec ceux de la première ($\sigma = 0.5$), la consommation de l'eau par le secteur agraire diminue considérablement (table 2). Une élasticité de substitution plus importante permet les branches agricoles de s'orienter plus facilement vers l'utilisation d'intrants substitués.

Le fait que presque toutes les branches agraires diminuent leur production s'explique par une meilleure allocation des ressources productives à l'intérieur du secteur agricole. Ayant la capacité de substituer plus facilement ses intrants à l'intérieur de sa production, la production des agrumes s'approprie du capital agricole au profit des autres branches agraires. Cet ajout de capital contribue à l'augmentation de la production de cette branche.

À l'exception de la branche fertilisant, les résultats du secteur industriel sont sensiblement les mêmes qu'avec une élasticité de substitution faible. Avec les élasticités de substitution élevées, la branche fertilisant augmente sa production de 2.62% pour les mêmes raisons expliquées à la situation

²⁶Il est important d'indiquer que le *PIB* exclue les secteurs de l'eau.

Table 2: Consommations d'eau et de fertilisants selon les scénarios en %

Variables	Sim. 1		Sim. 2	
	$\sigma = 0.5$	$\sigma = 2.0$	$\sigma = 0.5$	$\sigma = 2.0$
$Wats_{augrs}$	1.65	-5.00	-1.90	-2.31
$Wats_{grais}$	-1.70	-5.32	-0.21	-3.21
$Wats_{maras}$	-2.23	-4.24	-1.10	-3.08
$Watn_{augrn}$	-1.77	-4.13	-0.02	-0.62
$Watn_{grain}$	-1.85	-4.31	0.24	-0.21
$Watn_{maran}$	-2.02	-4.92	0.75	-0.77
$Watn_{agrun}$	0.92	-6.53	-1.13	-3.83
$Fets_{augrs}$	0.32	2.97	-2.22	-1.86
$Fets_{grais}$	0.27	2.61	-0.98	-1.84
$Fets_{maras}$	-0.27	3.79	-2.10	-1.24
$Fetn_{augrn}$	0.20	3.90	-0.54	0.22
$Fetn_{grain}$	0.12	3.71	-0.45	0.99
$Fetn_{maran}$	-0.06	3.05	-0.55	1.70
$Fetn_{agrun}$	1.06	1.29	-2.93	-0.33

précédente. Quant aux branches eau nord et eau sud, la production diminue dans les deux régions. La production du Nord diminue de 4.29% et celle du Sud de 4.41%. Ici, une plus grande possibilité de substitution fait réduire d'avantage la demande pour l'eau agricole. Les effets de ces diminutions de productions sur les coûts vont dans la même direction que précédemment sauf que les variations de ceux-ci sont plus grandes. Le coût marginal diminuant de 5.76% au Nord et de 8.14% au Sud, l'effet de réduction sur l'écart entre le prix de l'eau agricole et le coût marginal va être plus grand.

Pour ce qui est du *PIB* réel, celui-ci augmente de 0.31%. On constate alors que cette variable s'améliore lorsque le niveau de flexibilité augmente dans le secteur agricole. Malgré une faible baisse du revenu gouvernemental (-0.02%), l'épargne du gouvernement augmente (8.11%). Cette augmentation est le résultat de la baisse importante des subventions accordées à la consommation de l'eau. La subvention du Nord diminue de 7.35% et celle du Sud de 17.12%.

La variation équivalente se détériore d'avantage avec une élasticité plus

Table 3: Productions d'eau selon les scénarios en %

Variables	Sim. 1		Sim. 2	
	$\sigma = 0.5$	$\sigma = 2.0$	$\sigma = 0.5$	$\sigma = 2.0$
Wat_{es}	-2.37	-6.75	5.01	3.33
Wat_{en}	-2.43	-6.42	3.93	2.62
EB_{es}	-	-	-13.15	-13.15
EB_{en}	-	-	-7.85	-7.85

élevée (-0.18). Le revenu du ménage étant quasi-identique²⁷ à la simulation précédente, les variations des prix à la consommation sont alors les responsables de cette plus grande baisse de bien-être. Plus précisément, l'augmentation des prix à la consommation des biens ayant une plus grande part dans le panier de consommation du ménage (biens agricoles) est à l'origine de cette baisse.

Pour la deuxième simulation, un choc négatif sur la pluviométrie a été effectué. Nous pouvons mesurer ce choc comme une baisse dans le niveau d'eau des barrages de 7.85% au Nord et de 13.15% au Sud. Comme la simulation précédente, nous avons exécuté le choc avec des élasticités de substitution faibles et élevées.

Pour la simulation avec des élasticités faibles, l'ensemble des branches agricoles diminuent leur production. Ceci est dû à la pression sur la demande d'eau qui est plus difficile à satisfaire (moins d'eau dans les barrages) et à la diminution de la pluie humectant les sols. De plus, avec une baisse des productions agricoles, la branche fertilisant diminue sa production de 1.76%. L'effet substitution avec l'eau ne suffit pas pour contrer la baisse de la demande en fertilisant reliée à la contraction du secteur agricole. Également, les branches industrielles diminuent leur production. Une diminution dans les demandes intermédiaires, ainsi qu'une baisse dans la consommation de ces biens par le ménage est à l'origine de ces baisses. Quant à la production d'eau, la branche du Nord réussit à augmenter sa production de l'eau grâce à une forte augmentation dans la production Wat (+3.93%). Cependant, l'augmentation dans la production de l'eau au Sud à partir de Wat n'a pu

²⁷Ces valeurs sont égales à la table 1 en raison de l'arrondissement des résultats.

contrer la baisse dans la production de *EB*. Conséquemment, la production totale de l'eau du Sud diminue de 1.30%.

Avec un choc sur la pluviométrie, le *PIB* réel de l'économie a chuté de 0.43%. Quant à l'épargne du gouvernement, celle-ci diminue de 10.18%. Cette baisse est due à une chute du revenu gouvernemental (-0.11%) et d'une augmentation flagrante des subventions de l'eau (Nord: 8.84% et Sud: 19.16%). L'accroissement de ces subventions est attribué à l'augmentation des coûts associés à l'exploitation de la ressource. Le coût total du Nord a augmenté de 5.17%, tandis qu'au Sud la hausse a été de 3.83%. Aussi, il y a eu une hausse du coût marginal dans les deux régions. Le coût marginal a augmenté de 4.22% au Nord et de 7.13% au Sud. Avec ces augmentations, on s'éloigne d'avantage d'une situation optimale. L'écart entre les coûts marginaux et les prix s'accroît. Quant au bien-être, celui-ci a diminué avec une baisse dans la pluviométrie (-0.12). L'effet prix est la principale cause de cette baisse.

Avec des élasticités de substitution élevées ($\sigma = 2$), les résultats de cette même simulation sont moins importantes. Pour la plupart des productions, les baisses sont moins élevées suite à un choc pluviométrique. Pour le secteur agricole, la branche agrume augmente sa production au profit des autres branches agricoles.

L'augmentation dans les possibilités de substitution entre l'eau et le fertilisant atténue la baisse dans la production de fertilisant. Également, les résultats nous montrent des baisses moins fortes pour les branches industrielles. Pour ce qui est des baisses dans la production d'eau, une demande moins forte pour l'eau (possibilité de substitution plus élevée) fait en sorte que l'augmentation de *Wat* dans les deux régions est moins grande que la situation précédente (table 3). De ce fait, la production de *Wat* n'est pas assez élevée pour contrer la diminution dans *EB*.

Le *PIB* diminue moins que la situation avec $\sigma = 0.5$. Ce dernier diminue que de 0.08%. L'épargne du gouvernement enregistre également une baisse moins importante que la fois précédente (-2.84%). Une diminution dans la subvention du Sud et une augmentation moins élevée de la subvention du Nord sont les causes de l'effet moins fort sur l'épargne. La diminution dans la subvention accordée au Sud s'explique par le fait que l'effet de la baisse de la consommation d'eau concorde avec une diminution des coûts d'exploitation. Dans le cas de la subvention du Nord, la baisse de la consommation n'a toujours pas été assez élevée pour contrer l'augmentation des

coûts. Les variations des coûts moins positifs pour le Nord et négatifs pour le Sud peuvent s'expliquer par une augmentation moins élevée de la production *Wat* et par une diminution accentuée dans la rémunération du capital fixe associée à la production par barrages.

Pour les coûts marginaux, ceux-ci augmentent dans les deux régions. Cependant, l'augmentation est moins grande que dans la situation précédente. Le coût marginal du Nord augmente de 2.84%, tandis que celui du Sud augmente de 4.69%. En comparant la variation dans le bien-être avec la situation de rigidité ($\sigma = 0.5$), la variation équivalente se détériore de peu. Cette dernière se chiffre à -0.13.

Comme nous l'avons remarqué dans ces dernières simulations, l'effet d'une plus grande flexibilité dans le secteur agricole atténue les chocs étudiés. De plus, il est intéressant d'observer l'impact des chocs sur l'allocation de la ressource. Dans un premier temps, la simulation d'une augmentation des prix à comme conséquence de réduire les coûts marginaux. Cette réduction avec l'augmentation des prix réduisent alors l'écart entre ceux-ci et une meilleure allocation en résulte. Les effets de ces dernières variables sont d'autant plus important dans une situation de flexibilité ($\sigma = 2$). Dans un deuxième temps, le choc pluviométrique accroît les coûts marginaux. L'augmentation des coûts marginaux nous éloignera d'une situation optimale. Dans une situation de flexibilité, cette divergence est atténuée.

9 Conclusion

Il est bien évident que le modèle discuté dans ce article demeure un modèle illustratif incorporant de nombreuses hypothèses significatives qui ont été faites sur la désagrégation de certaines branches et facteurs ainsi que sur des paramètres de comportement. Toutefois, en intégrant plusieurs faits stylisés du Maroc, nous arrivons à caractériser le marché de l'eau et ses relations avec les différents agents utilisateurs.

Nous avons montré que les simulations sur l'augmentation des prix de l'eau agricole engendrent des effets négatifs sur le secteur agricole. Par contre, ces mêmes simulations entraînent des effets bénéfiques sur le *PIB* réel et sur l'épargne du gouvernement. Dans une situation de flexibilité, les résultats sont encore plus positif. Ce qui laisse croire qu'une augmentation du prix de l'eau tendant vers le coût marginal est bénéfique à long terme. Les simu-

lations sur la pluviométrie montrent que des effets négatifs importants peuvent résulter de cet aléa. Dans une agriculture peu flexible, les résultats sont d'autant plus dramatiques pour le secteur agricole et plusieurs variables macro-économiques (*PIB*, déficit de l'État et variation équivalente).

L'importance d'étudier plus en détail les réformes tarifaires, ainsi que l'impact d'aléas pluviométrique avec des outils économiques appropriés est clairement mise en exergue dans ce papier. Des extensions pourront éventuellement être adaptées au modèle afin de mesurer l'impact que pourrait avoir une tarification au coût marginal et une tarification à la Ramsey sur l'ensemble de l'économie. De plus, les questions de transferts inter-régionaux pourraient également être abordées dans des extensions futures.

Afin d'obtenir des réponses plus précises quant aux conséquences des réformes discutées, il sera utile d'obtenir plus d'information portant sur les comportements des producteurs agricoles (élasticité de substitution, structure décisionnelle etc.) ainsi que sur la production et la distribution de l'eau. C'est alors que nous pourrons avoir une meilleure évaluation des conséquences de politiques de gestion de la demande d'eau.

References

- [1] Armington, P.S. (1969), *A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production*, International Monetary Fund, staff papers 16.
- [2] Ayub, M.A. et U. Kuffner (1994), *La gestion de l'eau dans le Maghreb*, Finance et Développement, 31:2, p. 28-29.
- [3] Berk, P., S. Robinson et G. Goldman (1991), *The Use of Computable General Equilibrium Models to Assess Water Policies*, dans A. Dinar et D. Zilberman (eds.), *The Economic and Management of Water and Drainage in Agriculture*, Boston.
- [4] Boukhou, M. (1995), *Le secteur agricole dans la matrice de comptabilité sociale marocaine*, Université Mohammed V, Rabat-Agdal.
- [5] Boyd, R. et D.H. Newman (1991), *Tax Reform and Land-using Sectors in the U.S. Economy: A General Equilibrium Analysis*, American Journal of Agricultural Economics.
- [6] Boyd, R.G., L. Gallaway et R. Vedder (1992), *Across Group Pareto Efficiency and the 1986 Tax Reform: A General Equilibrium Assessment*, Economic Notes by Monte dei Paschi di Siena, vol. 21, no. 1, p. 211-243.
- [7] Burniaux, J.-M., F. Delorme, I. Lienert, J.P. Martin et P. Hoeller (1988), *Quantifying the Economy-Wide Effects of Agricultural Policies: A General Equilibrium Approach*, Working Papers, OECD, Dept. of Economics and Statistics, July.
- [8] Decaluwé, B. et L. Savard (1994), *Quand l'eau n'est plus un don du ciel: Une approche en équilibre général*, mimeo, GREPE, Université Laval.
- [9] Decaluwé, B., M.-C. Martin et M. Souissi (1995), *modèle 3*, École PARADI, Université Laval.
- [10] Easter, K. William, *Intersectorial Water Allocation and Pricing*, dans G. le Moigne, S. Barghouti, G. Feder, L. Garbus et M. Xie, (eds.), *Country Experiences with Water Resources Management: Economic, Institutional, Technological and Environmental Issues*, World Bank Technical Paper number 175, Washington.

- [11] Feder, G. et G. le Moigne (1994), *Une gestion équilibrée des ressources en eau*, Finance et Développement, 31:2, p. 24-27.
- [12] Goldin, I. et D. Roland-Host (1993), *Economic Policies for Sustainable Resource Use in Morocco*, OECD et CEPR, Paris.
- [13] Hertel, T.W., V.E. Ball, K.S. Huang and M.E. Tsigas (1989), *Computing General Equilibrium Farm Level Demand Elasticities for Agricultural Commodities*, AES Research Bulletin No. 988, Perdue University.
- [14] Hexem, R.W. et E.O., Heady (1978), *Water Production Functions for Irrigated Agriculture*, Ames, Iowa: The Iowa State University Press.
- [15] Just, R.E. (1991), *Estimation of Production Systems with Emphasis on Water Productivity*, dans A.Dinar et D. Zilberman, (eds.), *The Economic and Management of Water and Drainage in Agriculture*, Kluwer Academic Publisher, Boston.
- [16] Martens, A. et al. (1992), *La matrice de comptabilité sociale du Maroc de 1985*, GREI.
- [17] Mriouah, Driss (1992), *Planification des ressources en eau au Maroc*, Revue canadienne d'études du développement, numéro spécial.
- [18] National Profile (March 1991), *Water Power and Dam Construction*, RBPG.
- [19] NG, Y.-K. (1987), *Equity, Efficiency and Financial Viability: Public-Utility Pricing with Special Reference to Water Supply*, The Australian Economic Review, third quarter.
- [20] Ramsey, F. (1927), *A Contribution to the Theorie of Taxation*, Economic Journal, 37, p. 47-61.
- [21] Samir, M. (1996), *Impact économique et social de la rareté de l'eau au Maroc: Une analyse en équilibre général*, Université Mohammed V.
- [22] Savard, L. (1995), *L'agriculture et les modèles calculables d'équilibre général: Un survol*, mimeo, CRÉFA, Université Laval.

- [23] Serghini, M. (1994), *Allocation des coûts communs: une application aux services de l'eau au Maroc*, mimeo, Université Laval.
- [24] Sharif, M.N. et M.N. Islam (1980), *The Weibull Distribution as a General Model Forecasting Technological Change*, *Technological Forecasting and Social Change*, 18.
- [25] Simpson, L.D. (1994), *Les marchés de l'eau: une option viable?*, *Finance et Développement*, 31:2, p. 30-32.

Équation du model

Productions

Productions d'eau

$$KL_{eau} = \frac{LD_{eau}}{lio_{eau}} \quad (1)$$

$$LD_{eau} = \frac{lio_{eau}K_{eau}}{tio_{eau}} \quad (2)$$

$$KL_{eau} = -\phi_{eau} \left(\log \left(1 - \frac{Wat_{eau}}{\varpi_{eau} - \tau_{eau}^2 Pl_{eau}} \right) \right)^{\frac{1}{\delta_{eau}}} \quad (3)$$

$$XS_{eau} = Wat_{eau} + EB_{eau} \quad (4)$$

$$Pkl_{eau} = \frac{rdK_{eau} + wLD_{eau}}{KL_{eau}} \quad (5)$$

$$Wat_{eau} = \frac{Pkl_{eau}KL_{eau}}{PW_{eau}} \quad (6)$$

$$EB_{eau} = \varsigma_{eau}^1 PLUIE_{eau} + KB_{eau} \quad (7)$$

$$SVE_{eaus} = P_{es}XS_{es} - Ph2_{eaus}C_{eaus} - \sum_{as} Pa2_{eaus}Wats_{as} - Pi2_{eaus}ICJ_{eaus,inds} \quad (8)$$

$$SVE_{eaun} = P_{en}XS_{en} - Ph1_{eaun}C_{eaun} - \sum_{an} Pa1_{eaun}Watn_{an} - Pi1_{eaun}ICJ_{eaun,indn} - Pi1_{eaun}ICJ_{eaun,fern} \quad (9)$$

Productions agricoles

$$K_{ag} = \frac{KC_{ag}}{B_{ag}^k} \left[\delta_{ag}^k + (1 - \delta_{ag}^k) \left(\frac{ra(1 - \delta_{ag}^k)}{rt_{ag}\delta_{ag}^k} \right)^{\sigma_{ag}^k - 1} \right]^{\frac{1}{\gamma_{ag}^k}} \quad (10)$$

$$Ter_{ag} = \frac{KC_{ag}}{B_{ag}^k} \left[(1 - \delta_{ag}^k) + \delta_{ag}^k \left(\frac{\delta_{ag}^k rt_{ag}}{(1 - \delta_{ag}^k) ra} \right)^{\sigma_{ag}^k - 1} \right]^{\frac{1}{\gamma_{ag}^k}} \quad (11)$$

$$Pkc_{ag} = \frac{Pxi_{pag}IP_{ag} - Pce_{ag}CIE_{ag}}{KC_{ag}} \quad (12)$$

$$rt_{ag} = \frac{Pkc_{ag}KC_{ag} - raK_{ag}}{Ter_{ag}} \quad (13)$$

$$Pce_{ag} = \frac{PQ_{fer}Fer_{ag} + Pxeau_{ag}Eau_{ag}}{CIE_{ag}} \quad (14)$$

$$Eau_{ag} = \frac{CIE_{ag}}{B_{ag}} \left[\delta_{ag} + (1 - \delta_{ag}) \left(\frac{Pxeau_{ag}(1 - \delta_{ag})}{PQ_{fer}\delta_{ag}} \right)^{\sigma_{ag} - 1} \right]^{\frac{1}{\gamma_{ag}}} \quad (15)$$

$$Fer_{ag} = \frac{CIE_{ag}}{B_{ag}} \left[(1 - \delta_{ag}) + \delta_{ag} \left(\frac{\delta_{ag}PQ_{fer}}{(1 - \delta_{ag})Pxeau_{ag}} \right)^{\sigma_{ag} - 1} \right]^{\frac{1}{\gamma_{ag}}} \quad (16)$$

$$Eau_{an} = Watn_{an} + \rho_{en}Pl_{en} \quad (17)$$

$$Eau_{as} = Wats_{as} + \rho_{es}Pl_{es} \quad (18)$$

$$Pxeau_{an} = \frac{Pa1_{eaun}Watn_{an}}{Eau_{an}} \quad (19)$$

$$Pxeau_{as} = \frac{Pa2_{eaus}Wats_{as}}{Eau_{as}} \quad (20)$$

$$KC_{ag} = \frac{IP_{ag}}{B_{ag}^i} \left[\delta_{ag}^i + (1 - \delta_{ag}^i) \left(\frac{Pkc_{ag}(1 - \delta_{ag}^i)}{Pce_{ag}\delta_{ag}^i} \right)^{\sigma_{ag}^i - 1} \right]^{\frac{1}{\gamma_{ag}^i}} \quad (21)$$

$$CIE_{ag} = \frac{IP_{ag}}{B_{ag}^i} \left[(1 - \delta_{ag}^i) + \delta_{ag}^i \left(\frac{\delta_{ag}^i Pce_{ag}}{(1 - \delta_{ag}^i) Pkc_{ag}} \right)^{\sigma_{ag}^i - 1} \right]^{\frac{1}{\gamma_{ag}^i}} \quad (22)$$

$$Pxi_{p_{ag}} = \frac{Prx_{ag}RX_{ag} - wLD_{ag}}{IP_{ag}} \quad (23)$$

$$RX_{ag} = B_{ag}^r \left[\delta_{ag}^r IP_{ag}^{-\gamma_{ag}^r} + ((1 - \delta_{ag}^r)LD_{ag}^{-\gamma_{ag}^r}) \right]^{-\frac{1}{\gamma_{ag}^r}} \quad (24)$$

$$IP_{ag} = \frac{RX_{ag}}{B_{ag}^r} \left[\delta_{ag}^r + (1 - \delta_{ag}^r) \left(\frac{Pxi_{p_{ag}}(1 - \delta_{ag}^r)}{w\delta_{ag}^r} \right)^{\sigma_{ag}^r - 1} \right]^{\frac{1}{\gamma_{ag}^r}} \quad (25)$$

$$LD_{ag} = \frac{RX_{ag}}{B_{rag}} \left[(1 - \delta_{ag}^r) + \delta_{ag}^r \left(\frac{\delta_{ag}^r w}{(1 - \delta_{ag}^r) Pxi_{p_{ag}}} \right)^{\sigma_{ag}^r - 1} \right]^{\frac{1}{\gamma_{ag}^r}} \quad (26)$$

$$XS_{ag} = \frac{CIA_{ag}}{ha1_{ag}} \quad (27)$$

$$CIA_{ag} = \frac{ha1_{ag}RX_{ag}}{ha2_{ag}} \quad (28)$$

$$ICJ_{ai,ga} = fij_{ai,ga}CIA_{ga} \quad (29)$$

Productions des autres industries

$$VA_{gi} = A_{gi} LD_{gi}^{\alpha_{gi}} K_{gi}^{(1-\alpha_{gi})} \quad (30)$$

$$LD_{gi} = \frac{Pv_{a_{gi}} \alpha_{gi} VA_{gi}}{w} \quad (31)$$

$$K_{gi} = \frac{Pv_{a_{gi}} (1 - \alpha_{gi}) VA_{gi}}{rd} \quad (32)$$

$$CIT_{gi} = \frac{iO_{gi} VA_{gi}}{v_{gi}} \quad (33)$$

$$XS_{gi} = \frac{CIT_{gi}}{iO_{gi}} \quad (34)$$

$$ICJ_{l,gi} = \alpha_{ijl,gi} CIT_{gi} \quad (35)$$

CES entre xs nord et xs sud

$$XST_{augr} = B_{augr}^c \left[\delta_{augr}^c XS_{augr}^{-\gamma_{augr}^c} + (1 - \delta_{augr}^c) XS_{augr}^{-\gamma_{augr}^c} \right]^{-\frac{1}{\gamma_{augr}^c}} \quad (36)$$

$$XST_{grai} = B_{grai}^c \left[\delta_{grai}^c XS_{grai}^{-\gamma_{grai}^c} + (1 - \delta_{grai}^c) XS_{grai}^{-\gamma_{grai}^c} \right]^{-\frac{1}{\gamma_{grai}^c}} \quad (37)$$

$$XST_{mara} = B_{mara}^c \left[\delta_{mara}^c XS_{mara}^{-\gamma_{mara}^c} + (1 - \delta_{mara}^c) XS_{mara}^{-\gamma_{mara}^c} \right]^{-\frac{1}{\gamma_{mara}^c}} \quad (38)$$

$$XST_{agru} = XS_{agrun} \quad (39)$$

$$XST_{ind} = B_{ind}^c \left[\delta_{ind}^c XS_{ind}^{-\gamma_{ind}^c} + (1 - \delta_{ind}^c) XS_{ind}^{-\gamma_{ind}^c} \right]^{-\frac{1}{\gamma_{ind}^c}} \quad (40)$$

$$XST_{fer} = XS_{fern} \quad (41)$$

$$XST_{eauu} = XS_{en} \quad (42)$$

$$XST_{eaus} = XS_{es} \quad (43)$$

$$XST_{svm} = XS_{serm} \quad (44)$$

$$XST_{svnm} = XS_{sernm} \quad (45)$$

Revenus et épargnes

$$\begin{aligned} YH &= w \sum_i LD_i + P^{index}TGM + eTWM \\ &+ \lambda^{km} \left(\sum_{ag} raK_{ag} + \sum_{in} rdK_{in} + \sum_{eau} rb_{eau}KB_{eau} \right) \\ &+ \lambda^{tm} \sum_{ag} rt_{ag}Ter_{ag} \end{aligned} \quad (46)$$

$$YDH = YH(1 - \tau^{yh}) \quad (47)$$

$$\begin{aligned} YF &= \lambda^{kf} \left(\sum_{ag} raK_{ag} + \sum_{in} rdK_{in} + \sum_{eau} rb_{eau}KB_{eau} \right) \\ &+ \lambda^{tf} \sum_{ag} rt_{ag}Ter_{ag} + P^{index}TGF \end{aligned} \quad (48)$$

$$\begin{aligned} YG &= \tau^{yh}YH + eTWG + \sum_{vlt} TXS + \sum_{im} TXM_{im} \\ &+ \tau^k \left(\lambda^{kf} \left(\sum_{ag} raK_{ag} + \sum_{in} rdK_{in} + \sum_{eau} rb_{eau}KB_{eau} \right) \right) \\ &+ \lambda^{tf} \sum_{ag} rt_{ag}Ter_{ag} \end{aligned} \quad (49)$$

$$TXS_{vt} = tx_{vt}PG_{vt}XST_{vt} \quad (50)$$

$$TXM_{im} = TM_{im}PWM_{im}EM_{im} \quad (51)$$

$$SH = mpsYDH \quad (52)$$

$$SF = YF - TFW \quad (53)$$

$$-\tau^k (\lambda^{kf} \left(\sum_{ag} raK_{ag} + \sum_{in} rdK_{in} + \sum_{eau} rb_{eau}KB_{eau} \right) + \lambda^{tf} \sum_{ag} rt_{ag}Ter_{ag})$$

$$SG = YG - P^{index}TGF - eTGW \quad (54)$$

$$-P^{index}TGM - \sum_l \beta_l^g CG - \sum_{h2o} SVE_{h2o}$$

Demandes

$$CH = YDH - SH \quad (55)$$

$$C_{mar} = \frac{\theta_{mar}^c + \beta_{mar}^c (CH - \sum_l \theta_l^c) + \beta_{mar}^g CG}{PQ_{mar}} \quad (56)$$

$$C_{eaun} = \frac{\theta_{eaun}^c + \beta_{eaun}^c (CH - \sum_l \theta_l^c) + \beta_{eaun}^g CG}{Ph1_{eaun}} \quad (57)$$

$$C_{eaus} = \frac{\theta_{eaus}^c + \beta_{eaus}^c (CH - \sum_l \theta_l^c) + \beta_{eaus}^g CG}{Ph2_{eaus}} \quad (58)$$

$$C_{svnm} = \frac{\theta_{svnm}^c + \beta_{svnm}^c (CH - \sum_l \theta_l^c) + \beta_{svnm}^g CG}{PQ_{svnm}} \quad (59)$$

$$INTD_{ai} = \sum_{ri} ICJ_{ai,ri} \quad (60)$$

$$INTD_{eaun} = \sum_{gi} ICJ_{eaun,gi} + \sum_{an} Watn_{an} \quad (61)$$

$$INTD_{eaus} = \sum_{gi} ICJ_{eaus,gi} + \sum_{as} Wats_{as} \quad (62)$$

$$INTD_{fer} = \sum_{gi} ICJ_{fer,gi} + \sum_{an} Fer_{an} + \sum_{as} Fer_{as} \quad (63)$$

$$INV_{mar} = \frac{\beta_{mar}^i IT}{PQ_{mar}} \quad (64)$$

Prix

$$P_{eau} = \frac{rb_{eau}KB_{eau} + Pkl_{eau}KL_{eau}}{XS_{eau}} \quad (65)$$

$$Pva_{gi} = \frac{P_{gi}XS_{gi} - \sum_{vt} PQ_{vt}ICJ_{vt,gi} - Pi1_{eau}ICJ_{eau,gi} - Pi2_{eaus}ICJ_{eaus,gi}}{VA_{gi}} \quad (66)$$

$$PG_{augr} = \frac{P_{augrs}XS_{augrs} + XS_{augrn}P_{augrn}}{XST_{augr}} \quad (67)$$

$$PG_{grai} = \frac{P_{grais}XS_{grais} + XS_{grain}P_{grain}}{XST_{grai}} \quad (68)$$

$$PG_{mara} = \frac{P_{maras}XS_{maras} + XS_{maran}P_{maran}}{XST_{mara}} \quad (69)$$

$$PG_{agru} = \frac{XS_{agrun}P_{agrun}}{XST_{agru}} \quad (70)$$

$$PG_{ind} = \frac{P_{inds}XS_{inds} + XS_{indn}P_{indn}}{XST_{ind}} \quad (71)$$

$$PG_{fer} = \frac{XS_{fern}P_{fern}}{XST_{fer}} \quad (72)$$

$$PG_{eaun} = \frac{XS_{en}P_{en}}{XST_{eaun}} \quad (73)$$

$$PG_{eaus} = \frac{XS_{es}P_{es}}{XST_{eaus}} \quad (74)$$

$$PG_{svm} = \frac{P_{serm}XS_{serm}}{XST_{svm}} \quad (75)$$

$$PG_{svnm} = \frac{P_{sernm}XS_{sernm}}{XST_{svnm}} \quad (76)$$

$$PM_{im} = PWM_{im}(1 + \tau_{im}^m)e \quad (77)$$

$$PE_{mar} = \frac{PWE_{mar}e}{(1 + \tau_{mar}^e)} \quad (78)$$

$$PQ_{im} = \frac{PD_{im}D_{im} + PM_{im}M_{im}}{Q_{im}} \quad (79)$$

$$PQ_{nim} = \frac{PD_{nim}D_{nim}}{Q_{nim}} \quad (80)$$

$$PG_{svnm} = \frac{PD_{svnm}D_{svnm}}{XST_{svnm}(1 + tx_{svnm})} \quad (81)$$

$$PG_{mar} = \frac{PD_{mar}D_{mar} + PE_{mar}(1 + \tau_{mar}^e)EX_{mar}}{XST_{mar}(1 + tx_{mar})} \quad (82)$$

$$P^{index} = \sum_i \beta_i^x P_i \quad (83)$$

Commerce extérieur

$$XST_{mar} = B_{mar}^T \left[\delta_{mar}^T EX_{mar}^{\gamma_{mar}^T} + (1 - \delta_{mar}^T) D_{mar}^{\gamma_{mar}^T} \right]^{\frac{1}{\gamma_{mar}^T}} \quad (84)$$

$$XST_{svnm} = Q_{svnm} \quad (85)$$

$$EX_{mar} = \left(\frac{PE_{mar}}{PD_{mar}} \right)^{\sigma_{mar}^T} \left(\frac{1 - \delta_{mar}^T}{\delta_{mar}^T} \right)^{\sigma_{mar}^T} D_{mar} \quad (86)$$

$$Q_{im} = B_{im}^S \left[\delta_{im}^S M_{im}^{-\gamma_{im}^S} + (1 - \delta_{im}^S) D_{im}^{-\gamma_{im}^S} \right]^{-\frac{1}{\gamma_{im}^S}} \quad (87)$$

$$Q_{nim} = D_{nim} \quad (88)$$

$$M_{im} = \left(\frac{\delta_{im}^S}{(1 - \delta_{im}^S)} \right)^{\sigma_{im}^S} \left(\frac{PD_{im}}{PM_{im}} \right)^{\sigma_{im}^S} D_{im} \quad (89)$$

$$\begin{aligned} CAB = & \sum_{im} PW M_{im} M_{im} + \frac{1}{e} TFW + \frac{1}{e} TGW \quad (90) \\ & + \frac{1}{e} \lambda^{kw} \left(\sum_{ag} ra K_{ag} + \sum_{in} rd K_{in} + \sum_{eau} rb_{eau} K B_{eau} \right) \\ & - TWM - TWG - \sum_{mar} PWE_{mar} (1 + \tau_{mar}^e) EX_{mar} \end{aligned}$$

Équilibre

$$LS = \sum_i LD_i \quad (91)$$

$$KTA = \sum_{ag} K_{ag} \quad (92)$$

$$KTD = \sum_{in} K_{in} \quad (93)$$

$$IT = SF + SH + SG + eCAB \quad (94)$$

$$Q_{vt} = C_{vt} + INTD_{vt} + INV_{vt} \quad (95)$$

$$XST_{h2o} = C_{h2o} + INTD_{h2o} \quad (96)$$

Variables et paramètres du modèle

Variables du modèle

Prix

w	rémunération du travail
ra	rémunération du capital agricole
rd	rémunération du capital industriel
rt_{ag}	rémunération de la terre
Pkc_{ag}	prix de l'intrant composite KC_{ag}
$Pxip_{ag}$	prix de l'intrant composite IP_{ag}
Prx_{ag}	prix de l'intrant composite RX_{ag}
Pce_{ag}	prix de l'intrant composite CIE_{ag}
Pva_{gi}	prix de la valeur ajoutée
P_i	prix à la production
PG_t	prix du bien composite XST_t
PQ_t	prix du bien composite Q_t
PM_{im}	prix intérieur des importations
PE_{mar}	prix intérieur des exportations
PD_t	prix des biens domestiques
P^{index}	index des prix à la production
$Pxeau_{ag}$	prix de Eau_{ag}
Pkl_{eau}	prix de KL_{eau}
PW_{eau}	prix de Wat_{eau}
rb_{eau}	rémunération de KB_{eau}

Productions et demandes

VA_{gi}	valeur ajoutée
XS_I	production sectorielle
Wat_{eau}	production de l'eau à partir des facteurs variables
EB_{eau}	production de l'eau à partir de KB_{eau}
XST_t	production totale

K_i	capital
LD_i	travail
KC_{ag}	intrans composite de K_{ag} et Ter_{ag}
IP_{ag}	intrans composite de KC_{ag} et CIE_{ag}
RX_{ag}	intrans composite de IP_{ag} et LD_{ag}
CIE_{ag}	intrans composite de Eau_{ag} et Fer_{ag}
CIA_{ag}	autres consommations intermédiaires agricoles
$Wats_{as}$	consommation intermédiaire de l'eau produite par les branches agraires sud
$Watn_{an}$	consommation intermédiaire de l'eau produite par les branches agraires nord
Fer_{ag}	consommation intermédiaire du fertilisant par les branches agraires nord
Eau_{ag}	eau total consommée par les branches agraires
KL_{eau}	intrans composite de K_{eau} et LD_{eau}
$ICJ_{l,j}$	consommation intermédiaire du bien l par la branche j
CIT_I	consommation intermédiaire totale de la branche i
$INTD_{mar}$	demande intermédiaire du bien l
M_{im}	biens importés
EX_{mar}	biens exportés
D_l	biens domestiques
Q_l	biens composites de D_l et M_{im}

Revenus et dépenses

CH	consommation du ménage
CG	consommation gouvernementale
C_l	consommation par bien
IT	investissement total
INV_{mar}	investissement par bien
YH	revenu du ménage
YDH	revenu disponible du ménage
YF	revenu de la firme
YG	revenu gouvernemental
SH	épargne du ménage
SF	épargne de la firme

SG	épargne gouvernementale
TXS_l	taxe à la production
TXM_{im}	taxe à l'importation
SVE_{h2o}	subventions associées aux consommations d'eau
CAB	balance courante
KB_{eau}	capital destiné uniquement à la production d'eau
LS	offre de travail
KTA	offre du capital agricole
KTD	offre du capital industriel
Ter_{ag}	offre de la terre
CG	consommation gouvernementale
TGF	transfert du gouvernement vers la firme
TGM	transfert du gouvernement vers le ménage
TGW	transfert du gouvernement vers le reste du monde
TWG	transfert du reste du monde vers le gouvernement
TWM	transfert du reste du monde vers le ménage
TFW	transfert de la firme vers le reste du monde
PWM_{im}	prix mondiaux des importations
PWE_{mar}	prix mondiaux des exportations
e	taux de change
$Ph1_{eaun}$	prix de l'eau du nord destiné au ménage
$Ph2_{eaus}$	prix de l'eau du sud destiné au ménage
$Pa1_{eaun}$	prix de l'eau du nord destiné à l'agriculture
$Pa2_{eaus}$	prix de l'eau du sud destiné à l'agriculture
$Pi1_{eaun}$	prix de l'eau du nord destiné aux industries
$Pi2_{eaus}$	prix de l'eau du sud destiné aux industries
Peb_{eau}	prix de EB_{eau}
Pl_{eau}	variation dans la pluviométrie

Paramètres du modèle

lio_{eau}	Coefficient technique de la Leontieff entre K_{eau} et LD_{eau}
tio_{eau}	Coefficient technique de la Leontieff entre K_{eau} et LD_{eau}
alp_{eau}	Coefficient d'ajustement dans la variation pluviométrique pour la production de l'eau Wat_{eau}
x_{eau}	Asymptote de la Weibull
g_{eau}	Paramètre de la Weibull
ϕ_{eau}	Paramètre de la Weibull
ς_{eau}^1	Coefficient d'ajustement dans la variation pluviométrique pour la production de l'eau EB_{eau}
B_{ag}	Paramètre d'échelle de la CES entre l'eau et le fertilisant
δ_{ag}	Part distributive de la CES entre l'eau et le fertilisant
γ_{ag}	Paramètre de substitution de la CES entre l'eau et le fertilisant
σ_{ag}	Élasticité de substitution de la CES entre l'eau et le fertilisant
B_{ag}^k	Paramètre d'échelle de la CES entre le capital et la terre
δ_{ag}^k	Part distributive de la CES entre le capital et la terre
γ_{ag}^k	Paramètre de substitution de la CES entre le capital et la terre
σ_{ag}^k	Élasticité de substitution de la CES entre le capital et la terre
B_{ag}^i	Paramètre d'échelle de la CES entre KC et CIE
δ_{ag}^i	Part distributive de la CES entre KC et CIE
γ_{ag}^i	Paramètre de substitution de la CES entre KC et CIE
σ_{ag}^i	Élasticité de substitution de la CES entre KC et CIE
B_{ag}^r	Paramètre d'échelle de la CES entre IP et LD
δ_{ag}^r	Part distributive de la CES entre IP et LD
γ_{ag}^r	Paramètre de substitution de la CES entre IP et LD
σ_{ag}^r	Élasticité de substitution de la CES entre IP et LD
ρ_{eau}	Coefficient d'ajustement dans la variation pluviométrique pour la production agricole
hal_{ag}	Coefficient technique de la Leontieff entre RX_{ag} et CIA_{ag}

$ha2_{ag}$	Coefficient technique de la Leontieff entre RX_{ag} et CIA_{ag}
$fig_{ai,ga}$	Coefficient input-output des branches agricoles
$aijl_{gi}$	Coefficient input-output des autres branches
A_{gi}	Coefficient d'échelle de la Cobb-Douglas
α_{gi}	Élasticité de la Cobb-Douglas
io_{gi}	Coefficient technique de la Leontieff entre CIT_{gi} et VA_{gi}
v_{gi}	Coefficient technique de la Leontieff entre CIT_{gi} et VA_{gi}
B_l^c	Paramètre d'échelle de la CES entre la production du Nord et la production du Sud
δ_l^c	Part distributive de la CES entre la production du Nord et la production du Sud
γ_l^c	Paramètre de substitution de la CES entre la production du Nord et la production du Sud
σ_l^c	Élasticité de substitution de la CES entre la production du Nord et la production du Sud
λ^{km}	part du capital au ménage
λ^{tm}	part de la terre au ménage
λ^{kf}	part du capital à la firme
λ^{tf}	part de la terre à la firme
λ^{kw}	part du capital à la firme
τ^{yh}	taux de l'impôt direct imposé au ménage
τ^k	taux de l'impôt direct imposé à la firme
τ_{mar}^e	taux de taxe à l'exportation
τ_{im}^m	taux de taxe à l'importation
tx_{vt}	taux de taxe à la production
mps	propension marginale à épargner
β_i^x	part de la branche i dans la production totale
θ_l^c	consommation minimale de l'utilité Stone-Geary
β_l^c	part du bien l dans la consommation du ménage
β_l^g	part du bien l dans la consommation de l'État
β_l^i	part du bien l dans l'investissement total
B_{ag}^T	Paramètre d'échelle de la CET entre les biens exportés et les biens domestiques
δ_{ag}^T	Part distributive de la CET entre les biens exportés

	et les biens domestiques
γ_{ag}^T	Paramètre de substitution de la CET entre les biens exportés et les biens domestiques
σ_{ag}^T	Élasticité de substitution de la CET entre les biens exportés et les biens domestiques
B_{ag}^S	Paramètre d'échelle de la CES entre les biens importés et les biens domestiques
δ_{ag}^S	Part distributive de la CES entre les biens importés et les biens domestiques
γ_{ag}^S	Paramètre de substitution de la CES entre les biens importés et les biens domestiques
σ_{ag}^S	Élasticité de substitution de la CES entre les biens importés et les biens domestiques

Indices des branches et des produits

Table 4: Indices des produits

L		VT(L)	MAR(L)	AI(L)	H2O(L)	IM(L)	NIM(L)
augr	Autres agricultures	augr	augr	augr	eaun	augr	agru
grai	Grains	grai	grai	grai	eaus	grai	svnm
mara	Maraîchères	mara	mara	mara			
agru	Agrumes	agru	agru	agru		ind	
ind	Industrie	ind	ind			fer	
fer	Fertilisant	fer	fer			svm	
eaun	Eau nord	svm	svm				
eaus	Eau sud	svnm					
svm	Service marchand						
svnm	Service non marchand						

Table 5: Indices des branches

I		AG(I)	AS(I)	AN(I)	IN(I)	RI(I)	EAU(I)	GI
augrs	Autres agricultures sud	augrs	augrs	augrn	inds	augrs	es	inds
grais	Grains sud	grais	grais	grain	indn	grais	en	indn
maras	Maraîchères sud	maras	maras	maran	fern	maras		fern
augrn	Autres agricultures nord	augrn		agrun	es	augrn		serm
grain	Grains nord	grain			en	grain		sernm
maran	Maraîchères nord	maran			serm	maran		
agrun	Agrumes nord	agrun			sernm	agrun		
sernm	Services administratifs					inds		
inds	Industries sud					indn		
indn	Industries nord					fern		
fern	Fertilisants nord					serm		
es	Eau sud					sernm		
en	Eau nord							
serm	Services marchand							