

L'eau virtuelle comme outil de gestion des ressources hydriques : application économétrique sur la Tunisie

Auteurs : Sana Ben Nasr¹

Zayati Montassar²

sous la direction de : Mr. Ghazi Boulila³

Résumé:

Vu les variations des conditions climatiques ainsi que l'irrégularité des répartitions de la ressource en eau, le commerce agricole s'avère une solution qui peut remédier à la pénurie et à la pression qui s'exerce sur les ressources hydriques, il serait intéressant, alors, d'étudier la relation entre importation et ressource en eau. Autrement dit, le volume des importations des aliments et des produits agricoles en Tunisie peut-il être considéré comme un indicateur de déficit en eau? Si oui, quelles seront les solutions à envisager?

Pour répondre à cette question, nous utiliserons le modèle qui a été fait par l'auteur Hassan Hakimian(2003)⁴ à travers lequel il a pu vérifier que le volume des importations est une caractéristique commune pour les pays qui souffrent d'une pénurie d'eau.

Abstract :

The climate conditions change's cause fluctuations and instability in the repartition of water resources. The agriculture trade seems to be a good solution to resolve the problem of water shortage in arid and semi arid region. It will be interesting to study the relationship between foods and agriculture Import and water endowment. We are trying in this paper to find out if the amount of food and agriculture import in Tunisia can be considered as an indicator of water shortage. To find the answer, we will use the model used by Hassan Hakimian (2003) who demonstrated that the important amount of food import is a common characteristic of nation suffering from water shortage.

1 Doctorante à la Faculté des Sciences économiques et de gestion de Tunis. Mail: sanoutaca@gmail.com

2 Doctorant à la Faculté des Droits et des Sciences Économiques et Politiques de Sousse: zayatimonta@yahoo.fr

3 Ghazi Boulila : professeur à l' ISSEC Tunis.

4 Hakimian.H (2003 : (2003): « Water scarcity and food imports :An empirical investigation of the 'virtual water' hypothesis in the MENA region», Review of the middle east economics and finance, Lon on, UK, Tylors and Francis. www.soas.ac.uk/waterissues/occasional_papers/OCC46.pdf. op.cit, p 6

Introduction

L'agriculture assure une grande partie de la sécurité alimentaire d'une nation. Elle comprend les cultures, l'élevage de bétail et l'aquaculture ce qui offre aux populations des préférences alimentaires différentes. Ces cultures agricoles sont produites grâce à l'eau. Cette dernière peut être en provenance des précipitations ou à partir des systèmes d'irrigation. Ces derniers permettent d'accroître la production agricole sans pour autant augmenter sa valeur ajoutée à cause de la croissance démographique, l'urbanisation, l'accroissement des activités économiques et les changements climatiques. La rareté de l'eau restreint la capacité de production d'un pays et peut même engendrer la famine.

La Tunisie, ce petit pays méditerranéen, est caractérisé par une irrégularité de répartition des ressources dans l'espace et dans le temps. La variation récente des conditions climatiques a fortement touché son activité agricole sur le plan de la production, l'importation et l'exportation. Ayant des ressources en eau assez limitée, la Tunisie a déployé des efforts importants pour remédier à ce problème. En effet, le manque d'eau a poussé le pays à importer des quantités importantes d'aliments et de produits agricoles afin de subvenir aux besoins d'une population croissante. La question qui se pose, alors, est si on pourrait dire que le volume des importations peut être considéré comme un indicateur de déficit en eau?

Pour répondre à cette interrogation, nous présenterons dans une première section une description du secteur agricole en Tunisie portant sur la répartition de l'activité selon la région, selon la culture. Elle sera suivie de la présentation des prélèvements en eau pour l'agriculture qui prouvent que ce secteur est un grand consommateur d'eau. Ceci nous mène à introduire le concept de l'eau virtuelle comme étant une solution d'économie d'eau. Nous vérifierons l'hypothèse stipulant que le volume des importations à travers le recours au modèle utilisé par Hassan Hakimian (2003)⁵.

Section1. Description générale de l'agriculture tunisienne :

L'agriculture contribue à une grande part de l'économie tunisienne. Elle réalise 18% du PNB tunisien et emploie environ 22.4%⁶. La superficie agricole utile est estimée à 5,3 millions d'hectares dont 4,9 millions d'Ha (93%) sont labourables et le reste (387 300 Ha) sont des terres de parcours et de pâturages. La superficie des terres labourables se répartit entre les terres cultivées (4,213 millions d'Ha) et la jachère 671000 Ha. La superficie agricole irriguée est estimée à 330 600 Ha, soit 6,8% de la superficie labourable et 7,8% de la superficie cultivée. L'agriculture tunisienne est caractérisée aussi par la généralisation de la mécanisation. L'utilisation des intrants chimiques et des variétés à haut rendement a connu elle aussi un grand développement.

5 Hakimian.H (2003) : op.cit, p 1

6 www.tunisie.com

L'enquête réalisée entre 2004 et 2005 a montré que la taille des exploitations de moins de 5Ha est 54% de l'ensemble du nombre des exploitations. La superficie agricole utile a diminué de 0.5% entre la période allant de 1994 jusqu'à 2004. Ceci peut être expliqué en grande partie par la croissance de l'urbanisme. On enregistre au centre 46% des exploitations agricoles contre 32% au nord et 22% au sud⁷.

1.1. Répartition de l'agriculture selon les régions:

La répartition des superficies des cultures montre l'existence de trois types de régions:

- Les régions à dominante arboricole.
- Les régions à dominante céréalière.
- Les régions composites.

L'enquête réalisée entre 2004 et 2005 indique que plus du tiers de la superficie des céréales se situe dans les gouvernorats du Kef (214000 Ha), Kasserine (176000Ha) et Siliana (158000Ha). La pratique de la culture des légumineuses est relativement très fréquente dans les gouvernorats du Nord du pays qui couvrent 87,2% de la superficie totale des légumineuses, contre 4,9% au Centre et 7,9% au Sud. Les cultures maraîchères couvrent une superficie de 162 mille Ha, représentant 4% de la superficie des cultures⁸. La répartition régionale montre que les gouvernorats du Nord accaparent 45,5% de la superficie des cultures maraîchères, les gouvernorats du Centre 43,8% et les gouvernorats du Sud 10,8%⁹.

1.2. Répartition de l'agriculture selon les cultures:

1.2.1. Les grandes cultures:

Par rapport à 1994, la structure des superficies des cultures n'a pas subi de grand changement. Les céréales représentent presque la même proportion de 37% avec une superficie totale de 1610 mille Ha en hausse de 5.2% par rapport à 1994. La superficie arboricole représente toujours la moitié de la superficie des cultures avec 2155 mille Ha. Plus de la moitié des superficies céréalières est consacrée à la production du blé dur¹⁰.

Toutefois, la récolte de céréales en Tunisie durant la campagne 2008-2009 sera largement en deçà des prévisions du ministère de l'Agriculture et des Ressources hydrauliques qui tablaient sur une production de 27 millions de quintaux. Les surfaces emblavées ont atteint 1.305 millions

7 "Enquête sur les Structures des Exploitations Agricoles 2004-2005", Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques, Janvier 2006. www.onagri.nat.tn/Act_pro.

8 " Enquête sur les Structures des Exploitations Agricoles 2004-2005" (2006): op.cit, p.15

9 " Enquête sur les Structures des Exploitations Agricoles 2004-2005" (2006): op.cit, P.20

10 " Enquête sur les Structures des Exploitations Agricoles 2004-2005" (2006): op.cit, p.21

d'hectares, soit une baisse de 9.3% par rapport à la moyenne annuelle du Xème plan quinquennal de développement. Les surfaces récoltées ne devraient pas toutefois dépasser les 1.1millions d'hectares. D'autant que plus de 200 mille hectares ont été perdus en raison du déficit pluviométrique enregistré au cours des mois de novembre et de décembre dernier 2008.

1.2.2. Les légumineuses:

La superficie des légumineuses a connu une baisse importante de 24,5%, passant de 102 mille Ha en 1994 à 77 mille Ha en 2004, leur part dans la superficie des cultures atteint à peine 2%¹¹.

1.2.3. Les cultures maraîchères:

Les estimations de la superficie par espèce indiquent que la superficie des tomates s'élève à 26,4 mille Ha, celle des pommes de terre à 23,3 mille Ha et celle des cultures maraîchères diverses (carottes, persil...) à 34,3 mille Ha. Notons que les cultures sous tunnels sont pratiquées sur une superficie de 3,1 mille Ha et les cultures sous serres occupent une superficie de 1,5 mille Ha¹².

1.2.4. L'arboriculture:

Les deux tiers de la superficie arboricole ont été occupées par les oliviers pour la période entre 2004 et 2005 suivis par les amandiers, les agrumes et les palmiers dattiers.

1.3. Sécurité alimentaire et production agricole:

L'objectif primordial d'une nation est d'assurer la sécurité alimentaire de ses citoyens. Par sécurité alimentaire, on entend l'approvisionnement en aliment sain et accessible de tous les membres de la société. L'atteinte de la sécurité alimentaire peut être réalisée soit via:

- la production nationale de tous les besoins;
- l'importation de tous les produits à consommer;
- la combinaison des deux politiques autrement dit produire et importer en même temps.

Chacune de ces trois possibilités possède des avantages et des inconvénients. La première a l'avantage majeur de créer une totale indépendance vis-à-vis des importations autrement dit vis-à-vis des pays exportateurs, du marché mondial des aliments et des variations des prix des aliments. Toutefois, ceci exercera une pression accrue sur les ressources nécessaires à la production des produits agricoles telles que: la terre, le capital, les ressources hydriques ce qui peut engendrer des dégradations importantes du sol, un stress hydrique et des investissements énormes ce qui n'est pas possible pour un bon nombre de pays surtout ceux en développement ou ceux qui souffrent d'une

11 «Enquête sur les structures des exploitations Agricoles 2004-2005» 2006 op:cit, p.25

12 Sommaire du 49ème Rapport Annuel de la BCT relatif à l'année 2007, Juin 2008, pp 1-1. [Http://www.bct.gov.tn/bct/siteprod/francais/publications/rapport.jsp](http://www.bct.gov.tn/bct/siteprod/francais/publications/rapport.jsp): op.cit

pénurie d'eau, d'insuffisance de terres labourables ou d'une incapacité à financer les projets agricoles qui sont onéreux.

La deuxième possibilité offre à la nation l'occasion d'alléger les pressions qui peuvent s'exercer sur ses ressources, d'utiliser ses moyens financiers pour d'autres objectifs stratégiques... Cependant, l'inconvénient majeur est la création d'une dépendance vis-à-vis des pays exportateurs, des marchés mondiaux des aliments et des fluctuations des quantités et des prix des produits alimentaires agricoles.

La dernière alternative s'avère la plus plausible pour une nation puisqu'elle a le double avantage d'une part de créer des opportunités offertes par le commerce agricole et d'autre part de d'utiliser certaines richesses dont elle est intensivement dotée. Pour le cas de la Tunisie, la stratégie adoptée pour assurer la sécurité alimentaire est la combinaison à la fois des importations et de la production locale.

La production agricole en Tunisie est destinée simultanément à la consommation locale et à l'exportation de certains produits compétitifs. Dans sa globalité, la production est composée de la céréaliculture, des légumineuses, d'arboriculture, élevage...On se limitera dans notre papier à l'étude des plantations.

1.3.1 Les grandes cultures:

La production de céréales se répartit entre blé dur, blé tendre, orge et triticale. La production varie d'une campagne à une autre selon le rendement de la récolte selon les conditions climatiques...la récolte de céréales de la campagne 2006-2007 s'est élevée à 20 millions de quintaux, contre 16,1 millions enregistrés au cours de la campagne précédente¹³.

La consommation locale s'accroît davantage avec l'accroissement de la population. Les importations ont alors remarquablement augmenté. En 2007, elles se sont accrues de 19%¹⁴. Toutefois, les prix des céréales sur le marché international ont fortement augmenté avec la production des biocarburants. On distingue aussi dans les grandes cultures la production des légumineuses constituées de fève, petits poids...qui s'améliore de plus en plus.

1.3.2. Les cultures maraîchères:

La Tunisie produit les tomates, les piments, les pommes de terre...mais aussi importe de quantités importantes de ces produits. En effet, il y avait eu une rétraction des superficies cultivées. La qualité de la culture de la tomate s'est améliorée ce qui a permis de répondre à la demande extérieure et par conséquent produire et exporter des quantités importantes.

13 <http://www.bct.gov.tn/bct/siteprod/francais/publications/rapport.jsp>: op.cit, p.3

14 <http://www.bct.gov.tn/bct/siteprod/francais/publications/rapport.jsp>: op.cit, p.5

Les quantités produites de pomme de terre ont diminué suite à la diminution des terres cultivées et par conséquent des quantités importantes ont été importées pour satisfaire les besoins des citoyens qui en consomment énormément. Au cours de l'année 2007, l'importation a atteint 102,5 mille tonnes de pomme de terre pour une valeur de 66,1 MDT contre 27,7 mille tonnes et 18,9 MDT en 2006¹⁵.

1.3.3. L'arboriculture:

A cause des conditions climatiques défavorables, la production d'huile d'olive a diminué et par conséquent les exportations ont aussi diminué. Toutefois, l'huile d'olive tunisien est classé parmi les produits les plus exportés en Tunisie et dont la majorité de la quantité produite utilise l'eau provenant des précipitations.

Tableau 1 Production et exportation d'huile d'olive^a

	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008
Production (mille tonnes)	115	30	72	280	130	210	180	200
Exportation (mille tonnes)	95	22	39	209	98	167	155	160-165 ^b

^a les données sur la production et l'exportation sont tirées des différents budgets économiques du ministère de l'agriculture et des ressources hydrauliques disponibles au www.onagri.nat.tn.

^b Prévisions.

La production d'agrumes s'est inscrite en baisse de près de 6%, au cours de la campagne 2006-2007, pour revenir à 247 mille tonnes. Les exportations ont alors diminué de 3 mille tonnes ou 15,5% par rapport à la campagne précédente, se situant à 16,3 mille tonnes. La même situation a été enregistrée pour les dattes ainsi que pour la vigne¹⁶.

La production des dattes a diminué au cours de la campagne 2007-2008 et par conséquent les exportations ont diminué aussi. De même, la récolte de vigne aussi n'a pas donné les résultats attendus vu les changements des conditions climatiques.

Nous remarquons donc que la production agricole est fortement touchée par la disponibilité de la ressource eau qu'elle soit sous forme de précipitation ou encore provenant des ressources conventionnelles ou non conventionnelles.

15 <http://www.bct.gov.tn/bct/siteprod/francais/publications/rapport.jsp>: op.cit, p.5

16 <http://www.bct.gov.tn/bct/siteprod/francais/publications/rapport.jsp>: op.cit, p.6

1.4. Les prélèvements de l'eau pour le secteur agricole:

les ressources hydriques de la Tunisie sont estimées à 4 236 millions de m³ par an. Environ, 68% des eaux de surfaces sont mobilisées pour approvisionner l'industrie, le tourisme, la consommation domestique et l'agriculture qui est considérée comme étant le plus grand consommateur d'eau¹⁷. Le total des ressources renouvelables en eau est de 4.6*10⁹ m³/ an dont 2.23*10⁹m³d'eau sont annuellement prélevées pour être utilisées en agriculture¹⁸. Les besoins en agriculture sont estimés de 1.21*10⁹ m³.

L'eau provient de différentes ressources. On distingue les ressources conventionnelles telles que les nappes d'eau, les lacs...et les ressources non conventionnelles telles que: les eaux usées traitées...Cette eau constitue un facteur nécessaire pour la production agricole. Généralement, on parle d'eau verte et d'eau bleue.

- **L'eau verte ou encore agriculture pluviale:** comme son nom l'indique elle dépend des précipitations et de l'eau de pluie stockée dans le sol. Elle représente environ 60% de la production des pays en développement¹⁹. Toutefois, ces précipitations sont intimement liées aux conditions climatiques.

- **L'eau bleue ou encore agriculture irriguée:** elle est basée sur des prélèvements d'eau de rivière, de lac ou nappe aquifère. L'irrigation permet d'agir face aux variations et changements climatiques. En 1998, les terres irriguées représentaient environ un cinquième de l'ensemble des terres arables dans les pays en développement, mais produisaient les deux cinquièmes de toutes les récoltes et près de trois cinquièmes de la récolte céréalière²⁰.

L'agriculture irriguée nécessite inévitablement de grandes quantités d'eau pour produire les aliments nécessaires à l'alimentation mondiale. La gestion des eaux d'irrigation devra encore évoluer considérablement pour s'adapter aux nouvelles exigences de la production et concilier les besoins concurrentiels des autres secteurs et le souci de protéger l'environnement.

La consommation de l'eau en agriculture diffère selon le site de production, le sol, la plante, les conditions climatiques...c'est pour cette raison que par exemple le volume d'eau nécessaire à produire du blé en Tunisie diffère de celui consommé en France par exemple pour la production de la même culture.

L'échange des produits agricoles peut constituer une solution pour préserver des volumes importants qui auront pu être consommés en agriculture. On peut dire aussi qu'on est entrain

17 www.tunisie.com

18 www.fao.org

19 L'eau, l'agriculture et l'alimentation4: Le Rapport mondial sur la mise. En valeur des ressources en eau. Le Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau, pp 1-67. http://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/eau_agric.pdf

20 L'eau, l'agriculture et l'alimentation4: op.cit, p17.

d'échanger de l'eau à travers le commerce de produit agricole non pas sous sa forme réelle mais sous sa forme fictive ou encore « virtuelle ». C'est ce qu'on appelle le concept de l'eau virtuelle. Ceci sera défini dans le paragraphe suivant.

1.5. Le concept de l'eau virtuelle:

La métaphore de l'eau virtuelle a été créée pour orienter les décideurs dans le choix des politiques influant l'usage des eaux dans les régions arides. Certains auteurs (Allan 2003, Lant 2003) ont même établi un lien entre la métaphore de l'eau virtuelle et la théorie économique de l'avantage comparatif²¹.

Le professeur J.A.Allan a défini «l'eau virtuelle» comme le volume d'eau incorporé dans les cultures alimentaires qui sont échangées à l'échelle internationale (Allan, 1996a, b, 1998)²². Il a utilisé ce concept pour décrire les opportunités d'une nation peu abondante en eau à atteindre la sécurité alimentaire en achetant une portion de ses besoins alimentaires du marché international au lieu d'utiliser ses sources rares en eau dans la production de tous ses besoins alimentaires²³. Une telle stratégie est efficace durant les années au cours desquelles le prix mondial des produits céréaliers est inférieur au coût de production dans les pays peu abondants en eau.

Le principe de l'eau virtuelle est simple. L'eau est demandée pour la production de cultures telles que les céréales, les légumes et les aliments comme la viande et les produits laitiers. La quantité d'eau consommée dans le processus de production du produit est appelée «eau virtuelle» incorporée dans le produit (Allan, 1998). Par exemple, si 1000 m³ d'eau sont nécessaires à produire 1 tonne de blé, alors importer 1 million de tonnes de blé est équivalent à importer 1 billion m³ d'eau (Allan, 1999)²⁴. Ce concept instaure une comparaison entre la quantité d'eau incorporée dans la culture qui peut être acquise du marché mondial avec la quantité d'eau qui aurait pu être utilisée dans la production domestique de cette culture. L'intérêt à l'eau virtuelle s'est accru ces dernières années avec la croissance de la population et ses besoins en nourriture. La réalisation de la sécurité alimentaire devient un objectif primordial de chaque nation.

Etant donné les variations des conditions climatiques ainsi que l'irrégularité des répartitions de la ressource en eau, le commerce agricole s'avère une solution qui peut remédier à la pénurie et à la pression qui s'exerce sur les ressources hydriques, il serait intéressant d'étudier la relation entre importations et ressources en eau. Autrement, peut-on dire que le volume des importations des

21 Wichelns Denis (2001) « The role of 'virtual water' in efforts to achieve food security and other national goals, with an example of Egypt », *Agricultural Water Management* 49, p132. <http://www.elsevier.com/locate/agwat>

22Allan, J.A. (1998): "Virtual Water: A Strategic Resource: Global Solutions to Regional Deficits." *Groundwater* 22 .36, No. 4: 546

23 Wichelns Denis (2001): op.cit, p132.

24 Wichelns Denis (2001): op.cit, p132.

aliments et des produits agricoles en Tunisie peut être considéré comme un indicateur de déficit en eau? Si oui, quelles seront les solutions à envisager?

Pour répondre à cette question, nous utiliserons le modèle qui a été fait par l'auteur Hassan Hakimian(2003)²⁵ à travers lequel il a pu vérifier que le volume des importations est une caractéristique commune pour les pays qui souffrent d'une pénurie d'eau. Ce qui fera l'objet de la section suivante.

Section 2. Analyse empirique :

Dans cette section, nous essayerons de vérifier l'hypothèse qui stipule que le volume des importations des aliments est un indicateur de déficit en eau. Nous utiliserons le modèle utilisé par Hassan Hakimian(2003) sur le cas de Tunisie pour la période allant de 1980 jusqu'à 2005. Une série d'équation est utilisée pour étudier la relation²⁶ entre les importations et le déficit en eau:

$$Magf_t = \alpha + \beta (W/N)_t + \delta (L/N)_t + \lambda P_t + \mu_t \quad (1)$$

$$Mcer_t = \alpha + \beta (W/N)_t + \delta (L/N)_t + \lambda P_t + \mu_t \quad (2)$$

$$Mfd_t = \alpha + \beta (W/N)_t + \delta (L/N)_t + \lambda P_t + \mu_t \quad (3)$$

$$(Magf/Mtot)_t = \alpha + \beta (W/N)_t + \delta (L/N)_t + \lambda R_t + \mu_t \quad (4)$$

$$(Mcer/Mtot)_t = \alpha + \beta (W/N)_t + \delta (L/N)_t + \lambda R_t + \mu_t \quad (5)$$

$$(Mfd/Mtot)_t = \alpha + \beta (W/N)_t + \delta (L/N)_t + \lambda R_t + \mu_t \quad (6)$$

Avec :

- **Magf** : les importations des produits agricoles et alimentaires.
- **Mcer** : les importations des céréales.
- **Mfd** : les importations des aliments.
- **Mtot** : les importations totales.
- **(W/N)_t** : le ratio eau/terre.
- **(L/N)_t** : le ratio travail/terre.
- **P_t** : population.
- **R_t** : pourcentage des terres irriguées dans le total des terres cultivées.
- **μ_t** : le terme d'erreur sujet des suppositions habituelles du modèle de régression linéaire classique.

25 Hakimian.H (2003) : op.cit, p 6

26 Hakimian.H (2003) : op.cit, p 6

Remarque: Toutes les variables sont exprimées en log.

2.1. Résultats et interprétations:

2.1.1. Équation (1) :

En appliquant une régression économétrique par la méthode de moindres carrés ordinaires sur les importations combinées de produits agricoles et d'aliments sur le logiciel Eviews (Annexe 1), plusieurs remarques très importantes sont apparues. La qualité d'estimation est assez bonne puisque $R^2 = 0,687$ mais la majorité des paramètres sont non significatifs à un seuil critique de 5% ($\text{Prob}(T\text{-stat}) > 0,05$) ce qui indique, peut-être, une mauvaise spécification du modèle. En effet, on remarque qu'il y a présomption d'autocorrélation des erreurs puisque la statistique de Durbin et Watson (DW) $\ll 2$, c'est pour cette raison qu'on va faire le test spécifique de Durbin et Watson pour décider d'une éventuelle autocorrélation des erreurs.

- Test d'autocorrélation des erreurs (Durbin et Watson): on va tester les hypothèses suivantes :

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

La statistique du test DW = 0,8. Au seuil de 5%, la lecture de la table de Durbin-Watson dans le cas où trois variables exogènes figurent dans le modèle et avec $N = 26$ donne $d_1 = 1,14$ et $d_2 = 1,65$. On constate que $DW < d_1$: on rejette l'hypothèse nulle d'absence d'autocorrélation au profit de l'hypothèse alternative selon laquelle les résidus sont positivement autocorrélés d'ordre 1.

Ainsi, les paramètres estimés ne sont pas BLUE (non à variance minimale) c'est pour cela qu'on va corriger le modèle en ajoutant un AR(1) et l'équation sera la suivante:

$$\text{Magf}_t = \alpha + \beta (W/N)_t + \delta (L/N)_t + \lambda P_t + \theta \text{AR}(1) + \mu_t \quad (1)'$$

Les résultats sont présents dans l'annexe 2 et ci-dessous son interprétation :

- $R^2 = 0,869$ donnant une idée sur la bonne spécification et régression. Nous remarquons qu'elle a augmenté par rapport à la première spécification.
- Le modèle est globalement significatif; $\text{Prob}(F\text{-stat}) < 0,05$.
- Tous les paramètres sont significativement différents de zéro pour un seuil critique de 5%. En effet, $\text{Prob}(t\text{-stat}) < 0,05$ (sauf pour δ qui n'est significative que pour un risque de 8%). La constante seule est non significative.
- $\text{MAGF} = -6.255468387 - 0.1497494741 * L_N + 1.423250853 * W_N + 3.486765463 * P + [\text{AR}(1)=0.588973684]$

L'augmentation de la population de 1% fait augmenter les importations des aliments et de produits agricoles de 3.48%. Par contre l'augmentation du travail sur terre d'un pourcentage similaire fait décroître l'importation de 0,149% ce qui est fortement corrélé avec la théorie économique. La remarque la plus importante ici concerne la corrélation positive entre l'importation actuelle et l'importation retardée d'une année. En effet l'importation des aliments et produits agricoles de l'année précédente influence positivement l'importation de l'année actuelle. En d'autres termes si on augmente l'importation actuelle de 1 unité on s'attendrait à ce que l'importation de l'année prochaine augmenterait de 0,588 unités.

2.1.2. Équation (2) :

De la même manière que précédemment et on lisant la sortie du logiciel en Annexe 3, on remarque que le modèle est caractérisé par une autocorrélation des résidus. En effet, la statistique de $DW = 0,988 < d_l$; ce qui implique une autocorrélation positive entre les erreurs c-à-d :

$$\mu_t = \rho \mu_{t-1} + \varepsilon_t$$

Après correction du modèle on a aboutit aux résultats suivants :

$$MCER = 2.575755851 - 0.2994868195 * L_N + 2.369035694 * W_N + 2.536074483 * P + [AR(1)=0.7444396872]$$

- modèle globalement significatif: F-stat = 12,408 > F(2 ; 20)
- tous les paramètres de l'équation (sauf la constante) sont significativement différents de 0 puisque la Prob(T-stat) est inférieure au seuil critique.
- La qualité d'estimation est assez bonne et elle s'est améliorée : $R^2 = 0,712$.
- Une relation positive entre l'importation de l'année dernière et de l'année actuelle (0,744).

De plus, l'effet d'une augmentation de la population de 1% fait augmenter l'importation des céréales de 2,536% ; et de même la quantité de l'eau sur terre est positivement corrélée avec l'importation des céréales qui va augmenter de 2,369% suite à une consommation supplémentaire en eau de 1%. cette conclusion est très visuelle dans la pratique du cas tunisien. En effet, l'augmentation de l'eau sur terre va entraîner l'augmentation des exportations des produits qui n'ont pas un besoin intensif en eau tels que les huiles d'olives et les Dattes. Mais, en contre partie elle va importer des denrées agricoles (tel que les céréales) pour compenser le manque de production locale. Cette importation constitue pour ce pays semi-aride une bonne alternative pour économiser d'énormes volumes d'eau qui auront pu être utilisés en agriculture.

2.1.3. Équation (3) :

L'estimation de l'équation (3) donnant la régression des importations des aliments en fonction du travail sur terre, eau sur terre et population (Annexe 5) a donné une bonne qualité de régression et spécification du modèle. En effet, le modèle est globalement significatif, le $R^2 = 0,674$ et une absence d'autocorrélation des résidus. Sur un autre plan, Le facteur qui influe le plus sur les importations des aliments est le facteur population P, puisque son paramètre λ est significativement différent de zéro pour un seuil critique de 1%. En plus, l'augmentation de la population de 1% entraîne l'augmentation des importations des aliments de 2,396%.

2.1.4. Équation (4) :

La première remarque ici, porte sur la corrélation des erreurs. $DW = 0,979 < d_l$ (Annexe 6) donc il y a autocorrélation positive des erreurs et par suite les paramètres de l'équation sont mal estimés et on doit par conséquent corriger le modèle en lui appliquant un filtre de premier ordre, ce qui a été fait en annexe 7.

$$(Magf/Mtot)_t = \alpha + \beta (W/N)_t + \delta (L/N)_t + \lambda R_t + \theta AR(1) + \mu_t \quad (4)'$$

$$LOG_MAGF_MTOT_ = 3.858377291 - 0.1131407613*L_N + 1.585490408*W_N - 0.3268625508*R + [AR(1)=0.4748360127]$$

Le paramètre λ est significativement différent de zéro à un seuil critique de 5%, et en plus l'augmentation de 1% du pourcentage des terres irriguées par rapport aux terres cultivées fait diminuer le ratio des importations d'aliments et de produits agricoles par rapport aux importations totales de 0,326%. De son côté, le paramètre β est fortement significatif et différent de zéro à un seuil critique égal même à 4%. L'augmentation d'une unité du ratio (W/N) fait augmenter la production et par conséquent les exportations ce qui influe par la suite sur la consommation locale et sur les décisions d'importations puisque la Tunisie importe au fur et à mesure qu'elle exporte.

2.1.5. Équation (5) :

De façon similaire aux équations précédentes, on a affaire à une correction du modèle de son biais d'estimation réalisé suite à la corrélation des résidus (Annexe 8; $DW = 1,1$) en ayant recours au modèle auto-régressif de premier ordre. Un résumé des résultats délivrés en Annexe 9 est le suivant :

$$(Mcer/Mtot)_t = \alpha + \beta (W/N)_t + \delta (L/N)_t + \lambda R_t + \theta AR(1) + \mu_t \quad (5)'$$

$$LOG_MCER_MTOT_ = 8.446462493 - 0.259358134*L_N + 2.411789273*W_N - 0.4580597007*R + [AR(1)=0.7544508881]$$

- significativité globale du modèle avec une assez bonne qualité de régression.

- Le paramètre λ est significativement différent de zéro à un seuil critique de 5%. Nous remarquons que l'augmentation du pourcentage des terres irriguées de 1% fait diminuer le rapport des céréales par rapport aux importations totales de 0,45%. En effet, étant des cultures intensives en eau, le recours à l'augmentation de la consommation de l'eau en irrigation permet de diminuer les importations des céréales et en même temps d'augmenter les exportations tunisiennes en céréales et plus particulièrement en blé dur très bien réputé pour sa qualité. Ce qui explique d'ailleurs la significativité du paramètre β à un seuil critique de 2%.

2.1.6. Équation (6):

Dans cette sixième équation estimée, on a un modèle qui est bien formulé et parfaitement spécifié.

$$(Mfd/Mtot)_t = \alpha + \beta (W/N)_t + \delta (L/N)_t + \lambda R_t + \mu_t \quad (6)$$

$$\text{LOG_MFD_MTOT_} = 0.4794084936 - 0.1347659338 * L_N + 0.6689585509 * W_N - 0.594020747 * R$$

Avec Prob(F-statistic) = 0.000000 <5% et F-statistic=28.69> F(4,22)) ce qui nous permet de conclure que le modèle est globalement significatif avec une qualité de régression très bonne R^2 est égale à 0.79.

Nous remarquons que λ est fortement significatif à un seuil critique égal à 5%. En effet, l'augmentation de R, désignant le pourcentage des terres irriguées dans le total des terres cultivées, de 1% fait diminuer le rapport MFD/MTOT de 0,594%. Ceci est dû à l'augmentation de la production des aliments suite à l'accroissement des terres irriguées c'est-à-dire suite à l'utilisation d'un volume important d'eau.

Nous déduisons aussi que β est significativement différent de zéro à un seuil critique de 5%. Économiquement, ceci nous mène à conclure que lorsque les prélèvements en eau deviennent importantes, la production nationale augmente et par conséquent une grande part de cette production sera destinée à l'exportation pour pouvoir générer des devises. En même temps, la Tunisie opte pour l'importation de certains produits qu'elle peut assurer leur production localement mais qui s'avèrent très compétitifs sur le marché mondial.

2.2. L'application du concept de l'eau virtuelle pour la Tunisie:

Lors du troisième forum mondial sur l'eau tenu en 2003, Daniel Renault de la FAO a pris l'exemple de la Tunisie comme pays aride et a dit en cette occasion: «l'huile d'olive est un excellent produit qui peut être produit dans les climats arides. La Tunisie est un exemple de pays qui a eu un recours réussi en produisant l'huile d'olive comme une source d'exportation d'eau virtuelle.»²⁷.

27 www.wateryear2003.org/en/ev.

La Tunisie produit en moyenne chaque année $717 \cdot 10^3$ tonnes d'huile d'olive et exporte environ $96.4 \cdot 10^3$ tonnes par année (tableau 2). Le climat tunisien correspond aux caractéristiques de production d'huile d'olive surtout que cette culture n'a pas de besoin intensif en eau donc se limite aux précipitations et ne nécessite pas une irrigation continue. De plus, le pays dispose de grandes surfaces destinées à la production et ce produit bénéficie d'une bonne qualité ce qui l'a rendu demandé sur le marché mondial.

Ceci nous mène à conclure que la Tunisie aura un avantage dans la production d'huile d'olive qui n'est pas intensif en eau et peut abandonner en contrepartie la production des cultures maraîchères qui nécessitent beaucoup d'eau. La Tunisie peut alors gagner à l'échange. Sachant que les coûts de mobilisation de l'eau sont énormes, ces dépenses peuvent être destinées à financer d'autres projets plus rentables et à améliorer la compétitivité. Toutefois, les exportations tunisiennes en huile d'olive pourront être menacées par d'autres produits substitués tel que l'huile de soja, l'huile de tournesol...

Conclusion:

Dans ce papier, nous avons au départ donné un aperçu sur les caractéristiques générales de l'agriculture tunisienne. Nous remarquons que cette dernière est diversifiée selon la nature des cultures et les sites de production et dépend fortement des conditions climatiques et de la disponibilité des facteurs de production. La Tunisie est un petit pays dont les ressources hydriques sont assez limitées et inégalement réparties entre les différentes régions. La Tunisie est aussi classée parmi les pays qui devront faire face aux cours des années à venir à une pénurie d'eau et un stress hydrique qui s'accroîtra davantage avec la croissance de la consommation de l'eau dans différents secteurs et plus particulièrement dans le secteur agricole en irrigation.

Malgré les efforts déployés en agriculture pour parvenir à assurer les besoins nécessaires de la population, la Tunisie importe aussi des denrées agricoles pour compenser le manque de production locale. Cette importation constitue pour ce pays semi-aride une bonne alternative pour économiser d'énormes volumes d'eau qui auront pu être utilisés en agriculture. A travers donc l'échange des produits agricoles, on peut dire qu'on échange aussi de l'eau mais sous sa forme virtuelle. Ceci constitue le concept de l'eau virtuelle introduit au début des années 90 pour qualifier l'échange de l'eau à travers le commerce de produits agricoles.

Plusieurs auteurs interprètent le volume important des importations d'aliments et produits agricoles comme étant un indicateur de déficit en eau. Nous avons donc essayé de vérifier cette hypothèse pour le cas de la Tunisie sur la période allant de 1980 jusqu'à 2005 à travers le modèle utilisé par Hassan Hakimian en 2003.

Nous avons pu déduire d'après les résultats trouvés que les importations d'aliments et de produits agricoles pour la Tunisie sont fortement liées à l'irrigation autrement dit à l'utilisation de l'eau en agriculture. Cette dernière permet de minimiser les quantités importées puisque le pays serait en mesure de satisfaire ses besoins locaux à travers sa production nationale et par conséquent d'assurer la sécurité alimentaire des citoyens.

Toutefois, ceci a l'inconvénient majeur d'exercer une forte pression sur les ressources hydriques du pays dont les volumes diminuent de plus en plus à cause des changements climatiques, de mauvaises exploitations, de l'inefficience de l'utilisation de l'eau...

Le concept de l'eau virtuelle constitue une opportunité pour un pays comme la Tunisie de se spécialiser dans la production des denrées agricoles les moins intensives en eau telle que: l'huile d'olive, les dattes et par conséquent les exporter. L'eau qui aurait pu être utilisée pour produire certains biens agricoles qu'on peut en avoir des marchés internationaux peut alors être destinée à d'autres utilisations dans d'autres activités dont la valeur ajoutée serait importante.

Annexes

Annexe 1

Dependent Variable: MAGF
Method: Least Squares
Date: 03/25/09 Time: 23:32
Sample: 1980 2005
Included observations: 26

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-8.853542	5.011060	-1.766800	0.0911
L_N	-0.147268	0.136872	-1.075955	0.2936
W_N	0.145008	0.662346	0.218931	0.8287
P	3.162703	0.823981	3.838318	0.0009
R-squared	0.687247	Mean dependent var		3.114446
Adjusted R-squared	0.644599	S.D. dependent var		0.225688
S.E. of regression	0.134545	Akaike info criterion		-1.033197
Sum squared resid	0.398252	Schwarz criterion		-0.839643
Log likelihood	17.43155	F-statistic		16.11439
Durbin-Watson stat	0.800882	Prob(F-statistic)		0.000009

Annexe 2

Dependent Variable: MAGF
Method: Least Squares
Date: 03/26/09 Time: 01:41
Sample (adjusted): 1981 2005
Included observations: 25 after adjustments
Convergence achieved after 6 iterations

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-6.255468	5.209699	-1.200735	0.2439
L_N	-0.149749	0.078545	-1.906544	0.0711
W_N	1.423251	0.642337	2.215740	0.0385
P	3.486765	1.107793	3.147489	0.0051
AR(1)	0.588974	0.143833	4.094840	0.0006
R-squared	0.869019	Mean dependent var		3.117607
Adjusted R-squared	0.842822	S.D. dependent var		0.229754
S.E. of regression	0.091087	Akaike info criterion		-1.777137
Sum squared resid	0.165939	Schwarz criterion		-1.533362
Log likelihood	27.21421	F-statistic		33.17334
Durbin-Watson stat	2.262772	Prob(F-statistic)		0.000000
Inverted AR Roots	.59			

Annexe 3

Dependent Variable: MCER
Method: Least Squares
Date: 10/20/08 Time: 11:13
Sample: 1980 2005
Included observations: 26

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-3.131696	5.618086	-0.557431	0.5829
L_N	-0.203375	0.153452	-1.325336	0.1987
W_N	0.084997	0.742581	0.114461	0.9099
P	2.227248	0.923796	2.410974	0.0247
R-squared	0.445030	Mean dependent var		5.350516
Adjusted R-squared	0.369352	S.D. dependent var		0.189947
S.E. of regression	0.150844	Akaike info criterion		-0.804509
Sum squared resid	0.500583	Schwarz criterion		-0.610956
Log likelihood	14.45862	F-statistic		5.880589
Durbin-Watson stat	0.988862	Prob(F-statistic)		0.004166

Annexe 4

Dependent Variable: MCER
Method: Least Squares
Date: 03/26/09 Time: 16:10
Sample (adjusted): 1981 2005
Included observations: 25 after adjustments
Convergence achieved after 9 iterations

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	2.575756	10.44300	0.246649	0.8077
L_N	-0.299487	0.091478	-3.273860	0.0038
W_N	2.369036	0.764244	3.099840	0.0056
P	2.536074	2.537148	2.999577	0.03295
AR(1)	0.744440	0.141278	5.269306	0.0000
R-squared	0.712780	Mean dependent var		5.353818
Adjusted R-squared	0.655335	S.D. dependent var		0.193101
S.E. of regression	0.113366	Akaike info criterion		-1.339531
Sum squared resid	0.257038	Schwarz criterion		-1.095756
Log likelihood	21.74413	F-statistic		12.40823
Durbin-Watson stat	2.511685	Prob(F-statistic)		0.000031
Inverted AR Roots	.74			

Annexe 5

Dependent Variable: MFD

Method: Least Squares

Date: 03/26/09 Time: 22:07

Sample: 1980 2005

Included observations: 26

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-7.267497	3.369610	-2.156777	0.0422
L_N	-0.128180	0.092037	-1.392701	0.1776
W_N	-0.215308	0.445384	-0.483422	0.6336
P	2.396100	0.554074	4.324514	0.0003
R-squared	0.674936	Mean dependent var		2.797551
Adjusted R-squared	0.630609	S.D. dependent var		0.148859
S.E. of regression	0.090473	Akaike info criterion		-1.826897
Sum squared resid	0.180077	Schwarz criterion		-1.633344
Log likelihood	27.74967	F-statistic		15.22633
Durbin-Watson stat	1.164698	Prob(F-statistic)		0.000014

Annexe 6

Dependent Variable: LOG_MAGF_MTOT_

Method: Least Squares

Date: 03/26/09 Time: 22:56

Sample: 1980 2005

Included observations: 26

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.880832	1.096147	1.715857	0.1002
L_N	-0.146127	0.090616	-1.612604	0.1211
W_N	0.916031	0.390742	2.344338	0.0285
R	-0.274167	0.147485	-1.858945	0.0765
R-squared	0.267946	Mean dependent var		-0.647576
Adjusted R-squared	0.168121	S.D. dependent var		0.101405
S.E. of regression	0.092489	Akaike info criterion		-1.782818
Sum squared resid	0.188192	Schwarz criterion		-1.589265
Log likelihood	27.17664	F-statistic		2.684148
Durbin-Watson stat	0.979753	Prob(F-statistic)		0.071553

Annexe 7

Dependent Variable: LOG_MAGF_MTOT_

Method: Least Squares

Date: 03/26/09 Time: 23:06

Sample (adjusted): 1981 2005

Included observations: 25 after adjustments

Convergence achieved after 6 iterations

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	3.858377	1.381531	2.792828	0.0112
L_N	-0.113141	0.065452	-1.728602	0.0993
W_N	1.585490	0.478296	3.314871	0.0035
R	-0.326863	0.171573	-1.905093	0.0412
AR(1)	0.474836	0.164204	2.891740	0.0090

R-squared	0.554001	Mean dependent var	-0.652936
Adjusted R-squared	0.464801	S.D. dependent var	0.099666
S.E. of regression	0.072913	Akaike info criterion	-2.222244
Sum squared resid	0.106326	Schwarz criterion	-1.978469
Log likelihood	32.77805	F-statistic	6.210779
Durbin-Watson stat	2.124396	Prob(F-statistic)	0.002037

Inverted AR Roots	.47
-------------------	-----

Annexe 8

Dependent Variable: LOG_MCER_MTOT_

Method: Least Squares

Date: 10/14/08 Time: 10:23

Sample: 1980 2005

Included observations: 26

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.301371	1.364290	3.152828	0.0046
L_N	-0.204506	0.112783	-1.813275	0.0835
W_N	1.130213	0.486326	2.323981	0.0298
R	-0.736193	0.183564	-4.010556	0.0006

R-squared	0.530912	Mean dependent var	1.588494
Adjusted R-squared	0.466945	S.D. dependent var	0.157667
S.E. of regression	0.115114	Akaike info criterion	-1.345153
Sum squared resid	0.291526	Schwarz criterion	-1.151600
Log likelihood	21.48699	F-statistic	8.299838
Durbin-Watson stat	1.100426	Prob(F-statistic)	0.000706

Annexe 9

Dependent Variable: LOG_MCER_MTOT_

Method: Least Squares

Date: 03/26/09 Time: 23:32

Sample (adjusted): 1981 2005

Included observations: 25 after adjustments

Convergence achieved after 16 iterations

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	8.446462	2.019704	4.182029	0.0005
L_N	-0.259358	0.080128	-3.236816	0.0041
W_N	2.411789	0.667282	3.614348	0.0017
R	-0.458060	0.370369	-3.236764	0.0505
AR(1)	0.754451	0.140252	5.379251	0.0000

R-squared	0.665090	Mean dependent var	1.583275
Adjusted R-squared	0.598108	S.D. dependent var	0.158609
S.E. of regression	0.100550	Akaike info criterion	-1.579460
Sum squared resid	0.202208	Schwarz criterion	-1.335684
Log likelihood	24.74324	F-statistic	9.929393
Durbin-Watson stat	2.176362	Prob(F-statistic)	0.000136

Inverted AR Roots	.75
-------------------	-----

Annexe 10

Dependent Variable: LOG_MFD_MTOT_

Method: Least Squares

Date: 10/16/08 Time: 09:57

Sample: 1980 2005

Included observations: 26

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.479408	0.612499	0.782709	0.4421
L_N	-0.134766	0.050634	-2.661580	0.0143
W_N	0.668959	0.218336	3.063888	0.0057
R	-0.594021	0.082411	-7.208020	0.0000

R-squared	0.796468	Mean dependent var	-0.964472
Adjusted R-squared	0.768714	S.D. dependent var	0.107461
S.E. of regression	0.051680	Akaike info criterion	-2.946837
Sum squared resid	0.058759	Schwarz criterion	-2.753284
Log likelihood	42.30888	F-statistic	28.69708
Durbin-Watson stat	1.696970	Prob(F-statistic)	0.000000

Bibliographies

- **Allan, J.A. (1998):** “Virtual Water: A Strategic Resource: Global Solutions to Regional Deficits.” *Groundwater* 36, No. 4: 546.
- **Hakimian.H (2003) :** «Water scarcity and food imports :An empirical investigation of the ‘virtual water’ hypothesis in the MENA region», *Review of the middle east economics and finance*, Lon on, UK, Tylors and Francis.
- **Wichelns Denis (2001):** «The role of ‘virtual water ‘in efforts to achieve food security and other national goals, with an example of Egypt», *Agricultural Water Management* 49, p132.

Organisations consultées

- Banque centrale tunisienne.
- Food and agriculture organization.
- Ministère de l’Agriculture et des Ressources Hydrauliques: «*Enquête sur les Structures des Exploitations Agricoles 2004-2005*».

sites

- www.bct.gov.tn/bct/siteprod/francais/publications/rapport.jsp.
- www.elsevier.com/locate/agwat.
- www.fao.org.
- www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/irrwatuse.htm.
- [ftp.fao.org/agl/aglw/docs/eau_agric.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/eau_agric.pdf).
- www.tunisie.com.
- www.onagri.nat.tn/Act_pro.
- www.wateryear2003.org/en/ev.
- www.UNCTAD.org.