

Economic Evaluation of water irrigation: case of PPI Nadhour

Une évaluation économique de l'eau d'irrigation : Cas des PPI de Nadhour

H. ABDELHAFIDH¹, M. S. BACHTA²

¹ Ecole supérieure d'Agriculture de Mograne, Université de Carthage, Carthage, Tunisia

² Institut National Agronomique de Tunis, Université de Carthage, Carthage, Tunisia

*Corresponding author: Abdelhafidhassen@yahoo.fr

Abstract – Assessing the value of irrigation water is essential for supporting policy decision making regarding investments in the irrigation sector, efficient water allocation, water pricing and to compare the different impacts of water reform policies in sectors of the economy. This article asks the following questions: Is current usage effective? How much a user is willing to pay for the irrigation water?

An analytical framework is developed to estimate the value of irrigation water from underground resources managed by local water users in the Nadhour (zaghouan) area.

The estimation of these values allowed us to derive the demand curves at the level of the studied perimeters and the possible consequences for the sustainability of the resource.

Keywords: efficient allocation, opportunity cost, water value, groundwater, water demand, willingness to pay, sustainability, Nadhour, Tunisia.

Résumé - L'évaluation de la valeur de l'eau d'irrigation est essentielle pour éclairer la prise de décision politique, concernant les investissements dans le secteur de l'irrigation, l'allocation efficace et la tarification de l'eau d'irrigation et pour comparer les divers impacts des réformes politiques hydrauliques au sein des secteurs de l'économie. Les questions qui se posent dans cet article : est ce que l'usage actuel est efficace ? De combien un usager serait disposé à payer pour l'eau d'irrigation.

Un cadre analytique est développé pour estimer la valeur de l'eau d'irrigation des ressources souterraines gérées par les groupements de développement agricole dans la zone de Nadhour (zaghouan). L'estimation de ces valeurs nous a permis de dériver les courbes de demande au niveau des périmètres étudiés et les conséquences éventuelles sur la durabilité de la ressource.

Mots clés : Allocation efficace, coût d'opportunité, valeur de l'eau, eaux souterraines, demande de l'eau, Disposition à payer, Durabilité, Nadhour, Tunisie.

1. Introduction

L'eau souterraine constitue la plus grande réserve en eau douce liquide de la planète, environ 8 à 10 millions de km³, soit entre 98 et 99 % du total. Dans plusieurs régions du monde, en effet, les populations exploitent l'eau souterraine comme elles exploiteraient une mine, c'est-à-dire jusqu'à épuisement de la ressource. Dans ces cas-là, lorsque l'eau souterraine ne suffit plus, la solution consiste souvent à recourir à des transferts coûteux de gros volumes d'eau sur des distances qui peuvent parfois atteindre plusieurs centaines de kilomètres, entraînant des gaspillages d'eau et des surcoûts importants.

Les eaux souterraines font partie d'une catégorie de ressources difficiles à appréhender. Elles relèvent typiquement des biens d'environnement et semblent appartenir à tout le monde, en même temps qu'elles n'appartiennent à personne. Elles sont souvent perçues comme des ressources à accès libre, facile et moins coûteux que l'accès à d'autres ressources. L'absence ou la mauvaise définition et application des institutions qui régissent l'accès et l'usage de ces ressources conduisent toujours à ce qu'on appelle la tragédie de Harddin. En effet l'aspect commun des ressources en eaux souterraines et le développement des politiques agricoles pour l'encouragement de l'agriculture en irriguée à mener à une surexploitation spectaculaire dans le monde et notamment dans les régions à climats arides ou semi-aride où ces



ressources sont considérés permanentes et constituent une source de profitabilité élevée (Abdelhafidh et Bachta, 2016 ; Blanco, 2007).

La Tunisie, est un pays à climat aride caractérisé par une irrégularité spéciale et temporelle des précipitations, souffre d'une pénurie en ressource en eau de sorte que l'irrigation devient nécessaire pour l'agriculture. Elle apparaît comme un impératif technique pour régler et accroître la production agricole des régions à déficit pluviométrique. Comme dans la plupart des pays à climat aride et semi aride, le secteur agricole, par le biais de l'irrigation, reste l'activité la plus consommatrice d'eau soit 83% du volume distribué à tous les secteurs.

Les tensions sur l'eau, en particulier dans les périmètres privés irrigués à partir des nappes, et la concurrence entre les différents secteurs de développement constituent de sérieuses menaces pour l'avenir des réserves hydriques souterraines couplés à une mauvaise allocation conduira à un usage non durable. Dans ce papier nous essayons d'étudier le système d'irrigation dans l'aquifère de Nadhour où l'extraction des eaux souterraines dépassent largement le taux de recharge naturel. Les perspectives de croissance de la consommation en eau sont en effet inquiétantes. L'émergence des forages illicites au niveau de cet aquifère aggrave la situation. Par conséquent, l'amélioration de la gestion de l'eau agricole est nécessaire pour maximiser les avantages tirés des ressources limitées en eau de la région.

Cependant, le décideur public souvent manque de l'information quant à l'usage de l'eau d'irrigation aussi bien pour la valeur unitaire de l'eau d'irrigation parmi les différentes activités agricoles que pour sa contribution relative au développement économique local. Par conséquent il n'arrive pas à prendre les mesures adéquates pour concilier entre les différents usagers sous des différents aspects de gouvernance. Les questions dans ce papier sont : est ce que l'usage actuel est efficace ? De combien un usager serait disposé à payer pour l'eau d'irrigation ? Comment évoluent les systèmes de production avec l'évolution des prix ? ces informations seront autant très utiles pour les agriculteurs, les gestionnaires de la ressource et le décideur public. Etre muni de l'information sur la valeur de l'eau, l'agriculteur peut prévoir les activités à entreprendre, la superficie à emblaver, le capital et la main d'œuvre à mobiliser et la technologie à adopter (young, 2005). La valeur de l'eau dans les différents usages constitue une clé dans le processus de prise de décision et joue un rôle critique dans la gestion efficace de l'offre ainsi que son allocation entre les cultures (Renwick 2001). Du côté politique, la connaissance de la valeur de l'eau des différentes cultures et dans les différentes régions aidera à maximiser la productivité de l'eau à travers une allocation efficace pour tout développement futur de l'agriculture et d'examiner les effets de toute action politique future.

Les modèles de programmation mathématique sont utiles pour l'examen de l'allocation de ressources limitées pour satisfaire les besoins envisagés ou pour optimiser la valeur d'une fonction objective donnée, souvent soumise à des contraintes.

Les résultats de l'analyse d'optimisation peuvent être utilisés par les planificateurs agricoles et les agriculteurs à évaluer leurs modèles cultureux (Loucks et al, 1981; Haouari et Azaiez, 2001).

Ensuite évaluer le bilan économique et environnemental de cet usage, enfin estimer la demande en eau dans un contexte de raréfaction de la ressource en déterminant le prix implicite de l'eau. En effet les prix représentent les signaux et les incitations nécessaires à une bonne utilisation de l'eau. Ils incitent également les producteurs à fournir de l'eau à des niveaux optimaux. La protection sociale et l'efficacité de la répartition des ressources sont maximisées lorsque les prix de l'eau sont égaux au coût économique de sa production (et distribution). C'est en ce sens que l'on considère l'eau comme un bien économique.

2. Cadre théorique

Nous exposons ici, dans un premier temps, la démarche théorique pour obtenir la fonction de demande en eau à usage agricole. Dans un second temps, la procédure numérique de résolution est décrite

L'évaluation de la demande en eau à usage agricole repose sur le calcul de la valeur de l'eau pour l'agriculteur. Ce dernier utilise l'eau d'irrigation tant que le bénéfice retiré de l'usage d'une unité supplémentaire d'eau couvre le coût de celle-ci. *Dans un contexte de rareté de la ressource, la valeur de l'eau en tant que bien économique pour un utilisateur est le montant maximum d'argent qu'il serait prêt à payer pour utiliser ce bien.* Lorsque des rationnements en eau sont introduits, l'agriculteur serait certainement disposé à payer plus que le coût d'accès pour irriguer plus. On s'intéresse alors **au coût d'opportunité d'une unité supplémentaire de la ressource**. Il représente la disposition à payer de l'agriculteur pour utiliser une unité supplémentaire de la ressource. Cette disposition à payer est définie, à l'optimum, comme la dérivée de la fonction objectif optimisée (notée U), évaluée pour le niveau de

quota considéré. Ainsi, la connaissance de la fonction $\frac{\partial U}{\partial Q}$ pour tous les niveaux de quotas Q possibles, permet d'évaluer la fonction de disposition à payer maximale du producteur agricole (Bontemps et al, 2003). Cette fonction n'est rien d'autre que la fonction implicite de demande en eau agricole. Ces valeurs peuvent donc être calculées une fois connue la fonction objective optimisée. Dans notre problème, le critère est la fonction de profit (marge brute) de l'agriculteur que l'on va chercher à optimiser.

3. Données et méthodologie

3.1. Choix de la Zone d'étude

Ce travail a pris comme cas d'étude les systèmes de production irriguée dans la délégation de Nadhour (Zaghouan). Cette délégation compte environ 28550 habitants et couvre 38200 Ha, soit 14% de la superficie du gouvernorat dont 62% représente la superficie Agricole utile (SAU). La superficie irriguée représente 13% de la SAU.

La délégation de Nadhour forme un bourg au centre d'une plaine agricole fertile spécialisé dans les céréalicultures, les cultures maraichères et l'élevage. La superficie Agricole totale est répartie en 61.3% Terres labourables, 23% forêts 10.1% de parcours et 5.6% d'incultes. La délégation de Nadhour appartient à l'étage bioclimatique semi aride inférieur à hiver doux et été chaud et sec. La pluviométrie annuelle moyenne est de 372 mm avec une grande irrégularité saisonnière. La température varie de 4°C en hiver à 40°C en été. Ces caractéristiques d'aridité climatique fait du recours à l'irrigation un besoin ascendant.

3.2. Les ressources en eaux

La délégation de Nadhour est dotée d'importantes ressources en eau caractérisées par la nappe synclinale Nadhour Saouaf qui s'étend sur 400 km² dans le gouvernorat de Zaghouan et 500 km² dans le gouvernorat de Kairouan.

Tableau 1. Les ressources en eau dans la délégation de Nadhour

Nombre	eaux de surfaces		eaux souterraines	
	barrages	Lacs	Nappes phréatiques	nappes profondes
capacité (million de m ³)	3.920	1.114	2	8

CRDA Zagouan, 2014

Les ressources en eau s'élèvent à environ 14 million de m³ dont les 2/3 sont des eaux souterraines. Les nappes profondes constituent 80% des eaux souterraines et 58% des ressources totales. Les eaux de surfaces sont collectées par 2 barrages et 9 lacs collinaires.

Les eaux souterraines sont exploitées par 240 puits de surfaces 166 forages dont 120 privés.

Ces ressources ont permis d'irriguer environ 3050 ha répartis en 51% PI publics et 49% PI privés. Les cultures maraichères constituent environ 65% des superficies irriguées.

La gestion de la demande en eau est assurée par les GDAs. Ils sont au nombre de 34 dont 17 se chargent de l'irrigation, 10 de l'eau potable et 7 mixtes. Ces groupements assurent la vente de l'eau aux usagers, de la maintenance et de l'entretien des réseaux. Le mode de tarification le plus utilisé est la tarification volumétrique. Le tarif de l'eau d'irrigation varie de 0.085 à 0.13 DT/m³. Cependant dans d'autres périmètres on pratique la tarification en fonction du nombre d'heures d'irrigation des adhérents à ces GDAs.

3.3. Méthodologie

- Préparation d'une base de données moyennant une enquête sur terrain dans une zone à définir auprès des différents acteurs (exploitants, groupements, administration...).
- Sélection des exploitations représentatives à partir d'une typologie et le mode d'irrigation associé qui représente le secteur agricole dans la région.

- Elaboration d'un modèle mathématique linéaire d'optimisation sous contraintes pour simuler les comportements des producteurs sous différents scénarios de politiques agricoles. Le modèle de programmation mathématique maximise le profit espéré compte tenu des contraintes individuelles spécifiques (techniques, économiques, social et politiques).

Le modèle

Pour analyser l'effet des différentes options politiques on développe un modèle mathématique linéaire d'optimisation sous contraintes. Le modèle optimise une fonction de profit espéré.

La spécificité du modèle vise à évaluer la valeur de l'eau d'irrigation pour l'agriculteur dans un contexte de rareté de la ressource en eau. On définit la valeur de l'eau comme étant la disposition à payer pour obtenir une unité supplémentaire lorsqu'il fait face à une offre d'eau limitée.

Dans un premier temps, il convient de formaliser précisément le comportement de l'agriculteur. L'agriculteur doit répartir au mieux une offre d'eau limitée au cours de la saison. Il s'agit alors de déterminer les quantités d'eau à appliquer au cours de la saison pour une culture donnée sur la base de la maximisation du profit. Dans un second temps, nous procédons à l'évaluation de la demande en eau à usage agricole. Le programme de maximisation du profit de l'agriculteur est résolu pour une offre d'eau fixée. L'algorithme de résolution repose sur une procédure de maximisation du profit en fin de campagne. Nous obtenons ainsi le **profit maximisé de l'agent pour un niveau de quota donné**. Nous répétons ce programme pour **différentes offres** d'eau et obtenons une base de données comprenant les couples de points (*profits maximisés - quotas*). A court terme, l'agriculteur fait face au problème d'allocation d'une quantité d'eau totale pour une culture donnée. Nous supposons ici que l'exploitant agricole connaît bien le climat. Le producteur agricole cherche à maximiser le profit individuel de la culture étant donnée une offre d'eau limitée Q.

Pour pouvoir estimer la courbe de la demande de l'eau, considérons le modèle de programmation linéaire suivant :

$$Max(MB) = \sum_{i=1}^m (MB_i \times X_i)$$

ST

$$A_{ij} X_i \leq B_j \quad j= 1 \dots n$$

$$A_{ij} X_i \geq B_j \quad j= n+1 \dots p$$

$$X_i \geq 0$$

Avec,

MB : marge brute globale par exploitation.

MB_i : marge brute/ha de l'activité i

X_i : (n x 1) vecteur des variables de décision

B_j : (p x 1) vecteur des contraintes techniques et économiques où b_j représente la quantité disponible de la ressource j

A_{ij} : (p x n) matrice des coefficients techniques où chaque élément a_{ij} est la quantité de la ressource j consommée par l'activité i.

Disponibilité des terres

La somme des superficies des activités optimales (c'est adire des activités retenues dans la solution optimale) ne doit pas dépasser la superficie agricole utile totale disponible/mois

$$\sum_{i=1}^{12} X_{im} \leq S$$

Où X_{im} est la superficie allouée à la i^{ème} activité durant le mois m en ha

S : superficie irrigable disponible

Contraintes de besoins annuelles en eau d'irrigation

$$\sum_{i=1}^{12} w_{im} X_{im} \leq w_m$$

Où W_m est la quantité d'eau disponible durant le mois m , avec ,

W_1 : quantité d'eau annuelle disponible par exploitation.

$W_{m+1} = W_{m-1} - W_m$ pour $m > 1$

$m = 1, 2, \dots, 12$

W_{im} : quantité d'eau consommée par la i^{eme} culture durant le mois m (m_3 /par ha).

Contrainte d'assolement

$$\sum X_{ir} \leq S / N$$

Où X_{ir} : superficie de la i^{eme} activité appartenant à la rotation r

N : nombre d'année de l'assolement pratiqué, l'assolement retenu est quadriennal.

Contraintes de marchés

$$\sum X_i \leq S_{i \max}$$

$$\sum X_i \geq S_{i \min}$$

Le respect de la superficie maximale et minimale d'une activité i exprime la capacité d'absorption du marché de ce produit et le maintient d'une offre minimale du bien correspondant.

Pour la main d'œuvre on a considéré que cette contrainte est non saturée pour les différentes périodes de l'année.

4. Résultats et discussion

Notre enquête a touché 75 agriculteurs représentant 38% du nombre total des adhérents à ces GDA. Les superficies des périmètres varient de 50 à 70 ha. Ces GDA sont marqués par un taux d'exploitation (rapport entre les superficies exploitées et les superficies des périmètres) faible. Ce dernier est compris entre 40% au niveau des périmètres de Naffet et Chaalel Sud et 67% au niveau du périmètre de Nadhour 2.

La tarification appliquée est basée sur le calcul des charges de fonctionnement subies par le GDA pour pomper et distribuer l'eau d'irrigation aux différents adhérents. Le tarif moyen au niveau des 6 périmètres s'élève à environ 0.11 DT/ m³.

Tableau 2. Caractérisation des GDA objet de recherche

GDA	Naffet	Zwagh1	Zwagh 2	Ch. sud	Nadh.2	Nadh.3	Total
Nb Adhérents	40	19	14	18	33	35	183
Superficies PI	50	50	70	50	60	70	380
Sup moyenne/exp.	1.25	2,6	5	2,8	1,8	2,0	2,08
taux d'exploitation	40%	50%	57%	40%	67%	63%	53%
tarif	0,1	0,1	0,09	0,13	0,12	0,1	0,103
Débit	25	15	45	15	20	25	24
eau/ha	3600	5000	4261	6000	3458	3900	4082
Nb Ag. Enquêtés	20	8	10	11	15	11	75
% du total	50%	42%	71%	61%	45%	31%	38%

Source : notre enquête, 2012

La consommation d'eau par ha irrigué est estimée par la consommation totale du périmètre / (la superficie totale du périmètre X le taux d'exploitation). Elle est en moyenne de 4082 m³. Celle-ci est variable selon les périmètres. La disparité de consommation constatée montre une corrélation étroite avec le taux d'exploitation

qui est aussi en relation étroite avec le taux d'intensification (rapport entre les superficies emblavées et les superficies irrigués).

4.1. La productivité

La valorisation de l'opportunité d'un accès à l'eau s'effectue dans l'ensemble par une diversification accrue des productions vivrières et des tentatives plus ou moins heureuses de cultures destinées principalement au marché (tomates, pastèques, melons...).

Le tableau 3 montre la productivité des différentes cultures pratiquées dans les périmètres objet de notre étude. On constate une grande variabilité de la productivité moyenne des cultures d'un périmètre à l'autre et ceci est due à variabilité due à celle de la technicité des agriculteurs et des effets des arrangements institutionnelles sur la productivité les unités de production (exploitation). En effet la culture de concombre d'arrière saison présente la productivité par hectare la plus élevée avec une moyenne de 5750. Cependant cette culture n'est pas couramment pratiquée où sa superficie ne dépasse pas 5 de la superficie allouée au périmètre.

En moyenne la culture de tomate d'arrière saison semble la plus rentable avec une moyenne de 3752 et qui peut atteindre 4820 au niveau du périmètre de Zwagha1 et avec une productivité minimale enregistrée au périmètre de Naffet. On constate aussi que les cultures d'arrière saison dégagent une productivité plus élevée par rapport aux autres, ceci est expliqué par la différence des prix de vente où l'offre de ces produits est faible donc leurs prix sont plus élevés. D'un autre côté la productivité des céréales et des légumineuses sont très faibles par rapport aux solanacées et aux cucurbitacées. Il faut signaler aussi que ces cultures sont cultivées à des superficies limitées et reçoivent des quantités d'eaux limitées (irrigation de complément).

Tableau 3. Productivité des cultures en DT/ha et selon les périmètres

Cultures	Zwagha1	Zwagha2	Chaalel sud	Nadhour2	Nadhour3	Naffet	Moyenne
Tomate. AS	4820	4820	3000	3646	4400	1823	3752
Tom. S		2850		2800	3680	2030	2840
Piment. AS	2450	4800	2550	2820	2520	4520	3277
Pim. S		1500	2250	3900		2500	2538
Pastèque. St	4660	3650		1820	2650	1850	2926
Pastèque. Sais	1420		2565			2980	2322
Concombre AS		4300			7200		5750
Concombre St							
P.T. AS		3120		3120			3120
P.T. S			2751	2800	2800	1870	2555
Fève		700		700	700	920	755
Petit pois				450		432	441
Blé Dur	450	700	450	600	300	200	450
orge	100	321	100	300	150	100	179

4.2. La consommation d'eau par les cultures.

Le tableau n° 3 montre que l'apport en eau d'irrigation diffère d'un périmètre à l'autre et selon les cultures et les saisons.

Tableau 3. Apports d'eau/culture/ha selon les périmètres (en m³)

Cultures	Zwagha1	Zwagha2	Chaael sud	Nadhour2	Nadhour3	Naffet	Moyenne
Tomate. AS	2846	4448	2846	2817	3694	3172	3304
Tom. S		3067		3263	4366	4043	3685
Piment. AS	2386	3620	2670	2657	3711	2755	2967
Pim. S		4537	5248	5291		5358	5109
Pastèque. St	3273	3729		3751	3346	4109	3642
Pastèque. Sais	3818		3679			3230	3576
Concombre AS		3950			3950		3950
P.T. AS		3188		3188			3188
P.T. S			3650	2920	2920	2420	2978
Fève		500		500	500	620	530
Petit pois				350		350	350
Blé Dur	157	182	157	162	162	124	157
Orge	181	181	181	181	181	181	181

On constate qu'en moyenne le piment de saison est la culture qui reçoit la quantité d'eau la plus élevée avec un volume de 5109 m³/ha et avec un apport maximal de 5358 m³/ha à Naffet et un minimum de 4537 m³/ha au niveau du périmètre de Zwagha2.

On constate aussi que les cultures estivales telles que la tomate de saison, le piment de saison, la pastèque de saison sont les plus consommatrices en eau. Cette hétérogénéité d'apport montre la différence de technicité entre les agriculteurs ce qui va affecter l'allocation de l'eau d'irrigation et qui va se traduire par une diversité de valorisation de l'eau d'irrigation.

4.3. La valorisation de l'eau par les exploitations

La valorisation du facteur eau d'irrigation à l'échelle de l'exploitation est définie comme étant la valeur ajoutée dégagée par les activités en irrigué. La quantité d'eau consommée par exploitation est obtenue en divisant la quantité consommée au niveau du périmètre par le nombre d'adhérents. Ensuite la quantité apportée par hectare est obtenue par le rapport de la quantité par exploitation et la superficie irriguée par exploitation moyenne multiplié par le taux d'intensification (superficie irriguée/ superficie irrigable). Ainsi les quantités consommées par exploitation sont fonctions des superficies irrigables moyennes. En effet on remarque que ces quantités varient de 2752 m³ au niveau du périmètre de Naffat dont l'exploitation moyenne est dotée de 1.25 Ha à 12050 m³ au niveau du périmètre de Zwagha2 dont l'exploitation moyenne est dotée de 5 ha de superficie irrigable. Toutefois les apports d'eau d'irrigation par hectares sont fonctions des taux d'intensification. Les exploitations du périmètre de Naffet, malgré quelle sont les moins consommatrice en eau, elles révèlent une consommation par hectare irrigué la plus élevée avec une valeur de 3593m³/Ha Suivies par celle de Nadhour 2 et Nadhour3 avec des consommations respectives de 2963 et 2903 m³/Ha. On constate que les exploitations dotées de superficies plus faibles sont plus consommatrices en eau/Ha.

Tableau 4. Valorisation de l'eau à l'échelle des exploitations

GDA	Zwagha1	Zwagha 2	Chaalil sud	Nadhour2	Nadhour3	Naffet	Total
Consommation d'eau/exp	6500	12050	6600	4220	4900	2752	7394
Superficie moyenne	2.6	5	3.2	1.6	1.75	1.25	2.6
Taux d'intensification	90	87	94	98	97	77	94
Eau /ha	2778	2770	2194	2963	2903	3593	2841
MB/exp	8150	11500	5000	3700	4170	1622	6908
MB/Ha	3135	2300	1563	2313	2397	900	2655
MB/m ³	1,25	0,95	0,76	0,88	0,85	0,59	0,90

On remarque aussi que la consommation d'eau n'est pas accompagnée d'une création de richesse proportionnelle ce qui révèle une variabilité de valorisation de la ressource d'eau. En effet la marge brute dégagée par m³ la plus faible est dégagée au niveau des exploitations dont la consommation d'eau /Ha est la plus élevée. Cette valeur varie de 0.59 D/m³ aux exploitations de Naffat à 1.25 D/m³ à Zwagha1 et avec une moyenne de 0.9 D/m³.

Si on tient compte des tarifs appliqués qui varient de 0.09 à 0.13 D/m³, on constate que la valorisation de l'eau est de 6 à 12 fois plus élevée que le tarif appliqué ce qui pose la question sur la rationalité des tarifs appliqués et prouve que l'eau d'irrigation est distribuée à un très faible prix ce qui n'incite pas les usagers à son exploitation optimale. Dans le paragraphe suivant nous allons examiner le potentiel d'amélioration de la valorisation de l'eau d'irrigation si les agriculteurs font des choix optimaux quant aux cultures pratiquées en fonctions des quantités d'eau disponibles.

4.4. L'allocation optimale des ressources en eau

L'allocation optimale est déterminée par le programme de maximisation de la marge brute sous contraintes techniques et économiques si dessus mentionnées. L'objectif est de voir si l'usage actuel des ressources permet il d'avoir une valorisation optimale des ressources et de déterminer aussi le coût d'opportunité de l'eau d'irrigation. Ce coût reflète la valeur l'eau qui est exprimée par la productivité marginale de l'eau en situation de choix optimal.

Tableau 5. L'allocation optimale des ressources en eau

GDA	Zwagha1	Zwagha 2	Chaalil sud	Nadhour2	Nadhour3	Naffet
Consommation d'eau /exp	6500	12050	6600	4220	4900	2752
MB/exp	8894	14744	6253	4500	6846	3255
MB/Ha	3421	2949	1954	2813	3934	1529
MB/m ³	1,37	1,22	0,95	1,07	1,4	1,18
Coût d'opportunité	0,9	1,03	0,6	0,9	1,19	0,77

Le tableau n° 5, montre qu'avec les mêmes quantités d'eau disponibles, les agriculteurs peuvent améliorer la valorisation de l'eau grâce à des choix culturaux optimaux. Les marges brutes optimales/ha varient de 1529 D à 3934 et entraînant des améliorations globales des marges brutes par exploitation de 10% au niveau des exploitations du périmètre Zwagha1 à 100% au niveau du périmètre de Naffet. Cette nette amélioration se répercute sur le niveau de valorisation moyenne par unité d'eau d'irrigation. La figure n°1, montre le potentiel d'amélioration de la valorisation des ressources en eau d'irrigation.

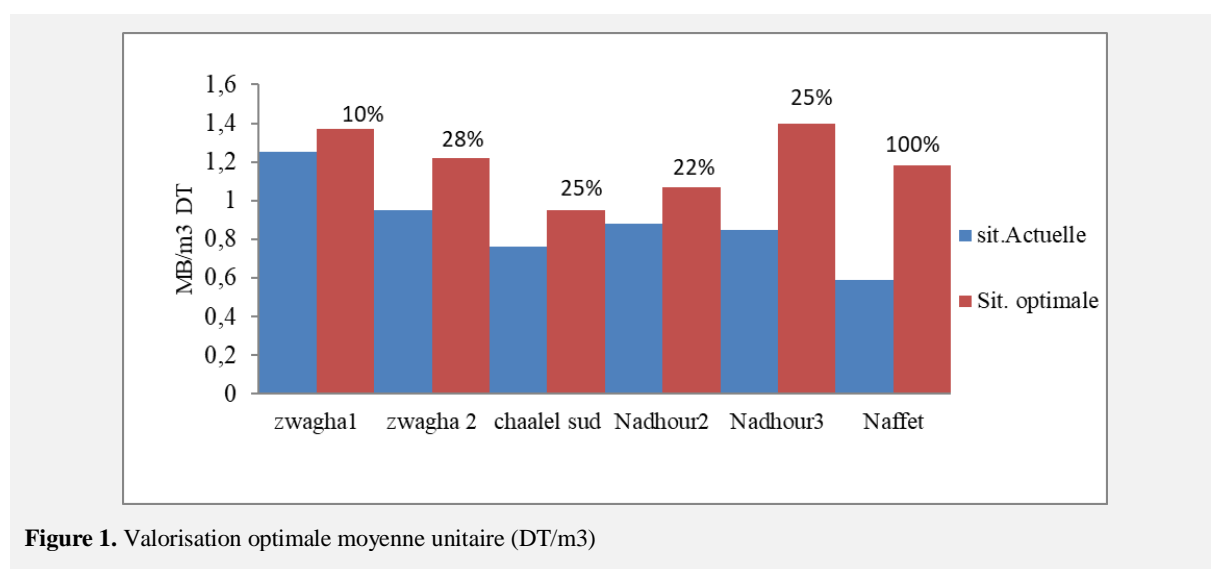


Figure 1. Valorisation optimale moyenne unitaire (DT/m³)

En effet, la marge brute dégagée par mètre cube consommée peut être nettement améliorée et atteindre une valeur de 200 de ce qui est réalisé en situation observée (actuelle) pour montrer qu'initialement la ressource en eau n'est pas allouée de manière optimale.

4.5. La valeur de l'eau d'irrigation

La valeur de l'eau d'irrigation est implicitement déduite de sa productivité marginale (coût d'opportunité) donnée par le modèle de maximisation de profit. Dans notre cas cette valeur est comme le montre le tableau 21, varie de 0.6 à 1.18 DT/m³ respectivement au niveau des périmètres de Chaalil sud et Nadhour3. Cette valeur exprime la disposition à payer des agriculteurs pour une unité supplémentaire de la ressource. Cette valeur est aussi de 6 à onze fois plus élevée que les tarifs appliqués au niveau des différents systèmes irrigués de la zone. Ce qui montre encore que les prix pratiqués sont très faibles par rapport à la valeur économique réelle de l'eau d'irrigation et ne reflètent pas le caractère de rareté de cette ressource.

La figure n°2 montre les 3 cas de figure suivants :

- Une demande de l'eau d'irrigation parfaitement élastique quand le quota est inférieur à 1000m³/ha. Avec une élasticité inférieure à -200% indiquant que légère augmentation relative des prix de l'eau entraîne une grande variation relative des quantités consommées.
- Une demande relativement élastique avec une valeur comprise entre -100 et -200% pour un quota compris entre 1000 et 3000 m³/ha impliquant une variation des prix entraîne une variation plus que proportionnelle de la quantité consommée.
- Une demande inélastique avec une faible élasticité prix de la demande en eau d'irrigation quand celle-ci est supérieure à 3000 m³/ha, elle est de l'ordre de -10 à -35%.

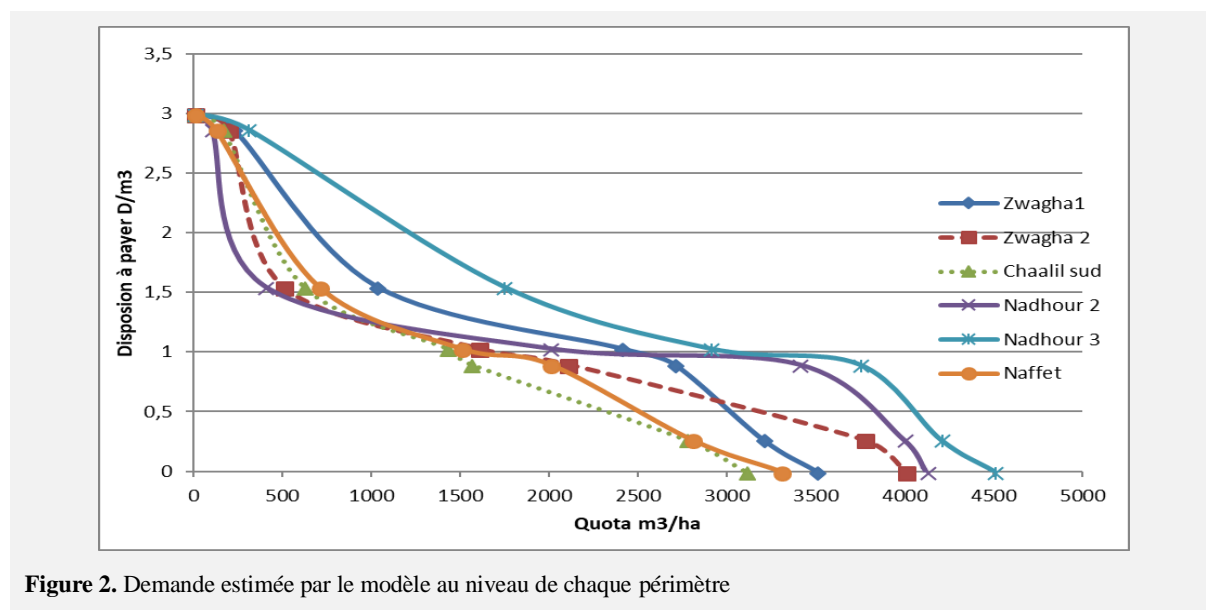


Figure 2. Demande estimée par le modèle au niveau de chaque périmètre

Ceci implique que lorsqu'un signal de rareté n'est pas donné aux agriculteurs la réponse de ces derniers aux variations des prix de l'eau d'irrigation demeure faible autrement dit quand le prix de l'eau d'irrigation est faible la réaction des agriculteurs vis-à-vis aux variations des prix est faible aussi. Cela peut être expliqué par les ajustements menés par des agriculteurs. L'introduction des cultures à haute valeur ajoutée laisse la réaction à des variations de prix faible. On peut s'attendre aussi qu'à des prix bas de l'eau incite les agriculteurs à substituer les facteurs de productions par l'eau.

La connaissance de valeur de l'eau d'irrigation révélée par les agriculteurs et de leurs réponses pour chaque tranche de quota peut servir énormément comme outils d'aide à la décision des différents acteurs et notamment pour le décideur public pour la mise en œuvre des différentes actions de politique qui permettent la meilleure gouvernance de ces ressources surtout dans un contexte de rareté ou dans un contexte changement.

5. Conclusion

La nappe de Nadhour souffre d'une surexploitation énorme, avec un taux d'exploitation déclaré de 150%. Toutefois les tarifs appliqués sont basés sur les coûts opérationnels. Cette base de calcul semble insuffisante étant donné qu'elle ne révèle pas la valeur de la ressource qui se raréfie de plus en plus. L'objectif de ce papier était de déterminer cette valeur sous les conditions actuelles d'exploitation et de déterminer le potentiel d'amélioration de celle-ci sous des conditions d'optimalité d'exploitation. Ainsi un modèle mathématique est développé pour cette finalité. Les principaux résultats dégagés peuvent apporter des éclaircissements au décideur public et montrent que cette ressource est sous valorisée. En effet le taux d'exploitation des superficies aménagées est faible ce qui implique l'existence des problèmes de gouvernance. Les taux d'intensification qui ne dépassent pas 98% indique une faible technicité des agriculteurs. Le large dépassement de la valeur actuelle de la ressource qui est de 5 à 6 fois plus élevée que les tarifs appliqués ne doivent pas cacher la sous optimalité d'usage de l'eau d'irrigation. Les résultats du modèle de maximisation de la marge brute sous contraintes techniques et économiques montrent qu'un important potentiel d'amélioration de celle-ci est faisable et qui peut varier en terme relatif entre 10 et 100% suivant les périmètres. Une faible élasticité de la demande pour des quantités dépassant les 3000 m³/ha implique qu'une révision des tarifs de l'eau d'irrigation en couplage avec d'autres mesures non économiques est envisageable compte tenu de l'écart entre les prix facturés et la valeur réelle de cette ressource et ce afin d'assurer son allocation optimale et sa durabilité.

6. Références

- ABDELHAFIDH H and M.S. Bachta (2016)** «Groundwater pricing for farms and water users associations sustainability », *Arabian Journal of Geosciences*, volume 9 N° 8, May-2016.
- BONTEMPS CHRISTOPHE, COÛTURE STEPHANE & FAVARD PASCAL (2003)** « Estimation de la demande en eau d'irrigation sous incertitude ». In: *Économie rurale*. N°276. pp. 17-24.
- HAOUARI, M., AZAIEIZ, M.N. (2001)** Optimal cropping patterns under water deficits. *Eur. J. Oper. Res.* 130, 133–146.
- BLANCO I., CONSUELO V.O. and FLICHMAN G. (2007)** “ Cost – effectiveness of water policy for sustainable groundwater management : a case study in Spain.”; *International Conference on Adaptive & Integrated Water Management. Coping with complexity and uncertainty*; 12-15 November 2007, Switzerland
- LOUCKS, D.P., STEDINGER, J.R., HAITH? D.A. (1981)** *Water Resource System Planning and Analysis*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- MARGAT J. (1990)** « Les Eaux Souterraines dans le Monde». Orléans, Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), Département eau.
- RENWICK, M.E. (2001)**. Valuing water in a multiple-use system: irrigated agriculture and reservoir fisheries, *Irrigation and Drainage System* 15(2), 149–171
- ROSEGRAT, M.W, Cai, X., CLINE, S.A. (2002)** *Global Water Outlook to 2025, Averting an Impeding Crisis*, Food Policy Report, A 2020 Vision for Food, Agriculture, and the Environment Initiative. International Food Policy Research Institute (IFPRI) and International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Srilanka.
- YOUNG, R.A. (2005)**. *Determining Economic Value of Water – Concepts and Methods*. Resource for the Future, Washington, DC.