

L'AMÉLIORATION DE L'EFFICIENCE DE L'IRRIGATION POUR UNE ÉCONOMIE D'EAU: CAS D'UN PÉRIMÈTRE IRRIGUÉ EN TUNISIE (*)

KAMEL LOUHICHI - GUILLERMO FLICHMAN - ALINE COMEAU

La question de l'eau en Méditerranée devient de plus en plus importante étant donné l'accroissement des besoins qui ont entraîné à la fin du XX^{ème} siècle une pression accrue sur les ressources en eau et ont modifié irrémédiablement l'utilisation qui est faite de la ressource. L'eau est ainsi devenue pour la plupart des pays méditerranéens, dont la Tunisie, un facteur limitant de leur développement et, par conséquent, un enjeu majeur au plan économique, social et politique. Malgré les efforts considérables déployés depuis 40 années dans la mobilisation des ressources hydriques du pays, la Tunisie connaîtra, à court terme, une situation de pénurie en eau. Il suffit, pour s'en convaincre, de comparer le potentiel hydrique utilisable, qui est de l'ordre de 500 m³/an/habitant, à la valeur de 1.000 m³ considérée comme le minimum annuel indispensable à la satisfaction des besoins de chaque individu (FAO-PNUD, 1991). L'agriculture irriguée est un secteur fort consommateur d'eau: 1.384 milliards m³, qui représen-

ABSTRACT

The present study, concerning a Tunisian irrigated area, has for objective to evaluate the theoretical cost of m³ of economised water by different investments aiming to improve efficiency reducing losses. This cost, evaluated between 0.010 and 0.040 DT/m³, has been in a first time compared to the gain of water savings obtained through investments dependent on water price. The incidence of water price and/or different levels of subsidies on investment decisions have been quantified. In this example, the present price of water doesn't incite to save water. Increase of water price or subsidies could promote water savings and assure social equity. In a second time, this cost of water savings was compared to the cost of new resource mobilisation. The relationship between the average cost of water economy and the average cost of mobilised water starting from new sources could vary between 1/3 to 1/10, according to the sources.

RÉSUMÉ

Le présent travail, appliqué à un périmètre irrigué tunisien, a pour objectif d'évaluer le coût théorique du m³ d'eau économisé par différents investissements visant à améliorer l'efficacité en réduisant les pertes. Ce coût, estimé selon les cas entre 0,010 et 0,040 DT/m³ (1) a, dans un premier temps, pu être comparé au gain dû à l'économie de l'eau réalisée grâce à ces investissements, qui dépend, lui-même, du prix de l'eau facturé. Ainsi, l'incidence de différents prix de l'eau ou de différents taux de subvention sur la décision d'investir a pu être quantifiée, illustrant, sur cet exemple, que le prix de l'eau actuel n'incite pas aux économies. L'augmentation du prix de l'eau, l'octroi de subventions et les aides directes aux revenus pourraient promouvoir les économies d'eau tout en assurant une certaine équité sociale. Dans un deuxième temps, ce coût d'économie d'eau a été comparé au coût de mobilisation par des nouveaux barrages ou par pompage. Le rapport entre le coût moyen de l'eau par réduction des pertes dans les réseaux existants et le coût moyen de l'eau mobilisée à partir de nouvelles sources peut varier de 1 à 3 (nappes phréatiques), voire de 1 à 10 (barrages ou nappes artésiennes).

tent 83,4% du total des prélèvements. Cette eau est consommée en majeure partie dans la région du Nord qui concentre 56,7% des superficies irriguées (2).

Quels sont les investissements possibles et les moyens les plus efficaces qui permettraient une gestion optimale des eaux mobilisées? Comment peut-on concilier une demande toujours croissante et une offre limitée financièrement et physiquement? Quel est le degré de distorsion entre le coût réel du m³ d'eau mobilisé et le coût du m³ épargné au niveau d'un périmètre?

Nous avons abordé ces différentes questions dans une échelle micro-économique et plus particulièrement au niveau d'un périmètre irrigué, traditionnel témoin, de taille importante, et sur lequel nous disposons de l'ensemble des données nécessaires. L'objectif est donc, premièrement, d'évaluer les investissements possibles pour épargner l'eau au ni-

veau de ce périmètre où la ressource est insuffisamment valorisée en raison des pertes au niveau des réseaux et des parcelles et, deuxièmement, de calculer le coût unitaire de la mobilisation de l'eau à partir d'un barrage, d'une nappe phréatique et d'une nappe profonde; ceci afin de déterminer, d'une part, le degré de distorsion entre le coût réel du m³ d'eau mobilisé et le coût du m³ épargné au niveau d'un périmètre et, d'autre part, la manière d'agir pour accroître les disponibilités en eau: faut-il agir sur le niveau de la demande ou sur celui de l'offre?

L'EAU EN TUNISIE: UNE RESSOURCE MENACÉE

Bilan actuel de l'eau en Tunisie

Le bilan hydraulique théorique avancé par la Banque

(*) La présente étude se situe dans la ligne des recommandations de la Commission Méditerranéenne de Développement Durable (CMDD), qui a approuvé en 1997 des recommandations sur la gestion de l'eau insistant sur les efforts à mettre en œuvre et pour promouvoir la meilleure gestion des demandes en eau. Elle a été conduite par K. Louhichi (CIHEAM-IAMM), sous la direction scientifique conjointe de G. Flichman (CIHEAM-IAMM) et A. Comeau (Plan Bleu), sur l'initiative de M. Ennabli (direction de l'INRST et président du groupe Eau de la CMDD, Tunis). Nous remercions tout particulièrement les autorités tunisiennes et notamment de M. Hamdane, directeur général du Génie Rural, Tunis, pour ses conseils sur l'orientation générale du sujet et pour avoir facilité l'accès aux documents.

(1) 1 dinars tunisien (DT) = 5,40 francs français.

(2) Ministère de l'Agriculture: Rapport de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE), 1994.

mondiale pour l'an 2010 est encore positif. Ce bilan positif doit être interprété (d'après le rapport de la Banque mondiale) d'une manière réaliste plutôt qu'optimiste, et ce pour plusieurs raisons. Premièrement, il repose sur l'idée selon laquelle l'ambitieux programme de travaux d'infrastructure qui est prévu sera mené à bien d'ici l'an 2000. Deuxièmement, il est très douteux que l'eau dont la salinité atteint 1,5 g/l se prête à tous les usages. Troisièmement, 55 % de toutes les ressources disponibles proviennent des réservoirs et, pour que ceux-ci soient pleins à 50 % au début de chaque cycle hydraulique annuel, il faut améliorer sensiblement la gestion de l'eau.

Tableau 1 Le bilan hydraulique théorique sans considération de la salinité (mm³/an).

	1990	2010
Ressources totales	2.971	3.844
Demande annuelle moyenne	1.920	3.165
Bilan hydraulique	1.051	679

Source: Eau 2000 et Banque mondiale.

Le rôle du secteur irrigué dans la pénurie d'eau

En Tunisie, malgré une superficie réduite ne dépassant pas 7% de la surface agricole utile du pays, le secteur irrigué contribue pour 32% de la production totale et 20% de l'exportation agricole. Il assure, en effet, 95% de la production maraîchère, 45% de la production fruitière et 12% des produits de l'élevage (3).

Cependant, dans la plupart des périmètres irrigués l'eau est encore mal gérée et insuffisamment valorisée. Cette utilisation peu rationnelle de l'eau d'irrigation peut avoir des répercussions parfois néfastes sur certains périmètres irrigués: incapacité des réseaux collectifs à satisfaire une demande en eau, surexploitation des ressources en eau souterraine dans les périmètres irrigués par puits de surface, rehaussement et salinisation des nappes phréatiques, réduction de la fertilité des sols agricoles suite à une gestion défectueuse de l'eau d'irrigation à la parcelle, etc.

Politique de l'eau en Tunisie: passage d'une stratégie d'augmentation de l'offre à une stratégie de gestion de la demande

La politique actuelle de l'eau en Tunisie connaît une transition d'une politique de mobilisation à une politique d'exploitation des ressources. Cette transition est, du reste, imposée, d'une part, par la pénurie et la sur-

exploitation et d'autre part, par l'orientation générale de la politique économique vers la libéralisation et l'intégration de l'économie tunisienne au marché mondial. Une telle orientation implique une gestion rigoureuse des ressources productives qui ne saurait être assurée que par le fonctionnement maîtrisé des mécanismes du marché. En effet, l'absence notoire de mécanismes d'adéquation et de régulation appropriés et adaptés à la rationalité économiques des différents agents sociaux impliqués provoquait une mauvaise allocation des ressources (Sghaier, 1995).

Dans le secteur irrigué, les actions entreprises par cette stratégie concernent essentiellement (4): l'amélioration de l'efficacité des réseaux collectifs d'irrigations, la valorisation économique de l'eau d'irrigation par l'adoption d'une tarification appropriée, l'augmentation de la fiabilité et de flexibilité du tour d'eau et des horaires d'arrosage, l'encouragement, l'encadrement et l'incitation financière des agriculteurs à l'équipement des parcelles par des systèmes d'économie d'eau et l'amélioration du taux d'intensification des cultures irriguées, en vue de faciliter l'introduction des techniques permettant d'épargner de l'eau.

LES ÉCONOMIES D'EAU EN IRRIGATION SONT-ELLES POSSIBLES? ÉTUDE DE CAS

Le choix du terrain

Le cadre retenu dans le présent travail est l'oasis de Gabès (734 ha), situé au nord de l'agglomération de la ville qui porte son nom. Cette oasis fait partie des anciens oasis du sud tunisien, ainsi qu'à la région naturelle de "Jeffara".

Les raisons de ce choix sont: la rareté de l'eau, la mauvaise gestion de la ressource et la facilité d'accès à l'information.

L'eau dans l'oasis de Gabès: disponibilité actuelle

Le débit total disponible à l'oasis de Gabès expérimente une baisse remarquable au cours de ces trois dernières décennies (de 610 l/s en 1964 à 483 l/s en 1998) qui est expliquée par, d'une part, l'accroissement du coût de mobilisation de l'eau et d'autre part par l'utilisation des doses d'irrigation dépassant largement les besoins des plantes. Actuellement le débit disponible est de 483 l/s, soit un volume journalier de 34.776 m³ provenant de 7 forages qui captent l'eau dans la nappe de Gabès Nord.

Le réseau d'irrigation dans l'oasis de Gabès: origine, spécificité et mode de gestion

L'oasis de Gabès était desservie depuis sa création jusqu'aux années 1980 par un réseau d'irrigation traditionnel en terre.

Ce réseau a permis depuis des millénaires de collecter les eaux de sources en empruntant au départ les af-

fluents de l'oued de Gabès, l'eau est ensuite amenée dans un réseau de seguias hiérarchisé jusqu'aux parcelles.

En 1985, et dans le cadre du Plan Directeur des Eaux du Sud, le Commissariat Régional de Développement Agricole de Gabès a créé un nouveau réseau d'irrigation pour combler le déficit en eau. La gestion de ce nouveau réseau, qui est basé sur la division de l'oasis en 3 lots contenant 16 secteurs et 156 bornes d'irrigations, est assurée par une association d'intérêt collectif (AIC) dont les membres sont des propriétaires dans l'oasis.

Ce réseau est composé successivement de quatre parties (Abdedaïm, 1997):

- Les points de captage de l'eau: l'eau d'irrigation provient de 7 forages qui captent l'eau dans la nappe de Gabès Nord à une profondeur variant de 80 à 200 m.

- Un réseau d'adduction et de distribution: le système de transport d'eau comprend des canaux primaires et secondaires. L'eau d'irrigation, une fois sortie de forage, est transportée jusqu'à l'ouvrage de répartition ou partiteur dans des conduites primaires enterrées, en amiant-ciment ou en acier, de diamètre variant de 250 à 300 mm. Arrivée au répartiteur, l'eau sera conduite ensuite dans des canaux secondaires enterrés jusqu'aux bornes d'irrigations de chaque secteur d'irrigation.

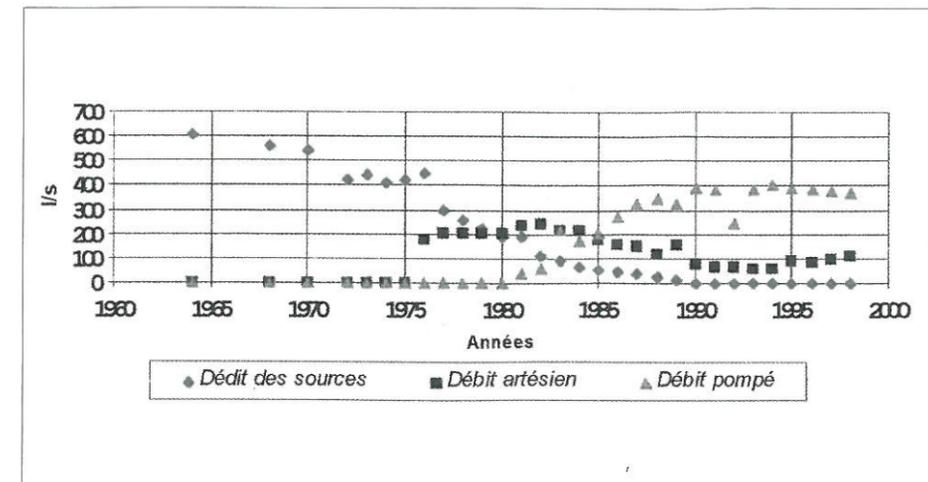
- Les bornes d'irrigations: appelées aussi les ouvrages terminaux de distributions, sont composées d'une chambre de vanne et d'un bassin de régulation de pression. Chaque borne irrigue une superficie allant de 3 à 10 ha, soit environ 10 à 25 agriculteurs.

- Le réseau ouvert terminal: composé par des canaux tertiaires à ciel ouvert en terre (à l'exception de quelques récents canaux totalement équipés par des seguias bétonnées) qui permettent d'acheminer l'eau de la borne d'irrigation jusqu'aux parcelles et des canaux quaternaires en terre qui sont prévus pour l'irrigation des parcelles terminales. Les canaux tertiaires sont administrés par une Association d'intérêt collectif (AIC) et leur aménagement est financé par l'État alors que les canaux quaternaires sont sous la responsabilité exclusive des agriculteurs.

La longueur du réseau tertiaire peut varier de 0 à 400 m suivant l'emplacement de la parcelle par rapport à la borne d'irrigation.

Au niveau de ce réseau les pertes d'eau par infiltration sont assez importantes.

Ces pertes, étant donné que les nappes exploitables sont très profondes et que les canaux de drainages sont mal entretenus, peuvent entraîner ainsi une remontée de sel (Mamou, 1980).



Graphie 1 - Evolution du mode d'exhaure de l'eau à l'oasis de Gabès (1964-1988).
Source: DRE de Gabès.

LES PROBLÈMES DE L'EAU DANS L'OASIS DE GABÈS: INSUFFISANCE OU MAUVAISE GESTION?

Diagnostic sur la gestion actuelle de l'eau

Le diagnostic actuel du réseau d'irrigation dans l'oasis marque la présence de pertes assez importantes aussi bien au niveau des réseaux qu'au niveau des parcelles. Les pertes dans le réseau sont situées à trois niveaux: au niveau du forage, au niveau du réseau de distribution et d'adduction et au niveau du réseau terminal. Les pertes dans les deux premiers niveaux ne seront pas prises en compte dans nos calculs, étant donné qu'elles sont négligeables par rapport au réseau terminal. Par ailleurs, les coûts d'investissements pour les réduire sont très difficiles à estimer.

Dans le réseau terminal, le manque d'aménagement et d'entretien des seguias en terre (les canaux tertiaires et quaternaires) entraîne des pertes d'eau assez importantes.

Les réalisations en matière d'économie d'eau dans l'oasis de Gabès

- Renforcement des techniques d'entretien et de maintenance du réseau: Actuellement, le système de maintenance et d'entretien des installations du réseau d'irrigation dans l'oasis de Gabès est assuré par la collaboration de l'AIC et du CRDA. Les actions entreprises pour améliorer ce système sont basées essentiellement sur le renforcement de cette collaboration, étant donné qu'il n'y a pas un organisme spécial pour la maintenance. Elles comprennent: renforcement des techniques d'irrigation et de maintenance des fermiers, application d'un contrôle du volume d'eau, renforcement de l'organisation et des moyens de transport de la Section Exploitation (SE) et maintenance du périmètre irrigué, etc.

- Amélioration du réseau terminal: à l'issue de la mise en œuvre du programme de sauvegarde des oasis, le CRDA de Gabès a entrepris depuis 1990 une action

(3) Ministère de l'Agriculture, IX^{ème} Plan de développement économique et social (1997-2001): le développement agricole et les ressources naturelles, juillet 1997.

(4) Ministère de l'Agriculture, Direction Générale du Génie Rural, Plan stratégique pour le développement de l'économie de l'eau en irrigation, Tunisie, mars 1996.

d'amélioration de l'efficacité des canaux tertiaires, notamment par le revêtement et l'aménagement des seguias en terre. Cette amélioration a été basée sur trois techniques différentes, à savoir: plastification des seguias, construction des seguias en béton et installation des canalisations enterrées.

Ces actions ont été appuyées par une augmentation des taux des subventions octroyées de 30% à 60% aux agriculteurs investissant dans les systèmes d'économie d'eau aussi bien par l'amélioration des canaux quaternaires que par l'utilisation des techniques d'irrigation moderne.

• L'amélioration des techniques d'irrigation à la parcelle: l'action de l'économie d'eau à la parcelle a été focalisée essentiellement sur l'adaptation des dimensions des planches aux mains d'eau disponibles. L'efficacité de l'irrigation à la raie a été substantiellement améliorée par l'utilisation des siphons pour l'alimentation des raies.

Cependant, malgré toutes les réalisations enregistrées dans ce domaine, on remarque l'absence totale d'études de suivi et d'évaluation de ces techniques d'économie d'eau.

LE RÉSEAU D'IRRIGATION: VERS UNE MEILLEURE EFFICACITÉ

La notion d'efficacité en économie: le cas de l'irrigation

L'efficacité est un terme un peu vague qui est utilisé pour désigner une affectation des ressources parmi les "meilleures possibles". L'idée d'efficacité est donc opposée à celle de "gaspillage" des ressources, entendu au sens large.

Dans le cas de l'irrigation les économistes utilisent différents concepts d'efficacité (Flichman, 1999). Pour notre travail, nous utilisons les deux concepts suivants :

• Efficacité hydraulique, qui considère l'efficacité du réseau de transport et d'adduction de l'eau de la source d'irrigation jusqu'à la plante. On définit ainsi, par exemple, l'efficacité d'application (Et) en tant que rapport du volume d'eau directement utilisé par les plantes sur celui reçu à l'entrée des parcelles.

• Efficacité économique du réseau de transport, qui consiste à déterminer la distance optimale à aménager, étant donné que les coûts d'aménagement et les pertes d'eau varient en fonction de la longueur du réseau. Cette distance est optimale (d'efficacité économique) lorsque le coût marginal = recette marginale = prix de vente de l'eau. Le coût de la dernière unité d'eau économisée égale au prix (coût marginal = $dCT/dV = va-$

riation du coût total / variation du volume = Prix).

Le réseau d'irrigation: évaluation des pertes et des coûts d'économie d'eau

L'objectif fondamental de l'économie d'eau dans ce périmètre est d'essayer de diminuer la surexploitation en réduisant les pertes et les prélèvements. Les pertes d'eau dans le réseau d'irrigation actuel sont situées à trois niveaux: au niveau du réseau de distribution et d'adduction, au niveau du réseau terminal et au niveau de l'application de l'irrigation.

Pour cela nous avons défini trois types d'efficacités hydrauliques:

• Ed: efficacité de distribution et d'adduction (du forage à la borne d'irrigation) en tant que rapport du volume d'eau pompé au forage sur celui à la sortie des bornes d'irrigation. Cette efficacité est estimée par les experts japonais (3) à 0,90, c'est-à-dire que le taux de perte dans le réseau de distribution et l'adduction est d'environ 10%.

• Et: efficacité du réseau terminal en tant que rapport du volume d'eau de la sortie de la borne d'irrigation sur celui à l'entrée des parcelles. Elle varie en fonction de la longueur des canaux non aménagés ou en terre.

• Ea: efficacité d'application en tant que rapport du volume d'eau directement utilisé par les plantes sur celui reçu à l'entrée des parcelles. Elle est estimée par le bureau d'étude COMETE Engineering à 0,80.

• Ete: efficacité des techniques d'irrigation, en tant que rapport du volume d'eau directement utilisé par les cultures sur celui pompé au forage, ou $Ete = Ed \cdot Et \cdot Ea$. Pour déterminer, donc, l'efficacité des techniques (Ete) qui existent actuellement il est indispensable de déterminer l'efficacité du réseau terminal (Et).

Pour calculer donc le volume d'eau économisé suite à l'utilisation des techniques d'amélioration, il suffit seulement de comparer l'efficacité d'irrigation (Ete) avant et après l'introduction de ces techniques.

Le réseau terminal: évaluation des pertes d'eau et efficacité du réseau

Les pertes d'eau dans le réseau terminal sont localisées essentiellement au niveau des canaux tertiaires et quaternaires non aménagés, c'est-à-dire en terre. Ces pertes qui dépendent de la longueur, de la section mouillée de la rugosité des parois et évidemment de la nature du terrain, sont estimées en moyenne, suite à des travaux sur le terrain (6), à environ 25% pour 100 m de longueur. Toutefois, comme il est indiqué dans le **tableau 2**, ce

Tableau 2 Estimation des pertes d'eau dans les canaux en terre.

Longueur en m	12,5	25	50	75	100	125	150	175	200
Taux de perte en %	3,25	6,5	13	19	25	30	35	39,5	44

Source: NIPOON KOEL Co. Ltd, 1996.

(3) Nipon Koel Co. Ltd. (1996) - Étude de faisabilité du projet d'amélioration des périmètres irrigués dans les oasis du Sud en République de Tunisie. AFR-JR.

(6) L'Agence japonaise de la coopération internationale et le bureau d'étude COMETE Engineering.

taux n'est pas tout à fait proportionnel à la longueur du canal non aménagé. Nous avons choisi de calculer les pertes uniquement jusqu'à 200 m étant donné que la longueur maximale de chacun des deux canaux (tertiaires et quaternaires) est de 200 m.

Ceci nous a permis de calculer le débit de fuite et le volume d'eau perdu dans chaque borne d'irrigation en fonction de la longueur du canal.

• Le débit à X m de la borne = $(1 - \text{taux de perte à X m}) \times \text{débit à la sortie de la borne}$.

• Le débit de fuite à X m de la borne = $\text{débit à la sortie de la borne} - \text{débit à X m de la borne}$.

Ainsi pour le calcul de débit moyen de fuite dans toutes les bornes du périmètre nous avons choisi la première borne de chaque secteur, étant donné que les débits dans chacun des secteurs sont identiques (l'ouverture d'une borne suit la fermeture d'une autre).

• Le débit moyen de fuite à X m de la borne = \sum de débit de fuite à X m de la première borne de chaque secteur / nombre de secteur

• Volume moyen d'eau perdu par jour d'irrigation au niveau d'une borne (m^3) = $\text{débit moyen de fuite} \times 3.600 \times \text{nombre d'heures d'irrigation par jour} / 1.000$.

Le réseau terminal: évaluation des coûts de l'économie d'eau

Les solutions techniques que nous allons présenter pour améliorer l'efficacité du réseau terminal sont le fruit du diagnostic effectué lors de la première phase. Ces solutions sont multiples et concernent en particulier l'aménagement des canaux tertiaires et quaternaires.

La comparaison entre les différentes techniques (canaux en béton armé, non armé et en PVC) du point de vue économique et maintenance a été résumée dans le **tableau 3**.

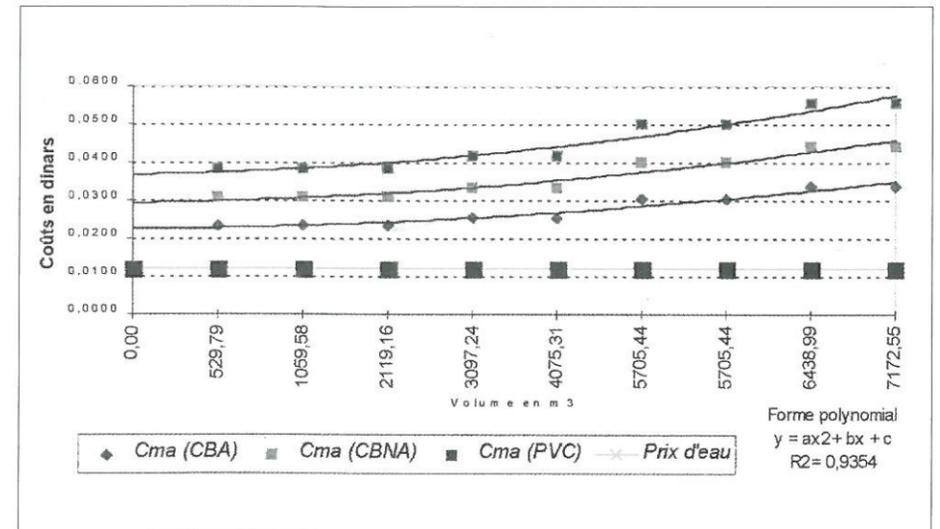
D'après les tableaux ci-dessus, l'efficacité hydraulique des techniques utilisées est à son maximum quelle que soit la distance aménagée (pertes nulles, efficacité $Et = 1$). Le choix de la distance optimale à aménager dépendra donc uniquement de l'efficacité économique.

Cette efficacité est atteinte quand la recette marginale égale au coût marginal est égale au prix ($Rm = Cm = P$). Sachant que le prix de vente de l'eau appliqué en 1996

Tableau 3 Comparaison du point de vue économique et maintenance.

Catégorie	Coût unitaire (DT/m) (prix 1996)	Durabilité (ans)	Coût annuel* (DT/m/an)	Problème de maintenance
Canaux en béton armé (250 x 250)	14	25	0,99	La sédimentation de sable est possible
Canaux en béton non armé (250 x 250)	10	10	1,30	La sédimentation de sable est possible
Canaux en PVC (Ø 200)	25	30	1,63	Pas de sédimentation

* Coût annuel = le coût annuel de l'amortissement + les intérêts annuels (le taux d'intérêt à long terme en dinar constant choisi est de 5%).
Coût total annuel (DT/an) = Coût annuel (DT/m/an) x longueur (m)
Coût moyen (DT/m³) = coût total (DT/an) / volume d'eau économisé (m³/an)
Coût marginal (DT/m³) = variation du CT / variation du volume économisé
Volume d'eau économisé par an (m³/an) = débit moyen de fuite x 3.600 x nombre moyen d'heure d'irrigation par jour x nombre de jours d'irrigation par an / 1.000
Nombre moyen d'heure d'irrigation par jour = 15 heures
Nombre de jours d'irrigation par an = 10 fois (le tour d'eau moyen est de 40 jours)
Source: CRDA de Gabès (PI).



Graphie 2 - Courbe du coût marginal par technique.

au niveau de cette oasis est de 0,012 DT/m³, la distance du canal en terre la plus efficace du point de vue économique est égale à 0, en considérant que le coût marginal de toutes les techniques possibles est supérieur au prix de l'eau.

Avec le prix actuel de l'eau, les agriculteurs ne seront pas prêts à investir dans l'aménagement des canaux quaternaires en terre.

Cela est aussi valable dans les cas des canaux tertiaires, où l'Etat est en charge des investissements. La solution la plus efficace pour économiser l'eau ne sera donc atteinte que par une augmentation du prix de l'eau ou par une incitation à l'investissement par subvention.

INCITATION À L'INVESTISSEMENT PAR SUBVENTION

Avec un taux de subvention de 60% du montant de l'investissement et un prix de l'eau fixé à 0,0120 DT/m³, l'aménagement du canal le plus efficace du point de vue économique, sera donc jusqu'à 150 m, 50 m et 0 m

Tableau 4 Coûts total, moyen et marginal du volume d'eau épargné par technique d'économie d'eau et en fonction de la longueur aménagée.

Catégorie	Longueur (m) Volume d'eau	0	12,5	25	50	75	100	125	150	175	200
		0,00	529,79	1059,58	2119,16	3097,24	4075,31	4890,38	5705,44	6438,99	7172,55
Canaux en béton armé (T1)	Efficiéce et	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Coût total	0	12,375	24,75	49,5	74,25	99	123,75	148,5	173,25	198
	Coût moyen	0	0,0234	0,0234	0,0234	0,0240	0,0243	0,0253	0,0260	0,0269	0,0276
	Coût marginal	0	0,0234	0,0234	0,0234	0,0253	0,0253	0,0304	0,0304	0,0337	0,0337
Canaux en béton non armé (T2)	Efficiéce et	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Coût total	0	16,25	32,50	65,00	97,50	130,00	162,50	195,00	227,50	260,00
	Coût moyen	0	0,0307	0,0307	0,0307	0,0315	0,0319	0,0332	0,0342	0,0353	0,0362
	Coût marginal	0	0,0307	0,0307	0,0307	0,0332	0,0332	0,0399	0,0399	0,0443	0,0443
Canaux en PVC (T3)	Efficiéce et	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Coût total	0	20,38	40,75	81,50	122,25	163,00	203,75	244,50	285,25	326,00
	Coût moyen	0	0,0385	0,0385	0,0385	0,0395	0,0400	0,0417	0,0429	0,0443	0,0455
	Coût marginal	0	0,0385	0,0385	0,0385	0,0417	0,0417	0,0500	0,0500	0,0556	0,0556

respectivement par les canaux en béton armé, les canaux en béton non armé et les conduites en PVC (**tableau 5**). Ceci reste valable jusqu'à + ou -10% du volume perdu.

Concernant le canal tertiaire, géré par l'État, l'aménagement de ce canal le plus efficient sera toujours nul sauf s'il y a la possibilité d'une subvention externe de 60%. Toutefois, afin d'encourager les agriculteurs à l'aménagement des canaux quaternaires et dans le but de la recherche du bien être collectif. L'État peut s'engager dans l'aménagement des canaux tertiaires même en absence des subventions externes et d'efficience économique. Ces résultats obtenus peuvent être utilisés pour justifier le choix de la norme de subvention fixée par l'Etat (60% sur un maximum de 150 mètres linéaires par hectare) seulement pour la technique en béton armé. Pour les autres techniques il faudrait, soit augmenter le prix de vente de l'eau soit augmenter la subvention et ceci en faisant varier cette dernière selon la technique (60% pour la technique en béton armé, 70% pour la technique en béton non armé et 75% pour les conduites en PVC). Autrement dit, avec un prix de l'eau de 0,012 DT/m³ et un taux de subvention de 60%, 70% et 75% respectivement pour la technique en béton armé, la technique en béton non armé et les conduites en PVC, on peut assurer l'aménagement de 150 premiers mètres des canaux tertiaires et quaternaires.

AUGMENTATION DU PRIX DE L'EAU

La lecture du tableau 5 nous a permis de dégager les deux résultats suivants:

- Si le prix de l'eau est fixé à 0,025 DT/m³ (le prix

moyen dans la région de Gabès en 1996), l'aménagement du canal le plus efficient du point de vue économique, devient alors de:

- 100 m en l'absence de 60% de subvention, uniquement pour la technique de béton armé;
- 200 m en présence de 60% de subvention, quelle que soit la technique.

- Si le prix de l'eau est fixé à 0,055 DT/m³, la distance à aménager, par n'importe quelle technique, sera de 200 m avec ou sans de subvention (60%).

C'est-à-dire que pour assurer l'aménagement de tous les canaux en terre existants et atteindre le point optimal ou d'efficience économique, il faudrait fixer le prix à 0,055 DT/m³ ou plus. Mais, étant donné que ce prix est presque le double du prix moyen régional et afin d'assurer un avantage collectif, il serait préférable de fixer le prix toujours à ce niveau et attribuer aux agriculteurs une subvention directe si l'on souhaite compenser les pertes des revenus. Le soutien de revenus devient ainsi compatible avec une amélioration de l'efficience économique obtenue grâce à l'augmentation des prix de l'eau.

LES COÛTS DE LA MOBILISATION D'EAU

Le second objectif de présent travail, consiste à savoir si l'économie d'une grande partie de l'eau qui est ordinairement perdue ou gaspillée est techniquement possible et serait moins coûteuse que l'accroissement de l'offre.

EAU DE SURFACE

Avant de nous pencher dans la démarche du calcul du coût, nous voulons signaler qu'en Tunisie, les barrages

Tableau 5 Recherche de la distance optimale et du coût marginal du volume d'eau économisé en présence de subvention (60%).

Longueur (m)	0	12,5	25	50	75	100	125	150	175	200
Volume économisé (m ³ /an)	0,00	529,79	1059,58	2119,16	3097,24	4075,31	4890,38	5705,44	6438,99	7172,55
Coût marginal (CBA) (DT/m ³)		0,0092	0,0092	0,0092	0,0100	0,0100	0,0120	0,0120	0,0133	0,0133
Coût marginal (CBNA) (DT/m ³)		0,0120	0,0120	0,0120	0,0130	0,0130	0,0159	0,0159	0,0174	0,0174
Coût marginal (PVC) (DT/m ³)		0,0153	0,0153	0,0153	0,0166	0,0166	0,0199	0,0199	0,0222	0,0222

Tableau 6 Recherche de la distance optimale en fonction du prix de l'eau.

Prix de l'eau (DT/m ³)	Distance optimale (m) en absence de subvention			Distance optimale (m) en présence de subvention (60%)		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
0,012	00	00	00	150	50	0
0,025	100	00	00	200	200	200
0,055	200	200	200	200	200	200

T1: canaux en béton armé; T2: Canaux en béton non armé; T3: Canaux en PVC.
Source: nos calculs.

sont souvent à vocation multiples (irrigation, adduction d'eau industrielle et domestique, énergie, protection contre les inondations et les crues). Par commodité de calcul, nous avons choisi uniquement les barrages ayant un usage agricole (irrigation).

La démarche de calcul du coût de mobilisation de l'eau est la suivante:

$$CMM = C_{BAR} / CNR \times DV$$

avec:

CMM le coût moyen du m³ d'eau mobilisé en DT.

CBAR le coût total de la construction du barrage proprement dit.

DV durée de vie du barrage qui est estimée en moyenne à 50 ans.

CNR capacité normale annuelle de la retenue en million de m³.

Nous avons en tenu compte uniquement du coût de construction proprement dit étant donné que les autres coûts, à savoir celui de transport et de distribution, varient beaucoup en fonction de l'emplacement du périmètre irrigué par rapport à la source d'approvisionnement.

D'après la droite de régression, on remarque que le

vienne plus importante si l'on introduit les coûts d'entretien et de maintenance. Dans le VIIIème Plan, l'étude "Eau 2000" estime les coûts d'entretien des 18 barrages actuellement opérationnels, à 0,5 MDT/an pour un total de soutirages destinés à l'exploitation de 500 à 100 Mm³/an environ, ce qui signifie que le coût par m³ est de 0,001 à 0,002 DT. Le coût unitaire (coût de construction et d'entretien) de la mobilisation d'eau à partir d'un barrage sera donc de 0,0707 DT/m³ en moyenne.

NAPPES PHRÉATIQUES

Le coût de mobilisation d'un m³ d'eau prélevé dans la nappe phréatique peut s'estimer à partir des coûts de construction d'un puits, de l'achat de la motopompe et des frais de fonctionnement.

Sachant que la période d'amortissement d'un puits bien équipé est de 20 ans et celle d'une pompe est de 5 ans environ, le coût d'un m³ d'eau pompée par an sera donc le suivant:

$$CMM = CT / (VT \times DV)$$

avec:

CMM le coût moyen du m³ d'eau pompée dans un puits de surface (DT/m³).

CT le coût total du pompage d'eau.

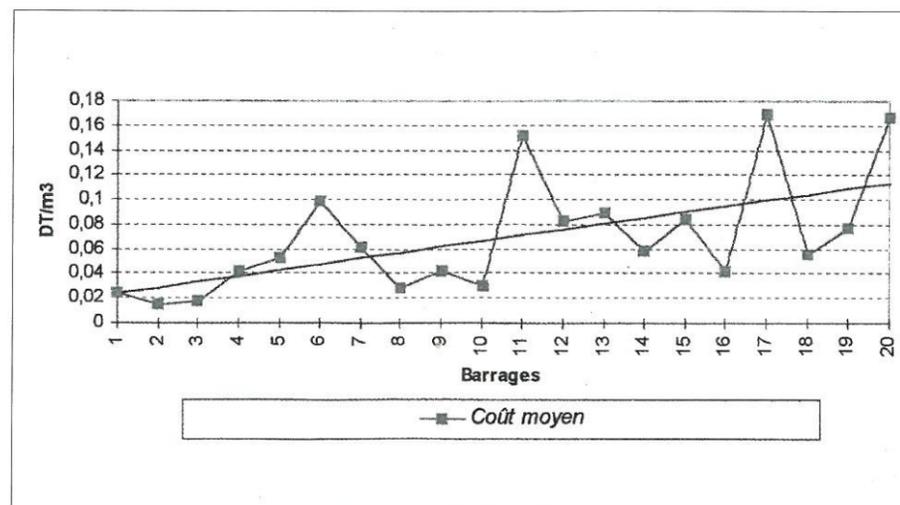
VT le volume total fourni par un puits pendant une année.

DV durée de vie du puits qui est estimée en moyenne à 20 ans.

Un puits équipé fournit environ 11.000 m³/an. Sur une période d'amortissement de 20 ans (s'il n'y a pas de surpompage), il fournit un volume total d'environ 220.000 m³. Le coût moyen du m³ d'eau mobilisé à partir des nappes phréatiques, estimé à partir du coût moyen du m³ d'eau pompée dans un puits de surface, est donc de 0,1313 DT/m³.

NAPPES PROFONDES

À partir de l'estimation du coût moyen de construction des forages profonds (durée de vie moyenne



Graphique 3 - Evolution du coût moyen d'un m³ d'eau mobilisé (prix 1996).
Source: élaboration personnelle (cf. tableau 6).

Tableau 7 Evolution des coûts total et moyen du volume d'eau mobilisé à partir des barrages.

Barrage et année de mise en eau	Capacité normale annuelle en millions de m ³	Volume du corps principal de l'ouvrage en millions de m ³	Rendement topographique (capacité/volume)	Coût total en millions de dinars (prix 1996)	Coût total annuel*** MDT/an (prix 1996)	Coût moyen en DT/m ³ (prix 1996)	Taux d'évolution du coût moyen (prix 1996)
Bir Mchergua 71	53,00	1,32	40,15	23,12	1,27	0,0239	0
Bouheurtma 76	117,50	3,00	39,17	30,60	1,68	0,0143	-0,4030
Sidi salem* 81	569,00	2,60	218,85	185,70	10,17	0,0179	0,2532
Sidi saad** 81	209,00	7,50	27,87	159,60	8,74	0,0418	1,3398
Joumine* 83	130,00	5,05	25,73	124,00	6,79	0,0522	0,2451
Ghezala 84	11,70	0,95	12,32	21,00	1,15	0,0983	0,8817
Siliana 87	70,00	2,60	26,92	78,00	4,27	0,0610	-0,3792
Lebna 88	30,00	0,87	34,48	15,36	0,84	0,0280	-0,5405
Houareb** 89	109,00	6,00	18,17	82,18	4,50	0,0413	0,4725
Sedjnane* 94	137,50	6,30	21,83	76,22	4,18	0,0304	-0,2648
Barbara 97	80,00	1,95	41,03	220,92	12,10	0,1513	3,9816
Barrak 97	192,00	2,00	96,00	287,49	15,75	0,0820	-0,4578
Sidi aïch 97	20,00	0,89	22,47	32,64	1,79	0,0894	0,0901
Rmel 'E' 98	20,00	1,03	19,33	21,36	1,17	0,0585	-0,3457
Abide 'E' 98	10,00	0,65	15,38	15,30	0,84	0,0838	0,4326
Zargua 'E' 98	24,00	0,94	25,53	18,54	1,02	0,0423	-0,4951
Rmil 'E' 98	4,00	0,12	34,78	12,40	0,68	0,1698	3,0129
Elbrek 'E' 98	25,00	0,75	33,33	25,10	1,37	0,0550	-0,6761
Elhma 'E' 98	12,00	1,06	11,32	17,00	0,93	0,0776	0,4110
Sficifa 'E' 98	6,70	1,80	3,72	20,30	1,11	0,1660	1,1387
Moyenne	91,52	2,36	38,41	73,34	4,0174	0,0692	0,4350

* Alimentation en eau potable + agriculture.

** Protection contre les inondations et recharge de la nappe par lachure; 'E': ouvrage en phase d'étude avancée (appel d'offres concluants).

*** Coût annuel = le coût annuel de l'amortissement + les intérêts annuels (le taux d'intérêt à long terme en dinar constant est de 5%).

Source: Élaboration personnelle à partir des fiches synoptiques des barrages et dossiers de règlement définitifs des marchés des barrages, MA/DG.ETH, cité par Hamdi (1998).

Tableau 8 Coûts du volume d'eau pompé dans un puits de surface.

	Coût unitaire (DT) (prix 1996)	Durabilité (ans)	Coût annuel (DT/an)	Coût total (DT)
Construction d'un puits de 25 m	10.000	20	802,43*	16048,6
Achat de la moto-pompe	400	5	92,39*	1847,8
Frais d'énergie par m ³ d'eau pompée	550	-	550	11000
Total	10.450	-	1444,82	28896,4

* Coût annuel = le coût annuel de l'amortissement + les intérêts annuels (le taux d'intérêt à long terme en dinar constant est de 5%).

Source: Élaboration personnelle à partir de l'étude "Eau 2000".

est de 50 ans) dans le Nord et le Centre du pays (50 à 100 m de profondeur) et dans le Sud (100 à 2.500 m de profondeur) et des coûts d'exploitation, l'étude "Eau 2000" estime que le coût moyen d'un m³ d'eau mobilisée à partir d'une nappe profonde est de l'ordre de 0,0750 DT/m³.

Ce coût moyen devient plus important si on introduit, d'une part, pour les forages pompés, le coût d'énergie

© M. Garrabe (1994), Ingénierie de l'évaluation économique, Paris, Ellipses, 255 p.

Tableau 9 Coûts unitaires comparés.

Modes de gestion	Techniques	Coût moyen (DT/m ³)			
		1	2	3	4
Gestion des demandes par une économie d'eau	Canaux en béton armé	0,010	0,027	0,024	0,0109
	Canaux en béton non armé	-	0,036	-	0,0142
	Canaux en PVC	-	0,045	-	0,0181
	Moyenne	0,010	0,036	0,024	0,015
Gestion des offres par la mobilisation d'eau	Barrages	0,0707			
	Nappes phréatiques	0,1313			
	Nappes profondes	0,0750			
	Moyenne	0,092			

1, 2, 3, 4 correspondent aux points où la distance à aménager est optimale.

1: Coût moyen à 100 m: le prix de l'eau est de 0,025 DT/m³ et en absence de 60% de subvention.2: Coût moyen à 200 m: le prix de l'eau est de 0,055 DT/m³ et en absence de 60% de subvention.3: Coût moyen à 150 m: le prix de l'eau est de 0,012 DT/m³ et en présence de 60% de subvention.4: Coût moyen à 200 m: le prix de l'eau est de 0,055 DT/m³ et en présence de 60% de subvention.

stations, d'entretien et traitement) et de distribution d'eau (coût des infrastructures de stockage, de traitement, de distribution et des frais d'exploitation) qui sont estimés par l'"Étude 2000" respectivement à environ 0,025 DT/m³ et 0,30 DT/m³.

Le coût unitaire de l'eau mobilisé, transféré et distribué, sera donc d'environ 0,416 DT/m³ qui est relativement beaucoup plus important (plus de dix fois plus) que celui de l'eau économisée.

CONCLUSION

L'objectif primordial du présent travail consistait, d'une part, à la recherche d'une gestion efficiente et d'une allocation optimale de la ressource en eau dans le périmètre irrigué choisi et d'autre part, à infirmer ou à confirmer l'hypothèse prédominante qui considère que les problématiques actuelles et futures de l'eau devraient être marquées beaucoup plus par les aspects de maîtrise de la demande que par l'accroissement de l'offre.

Les résultats obtenus montrent que faire l'économie d'une grande partie de l'eau qui est ordinairement perdue ou gaspillée est techniquement possible et économiquement efficiente, du moins dans la présente étude de cas.

En effet, l'aménagement complet du réseau terminal, c'est-à-dire jusqu'à 400 m, permet d'économiser par an un volume d'eau de 14.344 m³ avec une moyenne des coûts totaux de 523 DT, soit un coût unitaire de 0,036 DT/m³ qui est relativement faible comparé au coût unitaire de mobilisation (0,416 DT/m³).

La gestion des demandes devrait donc prendre plus d'importance que la gestion des offres.

En effet, tant par pour les usagers que pour les pouvoirs publics, l'avantage économique d'investissements dans la modernisation de périmètres existants, par rapport à la mobilisation de ressources nouvelles est démontré, sous certaines conditions notamment

de prix de l'eau pas trop faible. Ceci, même si la faisabilité pratique de mise en œuvre soulève probablement d'autres considérations et difficultés.

Plus que par la précision de ses conclusions au cas local, c'est surtout par le raisonnement appliqué ici que cet article souhaite contribuer à la diffusion et à la promotion d'études (encore trop rares) et de connaissances sur les perspectives réelles de meilleure gestion des demandes.

Ceci, afin de faire reposer les futures décisions publiques sur les meilleures alternatives.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdedaïm S. (1997), La gestion de l'eau et son impact sur la dynamique des systèmes de production dans les oasis littorales du Sud tunisien: cas de l'oasis de Gabès. Mémoire d'ingénieur CNEARC, 90 p.

Banque mondiale - Département technique ECA/MENA, Équipe ressources en eau (1995), Examen du secteur de l'eau. Tunisie.

Benblidia M., Margat J., Vallée D., (1998), L'eau est une ressource menacée: pénurie d'eau prochaine en Méditerranée? Problèmes économiques, n° 2596, p. 13 à 20.

COMETE Engineering (1995), Économie de l'eau dans les oasis de la région de Gabès: rapport de factibilité. Tunisie, mai.

CRDA de Gabès (1995-1997), Rapports d'activités.

Ennabli M., Margat J., Vallée D. (1998), Pour prévenir les crises de l'eau en Méditerranée, priorité à une meilleure maîtrise des demandes. Conférence Internationale sur l'eau et le développement durable. Paris, 19-20-21 mars 1998.

Flichman G. (1999), Agriculture, environnement, ressources naturelles. Notes de cours. Montpellier: CIHEAM-IAMM.

Garrabe M. (1994), Ingénierie de l'évaluation économique. Paris: Ellipses, 255 p.

Hamdi S. (1998), Analyse économique de l'usage de l'eau agricole des eaux de surface mobilisées: application dans un périmètre public irrigué au nord-ouest de la Tunisie. Projet de thèse Master. Montpellier, CIHEAM-IAM.

Mamou A. (1980), Comblement de déficit en eau de l'oasis de Gabès. Juin.

MEAT-DGAT SDAT (1996), Eau 2000, Tunisie.

Ministère de l'Agriculture, Tunisie (1994), Rapport de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE).

Ministère de l'Agriculture, Tunisie - Direction Générale du Génie Rural (1996), Plan stratégique pour le développement de l'économie de l'eau en irrigation. Mars.

Ministère de l'Agriculture, Tunisie (1997), IX^{ème} Plan de développement économique et social (1997-2001): le développement agricole et les ressources naturelles. Juillet.

Ministère de l'Agriculture, Tunisie - UCSEPI (1997), Périmètres irrigués en Tunisie, 16 p.

NIPON KOEL Co. Ltd. (1996), Étude de faisabilité du projet d'amélioration des périmètres irrigués dans les oasis du Sud en République de Tunisie. AFR-JR.

Sghaier M. (1995), Tarification et allocation optimale de l'eau d'irrigation dans les systèmes de production de la région oasienne de Nefzaoua (Sud de la Tunisie). Thèse de doctorat, 235 p.