

Évaluation économique de la gestion de la demande en eau en Méditerranée



Rapport d'étude

Sara Fernandez, Audrey Mouliérac

TABLE DES MATIERES

I. Contexte et objectifs de l'étude : un objectif méditerranéen d'économies d'eau « économiquement » pertinent ?	4
II. Cadre méthodologique de l'évaluation économique des mesures de gestion de la demande en eau (GDE)	5
1. L'analyse de l'efficacité des mesures de GDE... ..	5
...est déterminée par l'échelle et la perspective considérées	6
1.1. A l'échelle méditerranéenne	6
1.2. A l'échelle des bassins versants	7
1.3. A l'échelle du service (réseau et usagers)	7
1.4. Echelle et perspective retenues pour l'analyse.....	8
III. Evaluation économique et financière de la gestion de la demande en eau potable	9
1. Réduction des pertes dans le réseau collectif d'eau potable	9
1.1. Quantification et suivi des pertes dans le réseau.....	9
1.2. Evaluation économique et financière de la réduction des pertes lors de la distribution de l'eau dans le réseau collectif	10
2. Réduction des volumes utilisés par les usagers d'eau potable	11
2.1. Quantification et suivi des pertes chez l'utilisateur	11
2.2. Evaluation économique et financière de la réduction des pertes chez l'utilisateur	11
3. Analyse des résultats des études de cas menées en Méditerranée	13
3.1. A l'échelle du service d'eau potable	14
3.2. A l'échelle des territoires	16
4. Conclusion	19
IV. Evaluation économique et financière de la gestion de la demande en eau d'irrigation	20
1. Réduction des pertes dans le service d'eau d'irrigation (efficacité hydraulique)	20
1.1. Quantification et suivi des pertes dans les réseaux et dans l'application de l'eau à la parcelle	20
1.2. Evaluation économique et financière de la réduction des pertes dans le service d'eau d'irrigation.....	21
2. Réduction des pertes à l'échelle de la parcelle et de la plante cultivée (efficacité agronomique)....	22
2.1. Quantification et suivi des pertes à l'échelle de la plante cultivée	22
2.2. Evaluation économique et financière de la réduction des pertes à l'échelle de la plante cultivée	22
3. Résultats des études de cas menées en Méditerranée	23
3.1. A l'échelle des réseaux d'irrigation	23
3.2. A l'échelle des territoires	29
4. Conclusion	30
V. Conclusion générale	31
Principaux messages.....	32
Annexe 1 : Indicateurs d'efficacité de l'eau domestique	33
Les indicateurs hydrauliques de « pertes » les plus répandus.....	33
Annexe 2 : Indicateurs de l'efficacité de l'eau agricole	34
Typologie des efficacités de l'eau agricole	34
Annexe 2.1 : Indicateurs de l'efficacité hydraulique	34
Annexe 2.2 : Indicateurs d'efficacité agronomique	36
Annexe 2.3 : Indicateurs d'efficacité économique	40
VI. Bibliographie	42
VII. Table des illustrations	44

I. Contexte et objectifs de l'étude : un objectif méditerranéen d'économies d'eau « économiquement » pertinent ?

La gestion de la demande en eau (GDE) est un concept développé à partir des années 1990 en réaction aux politiques de développement de l'offre en eau, en particulier dans le secteur agricole, dont les coûts économiques et environnementaux faisaient l'objet d'une opposition politique croissante dans les années 1980.

La GDE se définit comme un ensemble d'instruments techniques, politiques, institutionnels, économiques, de formation, sensibilisation et communication, visant à inciter à un meilleur usage des offres en eau existantes, avant d'envisager une augmentation de l'offre. La GDE englobe donc des mesures visant à améliorer l'« efficacité »¹ d'utilisation de l'eau dans les différents usages mais aussi de la répartition de l'eau entre usages. Depuis une dizaine d'années, elle est devenue une question centrale de la gestion de l'eau en Méditerranée.

Selon les études du Plan Bleu, la somme des prélèvements et des productions d'eau non conventionnelles a doublé au cours de la deuxième moitié du XXe siècle. Des analyses prospectives suggèrent aussi que, dans un scénario tendanciel, les pressions exercées sur les ressources devraient s'intensifier d'ici 2025. Dans ce contexte, la mise en place d'instruments de GDE s'avère particulièrement utile pour contribuer à limiter ces pressions.

S'appuyant sur ces analyses, la Stratégie Méditerranéenne pour le Développement Durable (SMDD) adoptée par les vingt et un pays riverains et la Communauté européenne en 2005 s'est fixé un objectif de stabilisation des prélèvements en eau d'ici 2025. Les recommandations de l'atelier régional « Gestion de la demande en eau en Méditerranée, progrès et politiques » organisé par le Plan Bleu en 2007 à Saragosse (Espagne) ont insisté sur le rôle des outils économiques dans la GDE. Enfin, les ministres Euro-méditerranéens de l'eau réunis à Amman en décembre 2008, puis à Barcelone en avril 2010, ont demandé que la future Stratégie pour l'eau en Méditerranée fixe un objectif d'économie d'eau à l'horizon 2025 et examine les outils les plus appropriés pour l'atteindre.

Le Plan Bleu s'attache, en s'appuyant sur les dernières données disponibles sur l'état des ressources en eau et sur une évolution tendancielle des prélèvements, à étudier les potentiels d'économie d'eau à l'horizon 2025 dans les pays du pourtour méditerranéen. La pertinence de ces économies d'eau potentielles est étudiée à partir d'une analyse économique de différentes alternatives en matière de gestion de l'eau, prenant en compte les objectifs des politiques environnementales et sociales des pays méditerranéens à court et moyen termes.

L'objectif général est d'évaluer et de comparer financièrement et économiquement:

- les coûts d'une eau économisée (politique de GDE) et ceux d'une eau nouvellement mobilisée (politique d'augmentation de l'offre en eau),
- les avantages associés à la re-répartition de l'eau économisée et ceux associés à l'augmentation de l'offre en eau.

Ce rapport constitue la synthèse d'une étude menée entre juillet 2009 et février 2010 sur l'efficacité du transport, de la distribution et de l'usage de l'eau dans la région méditerranéenne. Centré sur l'analyse des usages domestiques et agricoles, il s'intègre dans une réflexion plus large sur les mesures de GDE et s'appuie sur une analyse comparée des méthodes d'évaluation économique déployées dans les études de cas recensées.

Les activités engagées par le Plan Bleu se divisent en 3 phases (période 2009-2010) :

- État de l'art des travaux conduits à l'échelle méditerranéenne (2009),
- Analyse critique et comparée des approches méthodologiques développées dans les études de cas disponibles sur l'évaluation économique de mesures d'économies d'eau dans les pays méditerranéens (2009),
- Synthèse et valorisation des résultats (2010).

Elles ont été développées en partenariat avec des scientifiques des trois rives de la Méditerranée et des expertises dans le domaine de l'eau et/ou de l'économie de l'environnement.

¹ L'efficacité est une notion dérivée de l'anglais « efficiency » qui peut être traduit par rendement. Elle s'attache à l'atteinte d'un résultat avec le minimum de moyens engagés.

II. Cadre méthodologique de l'évaluation économique des mesures de gestion de la demande en eau (GDE)

Dans les études considérées, deux outils sont utilisés pour l'évaluation économique des économies d'eau: l'analyse coûts-avantages (ACA) et l'analyse coûts-efficacité (ACE). Ces outils sont associés à des ratios utilisés pour évaluer l'intérêt économique et financier des mesures de GDE. Les résultats de l'évaluation économique et du calcul de ces ratios sont nécessairement situés, dans l'espace et dans le temps car les coûts et les avantages des mesures peuvent varier significativement selon le l'échelle de l'étude et la perspective retenue pour les évaluer. De telles évaluations ne sont pas seulement des instruments d'objectivation. Elles contiennent, par nature, des dimensions politiques puisqu'elles s'inscrivent dans un cadrage du problème avec des « frontières » sociales, institutionnelles, etc. particulières et supposent que toutes les valeurs sont commensurables.

1. L'analyse de l'efficacité des mesures de GDE...

Une ACA compare tous les avantages et les coûts d'un projet, sans exiger l'examen d'autres options. Si le ratio avantage/coût est supérieur à 1, le projet est considéré comme ayant une valeur positive pour la collectivité concernée.

Une ACE est un calcul du coût financier direct engagé pour atteindre un résultat quantitatif, comparé à une autre option conduisant au même résultat. L'ACE se fonde sur le coût de production d'une unité (en l'occurrence d'un m³ d'eau), sur le volume d'activités et de résultats pour le calcul d'un ratio coût-efficacité. Cependant, elle peut aussi intégrer certaines caractéristiques de l'ACA, en particulier lorsqu'il s'agit d'une évaluation à l'échelle d'un territoire. Ainsi, l'ensemble des études de cas analysées correspond à des ACE, même si certaines incluent aussi des éléments de l'ACA.

Le ratio coût-efficacité peut donc être calculé :

- soit à partir des coûts financiers des mesures et des volumes économisés (ratio CF). Les coûts financiers incluent en théorie le coût d'investissement et les coûts de fonctionnement et de maintenance.
- soit à partir des coûts financiers et économiques, incluant les coûts de la non-action pour le bénéficiaire de la mesure (ratio CE₁) ou les externalités économiques et environnementales et les coûts d'opportunités des mesures pour une collectivité donnée dans son ensemble (ratio CE₂).

Il est exprimé en euros (ou autre unité monétaire) par m³ et prend la forme suivante :

$$\text{Ratio Coût - efficacité} = \frac{\text{Coûts}}{\text{Volumes économisés}}$$

Remarque : S'il n'intègre que les coûts directs, financiers (CF), le ratio est toujours positif car il représente le coût net des économies d'eau. En revanche, s'il intègre les coûts évités (CE₁) ou plus globalement les externalités (CE₂), le ratio peut être négatif, signifiant alors que les coûts directs et indirects de la mesure sont inférieurs aux coûts de la non-action et/ou aux bénéfices qu'elle génère.

Lorsque les coûts des mesures qui font l'objet d'une analyse économique sont étalés dans le temps, l'évaluation de leur rentabilité requiert des opérations d'actualisation (*Encadré 1*). L'actualisation est l'opération qui permet de comparer des valeurs économiques qui s'échelonnent dans le temps, en ramenant leur valeur future à une valeur actuelle. Cette opération se fait en affectant à ces valeurs monétarisées un coefficient : le « taux d'actualisation ». C'est un taux de substitution entre le futur et le présent qui traduit la préférence du présent (ou encore le « coût du temps »), l'aversion au risque (ou encore le « coût du risque »), et reflète le coût du capital. *Le choix du taux d'actualisation est donc un élément critique de l'évaluation économique d'un projet.*

Une autre façon d'évaluer la répartition des coûts d'investissement d'une mesure dans le temps est d'estimer son temps de retour sur investissement (TdRI), qui définit l'année à partir de laquelle la mesure présente un bénéfice net.

Encadré 1 Actualisation des coûts d'investissement

Si on connaît la distribution des coûts tout au long de la durée de vie de la mesure, on peut calculer la valeur actualisée des coûts avec la formule suivante (Equation 1):

Equation 1 : Coût actualisé d'une mesure

$$Coût_{actualisé} = \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+a)^t}$$

Avec : C_t : coût de la mesure en année t - a : taux d'actualisation - T : durée de vie de la mesure

Si on ne connaît pas la distribution des coûts dans le temps pendant la durée de vie de la mesure, en supposant que les coûts de fonctionnement et de maintenance et les externalités ne varient pas d'une année à l'autre, on peut chercher à annualiser les seuls coûts d'investissement, (Equation 2) :

Equation 2 : Coût actualisé d'une mesure dont le coût d'investissement a été annualisé

$$Coût_{actualisé \text{ et annualisé}} = \frac{a \times I_0 \times (1+a)^T}{(1+a)^T - 1} + Coût_{O\&M \text{ annuel}} + E_{annuelle}$$

Avec : a : taux d'actualisation. - T : durée de vie de la mesure.

$Coût_{O\&M \text{ annuel}}$: le coût de fonctionnement et de maintenance de la mesure actualisé, supposé être le même d'une année à l'autre.

$E_{annuelle}$: externalité (qui peut être positive ou négative) actualisée, supposée être la même d'une année à l'autre.

Le coût actualisé et annualisé pour un investissement donné (I_0) sera ainsi d'autant plus élevé que a (taux d'actualisation) est élevé et que T (durée de vie des équipements) est faible.

Le ratio coût-efficacité calculé est alors le suivant :

$$CE = \frac{Coût_{actualisé \text{ et annualisé}}}{Volume \text{ d'eau produit ou économisé moyen par an}}$$

Source : Aulong & al. 2008

...est déterminée par l'échelle et la perspective considérées

Pour traiter la question de l'efficacité de l'eau et pouvoir comparer entre elles des mesures de GDE prises dans des contextes variés, il convient autant que possible de :

- Définir l'échelle d'analyse et la perspective dans laquelle on se place,
- Connaître les caractéristiques de l'usage et les fonctions de demande en eau : prélèvements, consommations, pertes « réelles » ou « fictives », gestion et durabilité des services d'eau, pollutions de l'eau générées par l'usage...

1.1. A l'échelle méditerranéenne

A l'échelle méditerranéenne, l'irrigation représente près de 65 % des prélèvements anthropiques. Dans les pays des rives sud et est de la Méditerranée, elle peut dépasser les 80 % (Tableau 1).

Tableau 1 : Part relative des prélèvements anthropiques en Méditerranée

Zones considérées		Prélèvements en eau totaux	Répartition par secteur d'utilisation en volume et en % des prélèvements totaux							
			Eau potable		Irrigation		Industries non desservies par les réseaux d'eau potable		Énergie (refroidissement des centrales nucléaires)	
			Km³/an	%	Km³/an	%	Km³/an	%	Km³/an	%
Pays entiers	Nord	127,7	22,3	17	57,7	45	13,6	11	34,1	27
	Est	60,4	8,7	14	47	78	2,2	4	2,5	4
	Sud	92,8	7,9	9	76,6	83	3,4	4	4,9	5
	TOTAL	280,9	38,9	14	181,3	65	19,2	7	41,5	15

Source : Plan Bleu, 2007

La saisonnalité de la pluviométrie joue par ailleurs un rôle fondamental dans l'expression des tensions sur l'eau, dès lors que les cultures choisies ont des demandes agronomiques en eau qui correspondent aux périodes de plus faible pluviométrie et donc de faibles débits des cours d'eau et des nappes.

Sur certains territoires, la part des prélèvements dédiés à la production d'électricité, via le stockage dans des retenues hydroélectriques ou pour le refroidissement des centrales thermiques, peut également s'avérer significative. Si une part très faible de ces prélèvements est consommée, ils impactent en revanche sensiblement la qualité des hydrosystèmes en limitant le transit des sédiments et poissons, en générant des risques de pollution (thermique pour les centrales, en limitant la capacité de dilution ou auto-épuration des cours d'eau pour les barrages hydroélectriques si les lâchés ne correspondent pas aux périodes d'étiage, etc.).

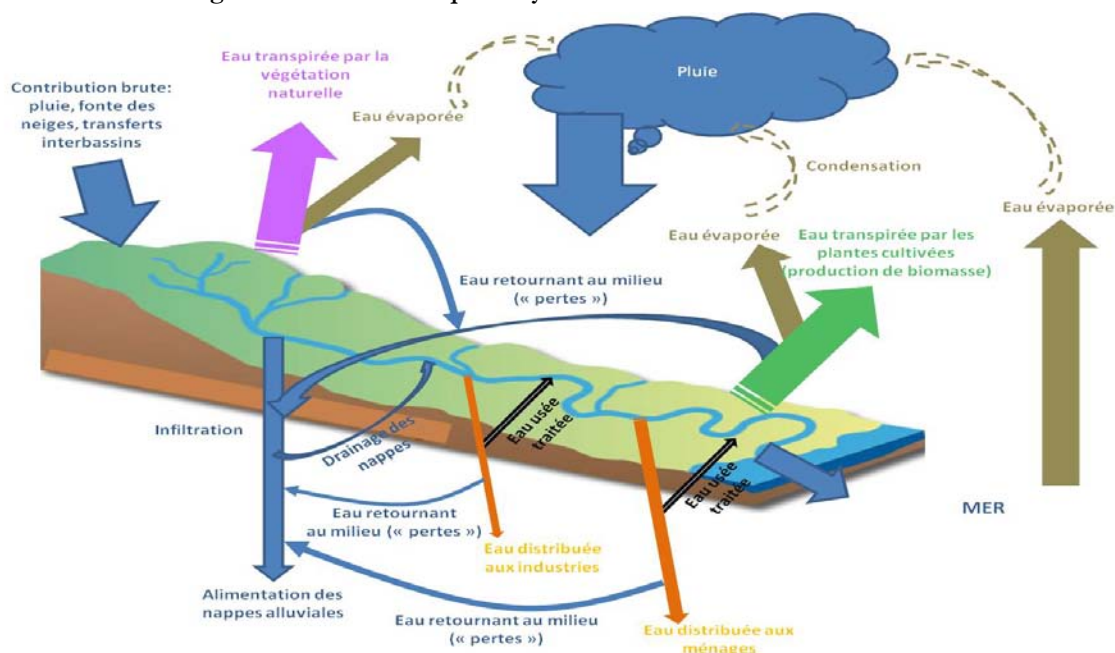
L'utilisation de l'eau à des fins domestiques se caractérise elle aussi par une faible consommation finale. La plupart de l'eau utilisée retourne en effet au milieu avec une qualité plus ou moins dégradée, selon le type de traitement appliqué.

En 2007, selon les estimations du Plan Bleu, l'efficacité hydraulique totale de l'utilisation de l'eau des pays méditerranéens serait comprise entre 50 et 85% (Thivet & Blinda 2007).

1.2. A l'échelle des bassins versants

Ce qui apparaît comme une « perte » rejoint en général le milieu et peut être utilisé par d'autres usagers à l'aval, à condition que la qualité de l'eau ne soit pas trop dégradée (Figure 1). Il existe cependant des cas extrêmes appelés « bassins fermés », dans lesquels toute décision de prélèvement supplémentaire d'eau dans le système impactera de façon quasi certaine d'autres usagers (Seckler 1996). Dans ces cas-là en effet, les « pertes » contribuent systématiquement à répondre à une demande d'usagers, par l'intermédiaire d'une recharge de nappe par exemple. Comme l'usage agricole est quantitativement le plus important, ce rôle positif peut être significatif. La « perte » a donc des coûts mais elle est aussi valorisée. Pour une meilleure analyse des coûts et des avantages d'une réduction des pertes d'eau, cette valorisation doit être intégrée à l'évaluation économique de mesures de GDE.

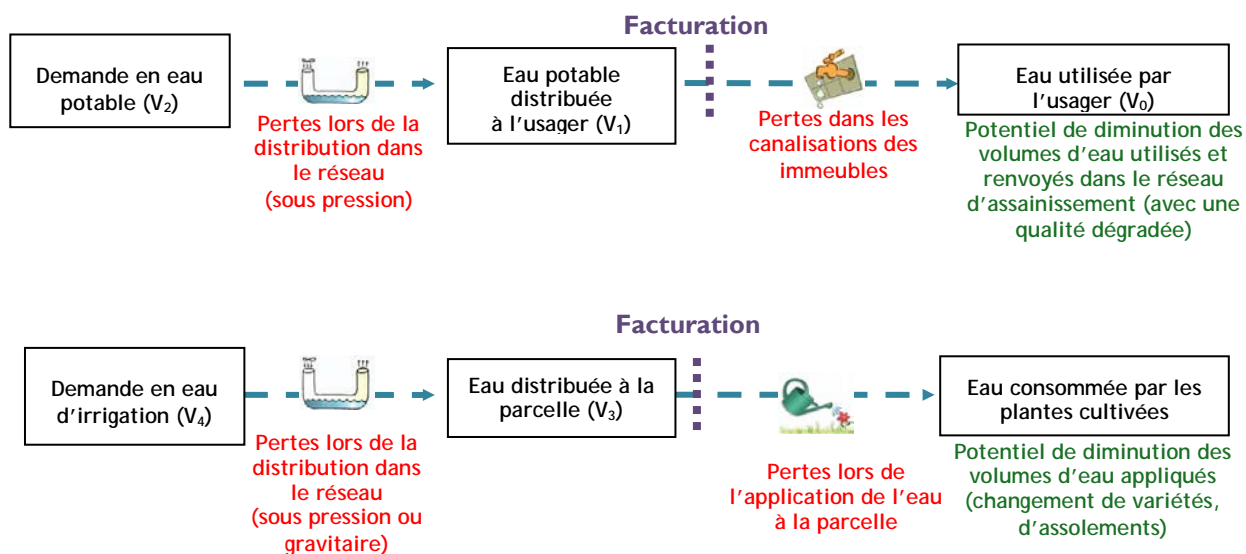
Figure 1 : Bilan schématisé du cycle de l'eau à l'échelle du bassin versant



1.3. A l'échelle du service (réseau et usagers)

L'efficacité « hydraulique » du service d'eau, à des fins domestiques ou agricoles, peut se décomposer en : (i) efficacité de mobilisation et de distribution de l'eau et (ii) efficacité d'utilisation de l'eau par l'utilisateur (Figure 2).

Figure 2 : Efficacité de mobilisation et de distribution de l'eau et efficacité d'utilisation de l'eau par l'utilisateur dans les secteurs de l'eau potable et de l'eau agricole (eau bleue)



Source : Modifié à partir de (Thivet & Blinda 2007)

1.4. Echelle et perspective retenues pour l'analyse

L'analyse porte sur les deux types d'efficacité hydrauliques du service d'eau (réseau et usage) selon :

- trois perspectives : celle du gestionnaire² du service d'eau, celle de l'utilisateur et celle d'une collectivité dont le territoire administré est plus large que celui du service,
- deux échelles : celle du service d'eau potable ou d'irrigation (réseau et usage) et celle d'un territoire administré ou d'un bassin versant.

Elle concerne également les résultats des évaluations menées sur plusieurs territoires de l'espace méditerranéen sur l'efficacité de mesures axées sur la demande ou l'offre en eau pour gérer les tensions sur la ressource.

² Dans une première approche, nous n'avons pas distingué le gestionnaire de l'autorité responsable du service, même si leurs stratégies peuvent être différentes s'ils sont distincts.

III. Evaluation économique et financière de la gestion de la demande en eau potable

L'étude porte d'abord sur la quantification et le suivi des « pertes », puis sur les avantages monétarisés associés à la mise en œuvre de mesures d'économies d'eau, pour le gestionnaire, pour l'utilisateur final et pour la collectivité. Elle propose un cadre d'analyse à l'échelle du réseau collectif (section 1) et de l'utilisateur final (section 2) des services d'eau potable. Elle est ensuite illustrée par cinq études de cas (section 3).

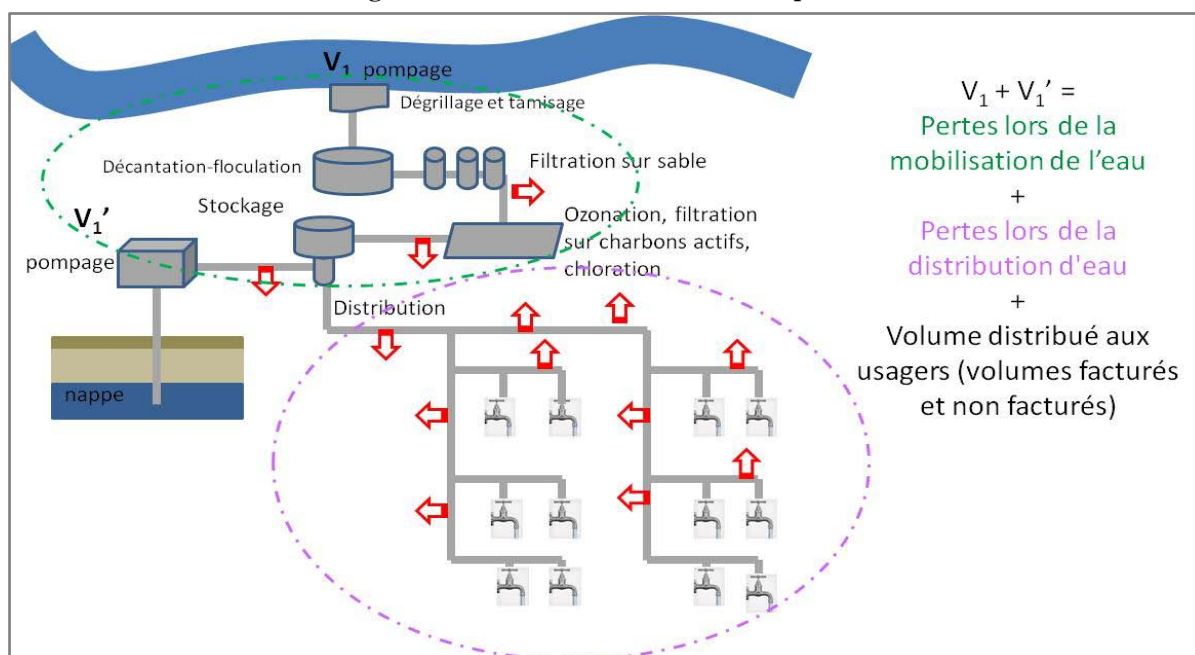
1. Réduction des pertes dans le réseau collectif d'eau potable

1.1. Quantification et suivi des pertes dans le réseau

A l'échelle du réseau, les « pertes » lors de la distribution d'eau potable correspondent (Figure 3):

- Soit à des pertes physiques et financières à l'échelle du réseau : fuites dans le réseau ou volumes d'eau traitée pour être potabilisée mais non utilisée (donc non facturée).
- Soit à des pertes exclusivement financières : volumes d'eau détournée (« usagers clandestins ») ou défauts de comptage³.

Figure 3 : Pertes à l'échelle du service d'eau potable



Chercher à réduire les pertes, demande au préalable de pouvoir les quantifier, les mettre en variable et en modèle.

- Les indicateurs hydrauliques de « pertes » les plus répandus, détaillés en Annexe 1, sont :
 - l'efficacité potentielle de distribution de l'eau potable, telle que définie par le Plan Bleu et utilisée pour le suivi de la SMDD. Elle représente la part de l'eau potable produite et distribuée qui est effectivement payée par l'utilisateur.
 - Le rendement du réseau, indicateur le plus utilisé par les gestionnaires des services d'eau potable.

³ On peut difficilement considérer les volumes distribués non facturés pour des raisons sociales et politiques comme des « pertes », comme cela a été envisagé pour construire les indicateurs d'efficacité d'utilisation de l'eau par le Plan Bleu, puisqu'elles sont le résultat de choix politiques conscients.

- Un indice linéaire de pertes constituant un indicateur de la performance physique du réseau, rapportant le volume de pertes à la longueur du réseau.
- L'indicateur économique de « pertes » le plus répandu est le « niveau économique de fuite » (« *Economic Level of Leakage* », ELL). L'ELL (Équation 3) se définit comme le niveau de fuites seuil à partir duquel il serait plus coûteux de chercher à diminuer les pertes que de fournir de l'eau à partir d'une autre source (Pearson & Trow 2005), (Fantozzi & al. 2005), (Brothers 2005). Il est tel que :

Équation 3 : Niveau économique de fuite (ELL)

$$\text{Coût marginal de la réduction des fuites} = \text{Coût marginal de la mobilisation de l'eau}$$

En effet, la technicité et le coût de la réduction des fuites augmente avec l'importance des réparations réalisées sur le réseau, le coût de réparation des fuites étant corrélé au rendement initial du réseau. Pour le gestionnaire du réseau, l'ELL correspond à un optimum défini en fonction du coût marginal de l'eau distribuée et comparé à celui de la mobilisation de nouvelles ressources. Il est le produit d'une mise en « balance » entre maintenance des réseaux, économie d'eau et mobilisation de ressources nouvelles.

1.2. Evaluation économique et financière de la réduction des pertes lors de la distribution de l'eau dans le réseau collectif

Les « pertes » (fuites, erreurs de comptage, usagers clandestins) lors de la distribution de l'eau potabilisée représentent des coûts financiers pour le gestionnaire du réseau liés à la mobilisation et au traitement d'une eau qui n'est pas vendue. L'intérêt premier pour le gestionnaire d'une mesure de réduction des fuites réside alors dans une meilleure maîtrise des coûts de production (déterminés essentiellement par le coût de l'énergie et du capital), tout en tenant compte des coûts de distribution qu'elles génèrent (déterminés essentiellement par le coût du travail). Des analyses économiques ont cependant montré que les coûts ne sont pas les seules raisons des niveaux élevés de pertes et suggéré l'importance de la rente informationnelle dans le cas de la délégation du service par exemple. Les fuites sont aussi associées à des risques de discontinuité du service, qui peuvent eux-mêmes engendrer des risques sanitaires.

L'intérêt de la réduction des « pertes » dépend aussi de la valorisation de l'eau économisée (Figure 4):

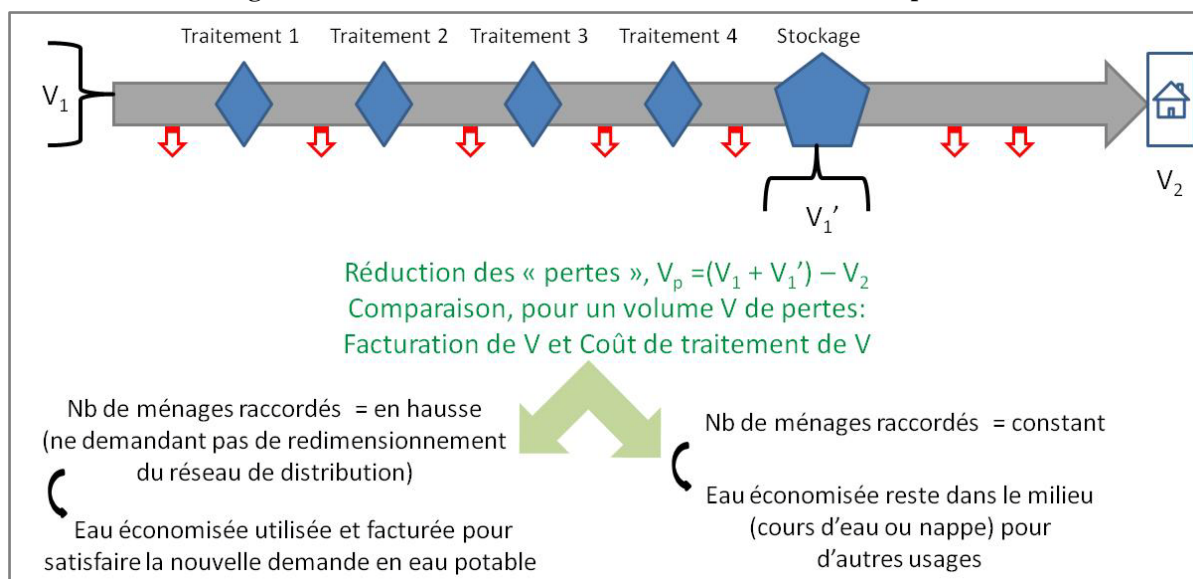
- Si la demande pouvant être satisfaite par le réseau est contrainte et en hausse (à dimensionnement constant), l'eau économisée pourra être redistribuée et facturée, être alors source de revenus pour le gestionnaire ou de répartition des coûts fixes sur des volumes facturés plus importants.
- Si cette demande est satisfaite et constante, l'eau économisée restera dans le milieu (elle ne sera ni mobilisée, ni traitée), et pourra être valorisée par d'autres usages. Le coût de production baisse alors légèrement. Pour le gestionnaire, il s'agit de comparer la baisse du coût de production au coût de réduction des fuites pour juger de l'intérêt de la réduction des fuites dans le réseau. Pour la collectivité, il s'agira aussi d'intégrer la valorisation de l'eau par les autres usagers.

Par conséquent, pour le gestionnaire du réseau :

- la recherche de fuites est bénéfique, tant qu'elle ne dépasse pas l'optimum (ELL).
- l'eau économisée est d'autant plus valorisée que la demande, à dimensionnement du réseau constant, est en hausse.

Si on choisit la perspective de l'utilisateur, ces actions auront un impact si la baisse des coûts se répercute sur la facture d'eau. Pour la collectivité, les avantages dépendent aussi de la valorisation de l'eau par les autres usagers.

Figure 4 : Valorisation des économies d'eau dans les réseaux d'eau potable



2. Réduction des volumes utilisés par les usagers d'eau potable

2.1. Quantification et suivi des pertes chez l'utilisateur

Il s'agit :

- Soit de pertes dans les canalisations des immeubles, c'est-à-dire d'une eau facturée qui retourne au milieu.
- Soit d'une faible efficacité d'utilisation de l'eau (ou une « sur-utilisation »), c'est-à-dire d'une eau utilisée par les ménages, non consommée, et qui repart dans le réseau d'assainissement où elle est traitée avant de retourner au milieu (cours d'eau).

Le second type de « pertes » est souvent quantitativement le plus important. Il peut être réduit par le renouvellement des équipements domestiques, moins consommateurs d'eau : changement de climatisation, suppression de chaînes du froid à eau perdue, changement de sanitaires, pose d'économiseurs, renouvellement de machines à laver, de lave-vaisselles, de robinets.... Selon plusieurs études, ces appareils peuvent diminuer la consommation spécifique jusqu'à 35 %, en particulier pour les établissements publics.

Pour les usagers, la rentabilité de l'installation dans les foyers ou les bâtiments publics d'équipements hydro-économiques dépend du temps de retour sur investissement (TdRI) de ces appareils et des économies réalisées sur les factures d'eau et d'énergie. Ce TdRI est fonction du prix de l'eau et du prix de marché des équipements. Il est généralement inférieur à 5 mois pour des équipements simples comme des aérateurs pour robinet et de l'ordre de 2 ans pour des équipements plus lourds comme les chasses d'eau.

2.2. Evaluation économique et financière de la réduction des pertes chez l'utilisateur

L'un des intérêts premiers de la diminution des pertes, pour les usagers, réside dans la baisse de leur facture d'eau.

Pour le gestionnaire, l'intérêt de la réduction des « pertes » et de la « sur-utilisation » d'eau par les usagers dépend aussi de la valorisation de l'eau économisée (Figure 5):

- Si la demande est en hausse, l'eau économisée pourra être redistribuée et facturée. Cette situation peut conduire à une baisse du prix global unitaire de l'eau si le gestionnaire re-répartit les coûts fixes de son service sur le volume nouvellement délivré.
- Si cette demande est satisfaite et constante, l'eau économisée restera dans le milieu : elle ne sera pas mobilisée, ni traitée, ni facturée. Si elle représente des volumes importants, elle se traduira par une répartition des coûts fixes sur

un plus faible volume facturé et donc par une hausse du prix global unitaire de l'eau facturé à l'utilisateur. Ceci explique que certaines municipalités en France ne souhaitent plus aujourd'hui inciter les usagers à utiliser moins d'eau (*Encadré 2*).

Par conséquent, l'eau économisée est d'autant plus valorisée par le gestionnaire du réseau et par l'utilisateur que la demande, à dimensionnement du réseau constant, est en hausse.

Dans le cas où cette demande est constante ou en baisse, la réduction des « pertes » dans les réseaux ou au niveau des usagers finaux génère des coûts supplémentaires significatifs associés à la gestion du service d'eau. Cette eau libérée peut en revanche bénéficier au milieu ou à d'autres usagers aval.

Encadré 2 : Consommations unitaires et prix de l'eau en Méditerranée

La région méditerranéenne se caractérise par une grande diversité dans l'utilisation de l'eau potable et les enjeux qui lui sont associés. Les déterminants de la demande en eau potable sont situés et complexes à analyser.

En France, et plus largement en Europe depuis 20 ans, l'utilisation d'eau par les ménages est en baisse tendancielle. A Paris, la consommation unitaire a baissé de 2,2 % en moyenne entre 1991 et 1998. Cette baisse touche particulièrement les grands consommateurs d'eau, mais pas seulement. Cependant, ce n'est le plus souvent pas le prix de l'eau qui incite les ménages à renouveler leurs équipements en faveur d'équipements plus hydroéconomiques. De même, c'est plutôt à l'occasion d'une rénovation que les usagers urbains grands consommateurs d'eau potable (immeubles, bureaux, industries, services publics) réduisent les fuites et renouvellent leurs équipements (Barraqué & Nercessian 2008).

On observe aussi, depuis le début des années 90, une tendance à la stagnation et à la baisse de la consommation unitaire dans les grandes villes de certains pays du sud de la Méditerranée, tels que la Tunisie (Bennasr & Verdeil 2009) et le Maroc (Maria & Giraud 2008). L'analyse de ces tendances moyennes, de leurs causes et de leurs répercussions à la fois sur la gestion du service et l'utilisation globale de l'eau à des fins domestiques est complexe. Les moyennes cachent de fortes disparités entre consommateurs (ménages les plus pauvres, classes moyennes, hôtels, bureaux et administrations, industries, etc.).

Au Maroc et en Tunisie, la tendance à la baisse de la consommation unitaire des abonnés domestiques a été associée à une augmentation du taux de raccordement, ce qui a pu signifier une redistribution des volumes économisés, en limitant les coûts de développement et de fonctionnement des réseaux. Cependant, la baisse de consommation unitaire la plus significative a touché les grands consommateurs (industries, bâtiments collectifs).

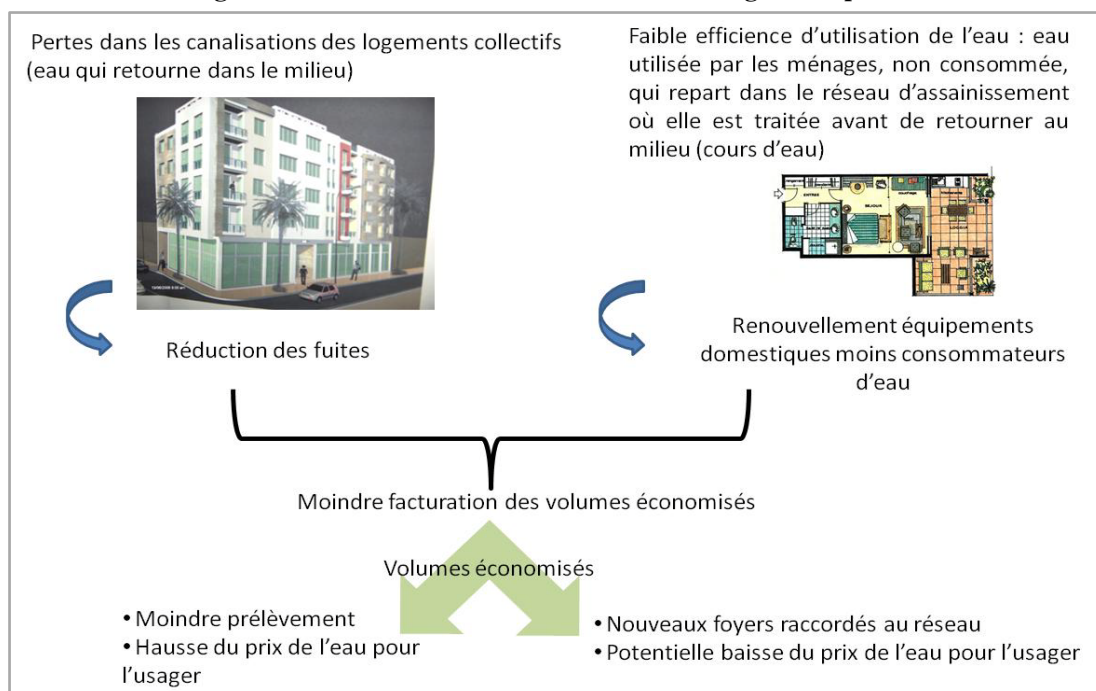
Les facteurs explicatifs sont multiples : renouvellement des équipements, incitation tarifaire, ressources alternatives.

A Casablanca (Maroc), la Lydec⁴ a constaté une augmentation significative des prélèvements en nappe de la part des hammams, des industriels et des grands consommateurs résidentiels, liés à des hausses significatives du prix de l'eau en réseau. De même, à Sfax (Tunisie), les industriels se tournent de plus en plus vers les forages, voire la réutilisation des eaux usées. Aujourd'hui, en Tunisie, la Sonede⁵ fait ainsi face à une situation de transition pour le maintien de l'équilibre financier de sa gestion. Les modalités de péréquations développées entre gros et petits consommateurs ou encore entre espaces urbain et rural devaient permettre d'assurer l'équilibre financier tout en poursuivant des objectifs sociaux et politiques particuliers. Cependant, aujourd'hui, la tendance à la baisse de la consommation des « gros » consommateurs, soit du fait de l'augmentation de l'efficacité de distribution ou d'usage de l'eau, soit du fait de l'augmentation du prix de l'eau en réseau rendant plus attractives les pratiques hors réseau pénalisent la pérennité financière des réseaux.

⁴ La *Lyonnaise de Casablanca* est une entreprise privée, dont le capital social inclut des actionnaires tels que *Suez Environnement*, *Elyo*, *Endesar Europa*, *Aguas de Barcelona*. Depuis 1997, la gestion des services de distribution d'électricité, d'eau potable et d'assainissement liquide à Casablanca a été déléguée à la Lydec, pour une durée de 30 ans. Le périmètre de la concession correspond à la communauté urbaine de Casablanca, soit environ 4 millions de personnes.

⁵ La Sonede a été créée en 1968. Il s'agit d'un établissement public à caractère non administratif, sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques. La Sonede est responsable du service de l'eau potable sur l'ensemble du territoire tunisien (production, traitement, transport, distribution de l'eau, études, travaux)

Figure 5 : Valorisation des économies d'eau chez l'utilisateur d'eau potable



3. Analyse des résultats des études de cas menées en Méditerranée

Parmi l'ensemble des études analysées, cinq sont présentées ci après (*Tableau 2*) : bassin versant du Tensift (Agence française de développement 2008), département de l'Hérault (Rinaudo 2008), bassin versant de l'Ardèche, région de Karditsa (Strosser & al. 2007) et établissement universitaire de l'IPEST (Khrouf 2001).

Trois de ces études correspondent à une évaluation économique des gains d'efficacité à l'échelle du réseau et/ou des usagers, les deux autres correspondent à une évaluation économique des gains d'efficacité à l'échelle d'un territoire. Elles se fondent toutes sur une analyse du type « coûts-efficacité ». Cependant, les ratios coût-efficacité des différentes études n'intègrent pas tous les mêmes éléments :

- Soit les coûts intègrent les coûts financiers de la mesure et le coût de la non-action pour le bénéficiaire de la mesure (CE1),
- Soit les coûts intègrent les coûts financiers de la mesure et ses externalités économiques et environnementales pour le bénéficiaire et plus globalement la collectivité (CE2),
- Soit les coûts se limitent aux coûts financiers de la mesure (CF).

Le cadrage méthodologique défini dans les sections 1 et 2 est appliqué à l'analyse des études de cas (*Tableau 3*) pour déterminer, en fonction de la perspective et de l'horizon temporel considérés, l'efficacité des mesures de GDE considérées.

Tableau 2 : Les études de cas sélectionnées pour le secteur de l'eau potable

Localisation de l'étude de cas	Objectif	Mesures engagées	Type d'évaluation économique	Échelle d'analyse
Région de Karditsa (Grèce)	Évaluer les mesures permettant de répondre à un déficit anticipé à l'horizon 2030, dans un contexte de concurrence des usages sur des ressources souterraines surexploitées.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ À l'échelle des réseaux : Réduction des fuites dans les réseaux. ✓ A l'échelle de l'utilisateur : Installation d'équipements hydro économes ✓ Réduction des fuites dans l'habitat collectif et individuel 	Estimation indirecte des coûts incluant les coûts financiers évités (TdRI)	Service d'eau potable
Bassin versant de l'Ardèche (France)	Évaluer les mesures permettant de répondre à des pénuries saisonnières (périodes de pointe), dans un contexte de croissance de la demande.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A l'échelle de l'utilisateur : Installation d'équipements hydro économes ✓ Réduction des fuites dans le réseau inter bâtiments 	Estimation des coûts incluant les coûts financiers de la mesure (CF et TdRI)	
Etablissement universitaire de l'IPEST (Tunisie)	Évaluer les mesures permettant de réduire les fuites et gaspillages chez le consommateur collectif.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Réhabilitation des réseaux ✓ Réaffectation de l'eau de retenues existantes ✓ Nouvelles retenues, ✓ Transferts interbassins, ✓ Dessalement de l'eau de mer 	Comparaison des différentes alternatives selon des ratios coûts-efficacité variables selon les types de coûts, financiers et/ou économiques, inclus dans le calcul : CF, CE1 ou CE2.	
Bassin versant du Tensift (Maroc)	Envisager des solutions pour l'alimentation en eau potable de Marrakech, en analysant de possibles re-répartitions de l'eau et ses conséquences.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Réhabilitation des réseaux ✓ Réduction de l'usage de l'eau potable (fuites dans l'habitat collectif, équipements hydro économes, tarification) ✓ Récupération de l'eau de pluie ✓ Réaffectation de l'eau de retenues existantes ✓ Transferts à partir du Rhône ✓ Dessalement de l'eau de mer 		Territoire
Département de l'Hérault (France)	Évaluer les mesures pour bâtir des programmes cohérents afin d'atteindre les objectifs de la Directive cadre européenne sur l'eau (DCE).			

3.1. A l'échelle du service d'eau potable

L'analyse s'appuie sur les études menées en Ardèche (France), dans la région de Karditsa (Grèce), (Strosser & al. 2007), et pour l'établissement universitaire de l'IPEST (Tunisie), (Khrouf 2001). Les études sur l'Ardèche et l'IPEST se limitent aux coûts financiers, alors que celle menée sur la région de Karditsa inclut aussi les coûts évités par rapport à une situation de référence, sans projet.

Pour l'étude de cas de la région de Karditsa, les ratios coûts-efficacité ne peuvent être calculés car les coûts des mesures ne sont pas renseignés.

Pour l'étude de cas du bassin de l'Ardèche, ces ratios peuvent être calculés à partir des informations fournies et d'un certain nombre d'hypothèses, relatives au taux d'actualisation et à la durée de vie des équipements associés aux différentes mesures portant sur l'efficacité du réseau et sur l'utilisation de l'eau par les ménages.

Le coût actualisé annualisé a été calculé pour chacune des mesures d'après la formule de l'Equation 2 (Tableau 5).

Les résultats suggèrent que (Tableau 4, Tableau 5) :

- les TdRI sont très variables selon les études de cas,
- Pour un même volume économisé, les mesures visant l'efficacité des réseaux semblent plus coût-efficaces (d'un point de vue strictement financier) que les mesures visant les usagers,
- L'efficacité des mesures est fonction croissante de leur durée de vie.

Tableau 3 : Caractérisation des mesures, de leurs avantages et des bénéficiaires (cas du bassin de l'Ardèche, France, de l'PIPEST, Tunisie, et de la région de Karditsa, Grèce)

Cas	Mesure	Avantages	Perspective
BASSIN DE L'ARDECHE	Amélioration de l'efficacité du réseau	<p>A court terme :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ A l'échelle du service : Moindres volumes prélevés non facturés ✓ En rivière : Contribution aux débits d'étiage, à la qualité de l'hydrosystème, au maintien d'activités de loisirs (baignade, canoë-kayak) ✓ En nappe : Limitation de la baisse du niveau des aquifères. <p>A moyen terme : Contribution à satisfaire de nouvelles demandes</p>	Gestionnaire
	Équipements hydro-économiques	<p>Abaissement de la consommation. Abaissement de la facture d'eau et de la facture d'énergie.</p>	Usagers du bassin versant, milieu
IPEST	Amélioration de l'efficacité du réseau interne (consommateur)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A court terme, à l'échelle des usagers: Abaissement de la consommation. Abaissement de la facture d'eau. ✓ A moyen et long termes, à l'échelle du service et des usagers : Moindres besoins de redimensionnement des réseaux. Non augmentation de la facture d'eau (coûts fixes) 	Nouveaux et anciens usagers du réseau d'eau potable Gestionnaire du réseau (ce programme est encouragé par la Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux)
	Équipements hydro-économiques		
RÉGION DE KARDITSA	Amélioration de l'efficacité du réseau	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A court terme, à l'échelle du service : Moindres volumes prélevés non facturés ✓ A moyen et long termes, à l'échelle du service et des usagers : Moindres besoins de redimensionnement des réseaux, et non augmentation de la facture d'eau (coûts fixes) 	Gestionnaire du réseau
	Équipements hydro-économiques	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A court terme, à l'échelle des usagers: Abaissement de la consommation. Abaissement de la facture d'eau et de la facture d'énergie ✓ A moyen et long termes, à l'échelle du service et des usagers : Moindres besoins de redimensionnement des réseaux, et non augmentation de la facture d'eau (coûts fixes) 	Nouveaux et anciens usagers desservis Gestionnaire du réseau.

Tableau 4 : Coûts des économies d'eau (cas du bassin de l'Ardèche-France, de la région de Karditsa-Grèce et de l'IPEST-Tunisie)

Cas	Économies d'eau quantitatives et avantages quantifiés	Coût de l'eau économisée		Indicateurs financiers et économiques utilisés dans l'étude
BASSIN DE L'ARDECHE	Efficiéce des réseaux : 2,4 Mm ³ /an. Equipements hydro-économiques : 2,46 Mm ³ /an (30 % de l'utilisation d'eau par les ménages). Réduction globale des factures d'eau des ménages entre 7 et 12 M€/an. (prix moyen de l'eau de 2,79 €/m ³).	✓	Coût pour le gestionnaire : 0,23 M€ (amélioration de l'efficiéce de distribution)	TdRI (ménages) < 1 an (3 mois)
		✓	Coût pour les ménages : 1,51 M€ (installation d'équipements hydro-économiques)	
RÉGION DE KARDITSA	Efficiéce des réseaux : 2,3 Mm ³ /an (10 % de la demande). Equipements hydro-économiques : 2,3 Mm ³ /an (10 % de l'utilisation d'eau par les ménages). Réduction globale des factures d'eau des ménages : 3,2 M€/an. (prix de l'eau pour la municipalité de Karditsa : 1,35 €/m ³).	Non renseigné		TdRI (ménages) = [7 ans, 8 ans]. TdRI (réseau) = 10 ans
IPEST	Efficiéce du réseau : 10 000 m ³ /an (33 % de la consommation annuelle moyenne) Equipements hydro-économiques : 3200 m ³ /an (11% de la consommation) Réduction globale de la facture d'eau (réseau) : 15 000 DT en 2000 (7900 € aujourd'hui)	✓	Coût de rénovation du réseau : 12 000 DT en 2000 (6300 € aujourd'hui)	CF du projet d'ensemble = 0,4 €/m ³ (coûts actualisés sur une durée de 30 ans, avec un taux d'actualisation de 10 %) Economie sur la facture d'eau estimée à 60% TdRI (réseau interne au bâtiment) < 1 an (10 mois)
		✓	Coût d'installation des équipements hydroéconomiques : 78 000 DT en 2000 (41 100 € aujourd'hui) Coût global : 90 000 DT (47 400 € aujourd'hui)	

Source : Ratios calculés à partir des données de (Strosser & al. 2007), (Khrouf 2001)

Tableau 5 : Estimation des ratios coût-efficacité des mesures envisagées sur le bassin de l'Ardèche (France)

Bassin de l'Ardèche (France)	Volumes / an (Mm ³)	Coût d'investissement (M€)	Ratio coût-efficacité (T=2 ans) (€/m ³)		Ratio coût-efficacité (T=5 ans) (€/m ³)		Ratio coût-efficacité (T=10 ans) (€/m ³)		Ratio coût-efficacité (T=20 ans) (€/m ³)	
			a=4%	a=10%	a=4%	a=10%	A=4%	A=10%	A=4%	A=10%
Efficiéce des réseaux	2,4	0,23	0,051	0,055	0,022	0,025	0,012	0,015	0,007	0,011
Utilisation de l'eau par les ménages	2,46	1,51	0,325	0,354	0,138	0,163	0,076	0,100	0,045	0,072

Source : Ratios calculés à partir des données de (Strosser & al. 2007)

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

Taux d'actualisation (a) : Taux de 4% retenu par le Commissariat général du Plan en 2005 (rapport Lebègue) pour les projets d'investissements publics - Taux de 10 % retenu pour l'étude de cas tunisienne (IPEST).Durée de vie des équipements (I) : Les mesures proposées comportent des équipements à durée de vie très variable. Nous avons ici cherché à tester la sensibilité des ratios à la durée sur laquelle est réparti le coût de la mesure (T = 2 ans, 5 ans, 10 ans ou 20 ans).

3.2. A l'échelle des territoires

Les deux études considérées sont l'étude menée dans le bassin du Tensift (Agence française de développement 2008) et l'étude conduite dans l'Hérault (Rinaudo 2008). Elles s'intègrent dans une perspective plus large de gestion des tensions sur les ressources à l'échelle d'un territoire, avec une approche intersectorielle.

Tableau 6 : Évaluation coût-efficacité de différentes options de gestion de la demande en eau sur 2 territoires (Ouest Hérault en France et Bassin du Tensift au Maroc)

Mesure		Cas	Volumes économisés -Offre en eau supplémentaire (Mm ³) et leur affectation	Analyse coût-efficacité (CE ₁ ou CE ₂ , €/m ³) Ou coût moyen annualisé de la mesure (CF, €/m ³)
MESURES DE GESTION DE LA DEMANDE EN EAU	Réseau d'eau potable	Réduction des fuites dans les réseaux	« Ouest-Hérault » Volume : 1,345 Mm ³ en période de pointe, 3,45 Mm ³ /an. Objectif : AEP sans redimensionnement du réseau	CF (période de pointe) = 0,53 €/m ³ 26% des communes : CE ₁ = - 0,026€/m ³ , 74% des communes : CE ₁ = [0,12€/m ³ , 11,66€/m ³] Coûts pris en compte : le coût financier de la mesure et les coûts évités de redimensionnement du réseau par rapport à la situation de référence.
		Bassin du Tensift	Volume : 7Mm ³ /an Objectif : AEP sans redimensionnement du réseau	CF = 0,08 €/m ³ (0,91 Dh/m ³) Coûts pris en compte : les coûts en capital et en opération de la gestion des fuites.
	Usage de l'eau potable	Réduction des fuites dans l'habitat collectif	« Ouest-Hérault » Contrats de robinetterie Volume : 0, 194 à 0,224 Mm ³ /an Objectif : AEP sans redimensionnement du réseau	CF (période de pointe)= 7,6 €/m ³ CE ₁ (période de pointe) = [6,62€/m ³ , 6,70€/m ³] Coûts pris en compte : le coût direct de la mesure et les coûts évités de redimensionnement du réseau et d'énergie par rapport à la situation de référence.
		Réduction des consommations unitaires chez les particuliers	« Ouest-Hérault » Installation d'équipements hydro-économiques dans l'ensemble des communes avec un taux d'adoption de 30 %. Volume : 3,63 Mm ³ /an (soit 36 m ³ /an par ménage moyen), dont 1,45 Mm ³ en période de pointe (40 %). Objectif : AEP sans redimensionnement du réseau	CF (période de pointe) = 0,382 €/m ³ CE ₁ période de pointe = [-1,2 €/m ³ , -1,9 €/m ³], CE ₁ moyen= -1,58 €/m ³ Coûts pris en compte : le coût financier de la mesure et les coûts évités de redimensionnement du réseau et d'énergie par rapport à la situation de référence.
		Réduction des consommations via une tarification incitative	« Ouest-Hérault » Mise en place d'une tarification saisonnière. Volume : 3,468 Mm ³ /an (1, 387 Mm ³ en période de pointe) Objectif : AEP sans redimensionnement du réseau	CF (période de pointe) = [0,2 €/m ³ , 0,9 €/m ³] 4 % des communes : CE ₁ (période de pointe) < 0, 96% des communes : CE ₁ période de pointe=[0 €/m ³ ; 0,7 €/m ³] Coûts pris en compte : le coût direct de la mesure et les coûts évités de redimensionnement du réseau et d'énergie par rapport à la situation de référence.
	Flexibilisation de l'usage de l'eau des retenues existantes (Réaffectation de l'eau de retenues existantes)	« Ouest-Hérault » Augmentation des prélèvements dans le lac du Salagou. Volume : de 3 à 15,5 Mm ³ en période de pointe Objectif : AEP, amélioration de la capacité autoépuration des cours d'eau.	Abaissement de la cote de 50 m: CE ₂ (période de pointe) = 0,436 €/m ³ Abaissement supprimant toute activité touristique sur le lac: CE ₂ (période de pointe) = 0,56 €/m ³ Coûts pris en compte : les coûts associés à la perte d'activité touristique sur le lac.	
	Reconquête de la qualité de l'eau des nappes	« Ouest-Hérault » Modification des pratiques agricoles en matière d'intrants et de phytosanitaires dans les zones de captage et enherbement des parcelles de vigne. Volume : 0,127 Mm ³ en période de pointe Objectif : AEP, amélioration de la qualité des nappes	CF = 0,70 €/m ³ Coûts pris en compte : le coût d'enherbement et de changement de pratiques, coût subventionné pour limiter son impact sur les revenus agricoles.	

Source : Ratios calculés à partir des données de (Agence française de développement 2008), (Rinaudo 2008)

Tableau 7 : Évaluation coût-efficacité de différentes options de gestion de l'offre sur 2 territoires (Ouest Hérault en France et Bassin du Tensift au Maroc)

Mesure	Cas	Volumes économisés -Offre en eau supplémentaire (Mm ³) et leur affectation	Analyse coût-efficacité (CE ₁ ou CE ₂ , €/m ³) Ou coût moyen annualisé de la mesure (CF, €/m ³)	
MESURE DE GESTION DE L'OFFRE	NOUVELLES RETENUES	Bassin du Tensift <u>Volume</u> : 17 Mm ³ (sur le barrage de Wirgane d'une capacité de 70 M m ³) <u>Objectif</u> : AEP (Marrakech)	CF = 0,21 €/m ³ (2,3 Dh/m ³) <u>Coûts pris en compte</u> : les coûts financiers d'investissement et de fonctionnement.	
		« Ouest-Hérault » Récupération d'eau de pluie par les particuliers : Bidons d'une capacité de 500 litres : <u>Volume</u> : 0,033 Mm ³ <u>Objectif</u> : Arrosage des jardins privés (AEP sans redimensionnement du réseau)	CF = 9,53 €/m ³ CE₁ = 8,96 €/m³ <u>Coûts pris en compte</u> : le coût direct de la mesure et les coûts évités de redimensionnement du réseau par rapport à la situation de référence.	
		Récupération d'eau de pluie par les particuliers : Système de grande capacité : cuve enterrée (capacité de 9 m ³) <u>Volume</u> : 0,18 Mm ³ <u>Objectif</u> : Arrosage du jardin et alimentation des chasses d'eau (AEP sans redimensionnement du réseau)	CE₁ = 17 €/m³ <u>Coûts pris en compte</u> : le coût direct de la mesure et les coûts évités de redimensionnement du réseau par rapport à la situation de référence.	
	TRANSFERTS	« Ouest-Hérault » Transfert de l'eau du Rhône <u>Volume</u> : Entre 3,33 Mm ³ et 7,793 Mm ³ (moindres prélèvements dans l'Hérault, l'Orb ou la nappe de l'Astien en période de pointe). <u>Objectif selon la taille de l'adducteur</u> : (1) AEP (avec plusieurs alternatives selon l'étendue de la zone géographique concernée), (2) AEP et irrigation, (3) AEP, irrigation et alimentation du canal du Midi	CE₂ (période de pointe) = [1,14 €/m³, 2,03 €/m³] (selon la taille de l'adducteur). <u>Coûts pris en compte</u> : les coûts d'investissement annualisés, les coûts de maintenance et de fonctionnement des tuyaux de transport d'eau brute, les coûts de potabilisation, et les coûts d'émission de CO ₂ qui correspondent aux externalités environnementales.	
		Bassin du Tensift Transfert à partir de retenues (Massira, Bin El Ouidane, Hassan 1 ^{er}), via des canaux. <u>Volume</u> : Entre 30 et 80 Mm ³ <u>Objectif</u> : AEP (Marrakech)	CE₂ = [0,63 €/m³, 1,23 €/m³], [7 Dh/m³; 13,5 Dh/m³] <u>Coûts pris en compte</u> : le coût financier du transfert et le coût d'opportunité représenté par les pertes agricoles associées à une réaffectation de l'eau des retenues.	
	DESSALEMENT DE L'EAU DE MER	Bassin du Tensift <u>Volume</u> : Non informé <u>Objectif</u> : AEP (Marrakech), avec redimensionnement du réseau	CF = [0,5€/m ³ , 0,85 €/m ³] ([5,5, 9,4 Dh/m ³]) <u>Coûts pris en compte</u> : le coût de mobilisation de l'eau, pas de transport.	
		Projet « Ouest-Hérault »	Usine de dessalement sur le littoral (région d'Agde), capacité de l'usine : 30 000 m ³ /j <u>Volume</u> : 4,05 Mm ³ /an dont 2,7 Mm ³ en période de pointe. <u>Objectif</u> : AEP, avec redimensionnement du réseau et allègement des pressions exercées sur la nappe de l'Astien	CE₂ (période de pointe) = 1,545 €/m³ <u>Coûts pris en compte</u> : les coûts d'investissement annualisés, les coûts de maintenance et de fonctionnement et les coûts d'émission de CO ₂ . Il n'y a pas de coût évité par rapport à la situation de référence
			Usine de dessalement sur le littoral (aval de l'Orb), capacité de l'usine : 15 000 m ³ /j <u>Volume</u> : 2,025 Mm ³ dont 1,35 Mm ³ pendant la période de pointe. <u>Objectif</u> : AEP, avec redimensionnement du réseau, allègement des pressions exercées sur l'Orb et la nappe de l'Astien.	CE₂ (période de pointe) = 2,06 €/m³ <u>Coûts pris en compte</u> : les coûts d'investissement annualisés, les coûts de maintenance et de fonctionnement et les coûts d'émission de CO ₂ . Il n'y a pas de coût évité par rapport à la situation de référence.

Source : Ratios calculés à partir des données de (Agence française de développement 2008), (Rinaudo 2008)

4. Conclusion

Les conclusions se fondent sur l'analyse du Tableau 4, du Tableau 5, du Tableau 6 et du Tableau 7 :

- **Analyse comparée mesure par mesure, des résultats économiques unitaires:**

- Les solutions les plus efficaces résident dans la réduction des fuites des réseaux de distribution lorsque le rendement initial du réseau est faible.
- L'installation d'équipements hydro-économiques est une solution efficace pour l'utilisateur et le gestionnaire, dès lors que la demande raccordable au réseau à dimensionnement constant est en hausse.
- La réduction des fuites au sein des habitats collectifs, ainsi que la récupération des eaux de pluie, semblent peu efficaces.
- Les solutions visant une flexibilisation de l'usage de l'eau des retenues peuvent s'avérer efficaces.
- Les solutions visant à limiter les pollutions diffuses sont efficaces.
- Les solutions d'augmentation de l'offre du type transferts ou dessalement de l'eau de mer sont les moins efficaces⁶.

- **Analyse globale des projets :**

Les différentes mesures analysées ne sont pas toutes comparables en termes de volumes totaux qu'elles peuvent permettre d'économiser.

Selon les études de cas, la réduction des fuites dans les réseaux et l'installation d'équipements hydro-économiques, en plus d'être les mesures les plus coûts-efficaces, peuvent contribuer de façon significative à répondre à des demandes futures en eau potable.

Au-delà de l'évaluation mesure par mesure, les études estiment aussi les ratios coûts-efficacité de différentes combinaisons de mesures en fonction d'un objectif de volume d'eau disponible à atteindre, qui peut être destiné soit à alléger les pressions sur le milieu, soit à satisfaire de nouvelles demandes anthropiques.

Les études de cas suggèrent aussi :

- une forte variabilité spatiale de l'efficacité de certaines mesures, à prendre en compte dans la définition des projets.
- Le poids de la variabilité saisonnière des relations offre/demande en eau dans l'efficacité des mesures. Le calcul réalisé sur les périodes de pointe produit des ratios coûts-efficacité globalement plus faibles.

Enfin, seules les mesures dont le ratio est négatif sont susceptibles d'être spontanément mises en œuvre puisqu'elles représentent un bénéfice net pour le bénéficiaire de la mesure, qui est clairement identifié. En revanche, les mesures présentant des ratios faibles mais positifs demandent généralement un financement collectif (public, financement international), en particulier celles qui relèvent d'investissements indivisibles, aux coûts fixes élevés.

⁶ Le dessalement semble moins coûteux dans le cas Marocain, certainement parce que les coûts d'adduction n'ont pas été intégrés, et peut-être aussi parce que les choix techniques ne sont pas les mêmes.

IV. Evaluation économique et financière de la gestion de la demande en eau d'irrigation

Ce chapitre concerne les services d'eau d'irrigation (eau bleue) et la question de la productivité de l'eau agricole (eau bleue et eau verte). Comme pour l'évaluation économique de la gestion de la demande en eau potable, l'analyse discute des enjeux de mesure, suivi et de gestion de l'efficacité de l'eau d'irrigation, à l'échelle du réseau d'irrigation et à celle de la parcelle.

Le coût de l'irrigation dépend de la topographie et de la distance à la ressource. L'irrigation riveraine, d'un cours d'eau ou d'une nappe, est la moins coûteuse. Par convention, on distingue souvent irrigation individuelle et collective. En effet, elles ne structurent pas les acteurs de la même manière autour de la gestion de l'eau d'irrigation et du partage de l'eau avec les autres usages. Cependant, cette distinction ne représente pas toujours bien la réalité des systèmes agraires irrigués qui peuvent coupler les deux types d'irrigation.

L'évaluation des gains d'efficacité dans le secteur d'utilisation de l'eau agricole est particulièrement complexe parce que les facteurs explicatifs de la gestion de l'eau agricole s'inscrivent dans des champs hors du monde de l'eau, tels que les politiques territoriales, agricoles.

L'efficacité de l'eau d'irrigation se décompose en efficacité « hydrologique », « hydraulique », « agronomique » et « économique » (Bouaziz & Belabbes 2002), (Annexe 2).

1. Réduction des pertes dans le service d'eau d'irrigation (efficacité hydraulique)

1.1. Quantification et suivi des pertes dans les réseaux et dans l'application de l'eau à la parcelle

Les « pertes » lors de la mobilisation et de la distribution d'eau d'irrigation par des canaux, individuels ou collectifs, peuvent correspondre (*Figure 6*):

- à des fuites : eau mobilisée et distribuée, perdue dans les réseaux et qui retourne au milieu,
- à de l'eau détournée (« usagers clandestins ») ou à des défauts de comptage⁷,
- à de l'eau évaporée lors du transport de l'eau dans des réseaux à ciel ouvert (eau de pluie évaporée et ultérieurement condensée sous forme de nuages).

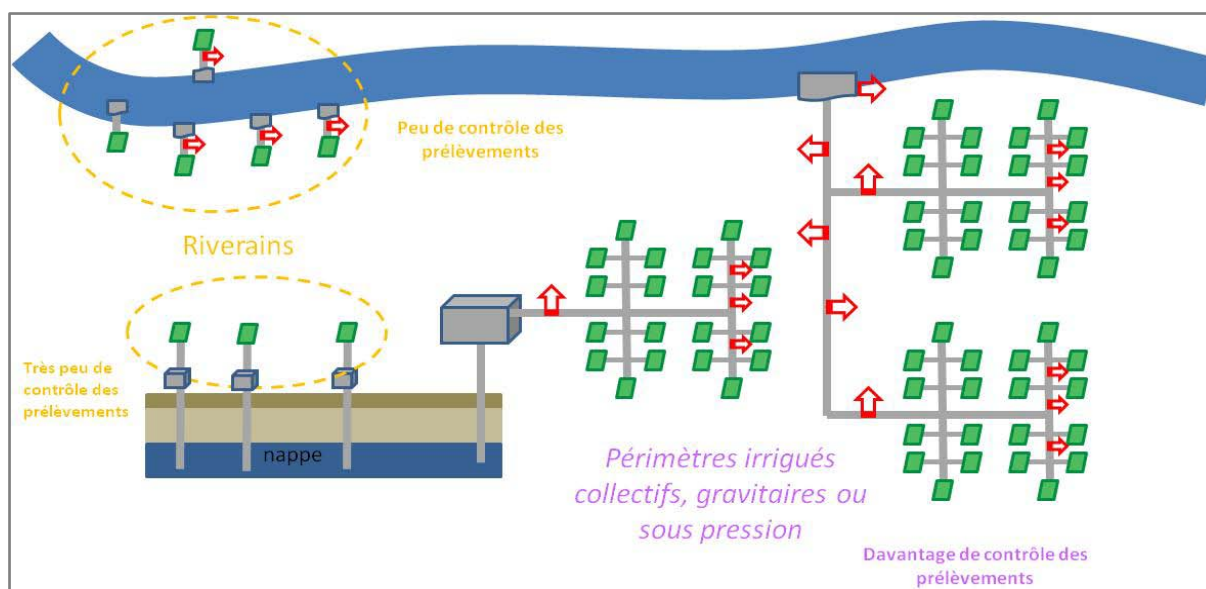
Les principaux indicateurs de l'efficacité hydraulique sont décrits en Annexe 2.1 : efficacité du réseau d'amenée, de distribution d'eau et d'application de l'eau. Les techniques d'irrigation contribuent à expliquer l'efficacité d'application de l'eau d'irrigation à la parcelle. Les choix en matière de technique d'irrigation dépendent entre autres de contraintes (*Tableau 13*, Annexe 2.1) :

- physiques : climat, topographie,
- agronomiques : pratiques culturales, contraintes globales du système de production,
- économiques, humaines et organisationnelles: rapport entre coût de main d'œuvre et énergie, disponibilité de la main d'œuvre (salariée, familiale), degré de développement industriel des techniques, technicité globale des agriculteurs, organisation du travail, organisation du partage et de la distribution de l'eau (irrigation par tour d'eau, à la demande, régularité du débit...).

La question du choix d'une technique d'irrigation s'insère dans une logique plus globale de rentabilité du système de production, dont la valorisation du facteur « eau » constitue seulement l'un des éléments.

⁷ Comme pour l'eau potable, il semble difficile de considérer les volumes distribués non facturés pour des raisons sociales et politiques comme des « pertes ».

Figure 6 : Pertes à l'échelle du service d'eau d'irrigation



1.2. Evaluation économique et financière de la réduction des pertes dans le service d'eau d'irrigation

En ce qui concerne les pertes d'eau lors de la mobilisation et la distribution, dues à une inefficience hydraulique :

- Lorsque l'irrigation est individuelle, les pertes d'eau représentent un coût financier (de mobilisation et de distribution) pour l'irrigant :

Pour l'irrigant, l'analyse financière inclut alors :

- les coûts financiers de mobilisation et de distribution de l'eau « perdue »,
- les coûts financiers de réhabilitation du réseau ou de la retenue collinaire,
- Les avantages associés à l'eau économisée : en fonction des caractéristiques de la demande en eau de l'irrigant et de son droit d'eau, l'eau économisée pourra être utilisée pour intensifier ou étendre l'irrigation ou ne sera pas mobilisée et restera alors potentiellement disponible pour des usagers à l'aval ou le milieu aquatique.

A l'échelle du territoire (collectivité) l'analyse économique mettra en balance ces résultats avec les avantages de l'eau économisée pour les usagers potentiels à l'aval ou pour le milieu.

- Lorsque l'irrigation est collective, les pertes d'eau représentent un coût financier (de mobilisation et de distribution) pour le gestionnaire.

Pour le gestionnaire et l'irrigant :

Le gestionnaire met en balance les coûts financiers de mobilisation et de distribution de l'eau « perdue » et ceux de la réhabilitation du réseau. Ils sont aussi mis en perspective avec des avantages, qui sont positifs si la demande en eau d'irrigation sur le réseau est contrainte par rapport à l'offre disponible, permettant aussi potentiellement de redistribuer les coûts fixes sur un volume distribué plus important.

A l'échelle du territoire (collectivité) l'analyse économique mettra en balance ces résultats avec les avantages de l'eau économisée pour les usagers potentiels à l'aval ou pour le milieu.

Les principaux indicateurs d'efficacité économique sont décrits en Annexe 2.3 : indicateurs de valorisation de l'eau d'irrigation, produit brut, valeur ajoutée et revenu par hectare, valeur de l'eau comparée entre cultures et valeur stratégique de l'eau d'irrigation.

Dans la mesure où l'utilisation de l'eau s'insère dans une activité productive, la valorisation des m³ d'eau prélevés et consommés pour l'irrigation constitue aussi un élément de l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Les indicateurs correspondants sont ceux qui permettent d'évaluer la richesse produite par m³ d'eau consommé (valeur ajoutée/m³ consommé à l'échelle de l'exploitation, de la filière, marge brute/m³ consommé...).

Par conséquent :

- Pour le gestionnaire du réseau (différent de l'irrigant), l'eau économisée est d'autant plus valorisée qu'elle peut répondre à une demande contrainte sur le réseau,
- Pour l'irrigant, l'eau économisée peut être source de revenus si elle est utilisée pour étendre ou intensifier l'irrigation, en fonction de la valeur ajoutée des cultures irriguées ; sinon, les volumes économisés se traduiront par une réduction de sa facture d'eau,
- Pour la collectivité, si les volumes économisés restent dans le milieu, ils peuvent être valorisés par des usagers à l'aval ou par le milieu aquatique.

2. Réduction des pertes à l'échelle de la parcelle et de la plante cultivée (efficacité agronomique)

2.1. Quantification et suivi des pertes à l'échelle de la plante cultivée

Les « pertes » lors de l'application d'eau d'irrigation ou de la valorisation de l'eau de pluie peuvent correspondre à :

- l'évaporation de l'eau ultérieurement condensée sous forme de nuages,
- des phénomènes d'infiltration d'eau qui n'est pas absorbée par le système racinaire des plantes cultivées.

L'efficacité agronomique pour une culture donnée dépend aussi des pratiques d'irrigation et de gestion des sols. Les principaux indicateurs d'efficacité agronomique sont décrits en Annexe 2.2 : efficacité d'application de l'eau d'irrigation, efficacité « réelle » d'application de l'eau d'irrigation, efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation par rapport au rendement agronomique.

Les potentiels d'économie d'eau à l'échelle d'un système de production irrigué résident dans plusieurs stratégies. On peut ainsi distinguer les stratégies (Amigues & al. 2006), (Mediterra 2009) :

- Qui portent essentiellement sur les caractéristiques physiologiques ou la conduite culturale d'une plante donnée : réduction du risque de perte de rendement en acceptant une réduction du rendement maximum atteignable (esquive, évitement, amélioration de l'efficacité de l'eau) ou maintien du rendement maximum atteignable en acceptant d'augmenter le risque de perte de rendement (tolérance),
- Qui portent sur l'organisation de la production agricole : choix des assolements qui pèsent significativement sur les quantités d'eau prélevées dans le milieu.

2.2. Évaluation économique et financière de la réduction des pertes à l'échelle de la plante cultivée

Les gains d'efficacité agronomique présentent le même type d'avantages que ceux de l'efficacité hydraulique.

Les gains d'efficacité hydrauliques ou agronomiques visent à augmenter la part d'eau effectivement utilisée par rapport à l'eau mobilisée. D'un point de vue économique, l'enjeu est d'évaluer la création de valeur associée à l'amélioration des efficacités agronomiques ou hydrauliques. Si, d'un point de vue agronomique, il s'agit de maximiser le rendement sous contrainte, l'efficacité économique, elle, se fonde généralement sur une maximisation du revenu sous contrainte. La valorisation issue d'une réallocation de l'eau vers d'autres usagers influence aussi l'efficacité économique de l'eau.

3. Résultats des études de cas menées en Méditerranée

Huit études de cas ont été considérées : Bassin du Tensift (Agence française de développement 2008), Département de l'Hérault (Maton 2008), (Rinaudo 2008), Bassin versant de l'Ardèche, région de Karditsa et bassin du Guadalquivir (Strosser & al. 2007), bassin d'Amman-Zarqa (Aulong & al. 2008), oasis de Gabès (Louhichi & al. 2000) (*Tableau 8*).

En ce qui concerne les mesures d'économies d'eau, les études de cas portent essentiellement sur des mesures d'amélioration de l'efficacité hydraulique à l'échelle des réseaux ou de la parcelle. Certaines études de cas analysent aussi l'impact sur les économies d'eau :

- d'instruments économiques tels que la tarification,
- de changements d'assolement en faveur de cultures moins consommatrices d'eau.

Les études de cas proposent également des mesures d'augmentation de l'offre en eau : construction de retenues, recours à des ressources alternatives aux eaux de surface telles que les nappes, transferts d'eau interbassins.

Elles se fondent essentiellement sur le calcul de ratios de type CF, la seule étude analysant des ratios de type CE2 est celle menée sur l'Ouest Hérault.

Le cadrage méthodologique défini dans les sections 1 et 2 est appliqué à l'analyse des études de cas (*Tableau 9*) pour déterminer, en fonction de la perspective et du type d'efficacité considérés, les avantages associés aux mesures de gestion de la demande en eau d'irrigation.

3.1. A l'échelle des réseaux d'irrigation

Il s'agit des études menées en Ardèche (France), dans la région de Karditsa (Grèce), sur le bassin du Guadalquivir (Espagne), dans l'oasis de Gabès (Tunisie) et sur le bassin Amman-Zarqa (Jordanie).

Elles se limitent toutes aux coûts financiers (CF).

Pour l'étude de cas du bassin de l'Ardèche, les ratios coût-efficacité ont été calculés à partir des informations fournies et d'un certain nombre d'hypothèses sur le taux d'actualisation et la durée de vie des équipements associés aux différentes mesures⁸. Le coût actualisé annualisé a été calculé pour chacune des mesures d'après la formule de l' :

Équation 2.

L'analyse des études de cas suggère que (*Tableau 10, Tableau 11, Tableau 12*) :

1) Mesures de gestion de la demande en eau

- Mesures à l'échelle des réseaux

Les mesures d'étanchéisation des réseaux et les mesures de changement des types de canaux (de canaux gravitaires, ouverts, à des canaux sous pression) présentent des ratios coût-efficacité du même ordre de grandeur. Les ratios obtenus dépendent largement :

- Des types de coûts pris en compte, même lorsque la perspective n'est que financière ; chaque type de coût pouvant présenter une forte variabilité spatiale.
- De la durée de vie des équipements retenue pour le calcul, que ce soit lorsqu'on compare différentes mesures à l'échelle du réseau ou des mesures à l'échelle du réseau avec des mesures à l'échelle de la parcelle (*Tableau 12*).⁹

- Mesures à la parcelle

⁸ Pour l'étude de cas de la région de Karditsa, les ratios coûts-efficacité ne peuvent être calculés car les coûts des mesures ne sont pas renseignés.

⁹ Pour les mesures de réduction des pertes, les études ne précisent pas les périodes sur lesquelles les coûts des économies d'eau sont actualisés, ni les taux d'actualisation retenus. Des hypothèses ont été faites (taux d'actualisation, durée de vie des équipements). Pour confirmer ces résultats, des études plus détaillées sont nécessaires.

L'amélioration du rendement (efficience hydraulique) à la parcelle est d'autant plus coût-efficace que le rendement de départ est faible. Ainsi le passage de l'aspersion à la micro-aspersion présente un ratio coût-efficacité plus élevé, c'est-à-dire qu'il est moins efficace, qu'un passage du gravitaire à l'aspersion ou au goutte-à-goutte. Cependant, pour un même changement de technique, les coûts de référence peuvent aussi varier sensiblement selon les études de cas.

Le changement d'assolement n'a pas fait l'objet d'une évaluation économique. Il s'agit pourtant des mesures parmi les plus significatives en termes d'économies d'eau potentielles. L'évaluation de l'intérêt et des impacts d'un changement d'assolement demande une analyse agro-économique spécifique. En effet, l'intérêt et la faisabilité d'un changement d'assolement dépend essentiellement des caractéristiques du milieu (types de sols, températures, etc.), des contraintes de l'exploitation (capacité d'investissement, amortissement des investissements passés) et de la valorisation des produits.

- Mesures tarifaires

D'après deux des études de cas, les mesures tarifaires permettraient des économies d'eau significatives, avec un bon ratio coût-efficacité. Ainsi, pour le bassin du fleuve Guadalquivir, une mesure tarifaire semble plus coût-efficace et permet d'économiser des volumes plus importants qu'une mesure combinant un changement des canaux collectifs pour leur mise sous pression et la conversion au goutte-à-goutte.

Pour parvenir à isoler l'impact d'un changement tarifaire sur une consommation d'eau de l'impact d'autres mesures, une analyse approfondie, associant approches quantitatives et qualitatives, est cependant nécessaire.

- Mesure réglementaire : Police de l'eau

Le renforcement de la police de l'eau est l'une des mesures de gestion de la demande en eau avec le meilleur ratio coût-efficacité. Elle n'est cependant analysée que dans une des sept études.

2) Mesures d'augmentation de l'offre en eau

Trois des études de cas analysent aussi des mesures de gestion par l'offre, dont les ratios coût-efficacité sont relativement faibles lorsqu'ils sont comparés à l'ensemble des mesures étudiées.

Les études de cas illustrent que les ratios coûts-efficacité dépendent largement :

- De la période sur laquelle les coûts sont actualisés :

Selon l'étude de cas considérée, le ratio coût-efficacité d'un nouveau barrage peut s'avérer inférieur (cas d'Amman-Zarqa, Jordanie), ou au contraire supérieur (cas de l'oasis de Gabès en Tunisie et du bassin du Tensift au Maroc lorsque les impacts de l'envasement des ouvrages sont pris en compte) à celui de mesures de gestion par la demande. Il faut cependant souligner que, pour l'étude sur le bassin d'Amman-Zarqa, le ratio coût-efficacité de la mesure de police de l'eau est calculé à partir d'un coût total annualisé sur une période de 5 ans, alors que le coût de la construction du barrage d'Al-Wahdah est annualisé sur toute la durée de vie du barrage, soit 80 ans. Si, au contraire, on actualise les coûts en prenant en compte leur distribution réelle dans le temps, le ratio coût-efficacité obtenu reflète alors le coût du capital annualisé élevé des premiers volumes d'eau produits. Dans cette configuration, la mesure de renforcement de la police de l'eau devient plus intéressante que la construction d'un barrage.

- Des coûts pris en compte dans l'évaluation économique :

Le ratio coût-efficacité de la construction du barrage de Wirgane (Bassin du Tensift au Maroc) est presque multiplié par 3 lorsque les effets de l'envasement sont inclus dans les coûts. Les externalités environnementales influencent donc sensiblement ce ratio.

- De la taille des ouvrages réalisés :

D'autres analyses conduites au sein de l'espace méditerranéen suggèrent aussi des économies d'échelle : le ratio coût-efficacité est d'autant plus faible que la capacité de stockage est élevée, comme c'est le cas de la vingtaine de barrages évaluée dans le cadre du Plan Stratégique Décennal établi par la Direction générale des ressources hydrauliques et électriques du Liban (Comair 2008), avec des ratios coût-efficacité allant de 0,33 à 14,55 €/m³, pour des ouvrages d'une capacité comprise entre 300 000 m³ et 120 Mm³.

- Du contexte géographique :

Les coûts, pour une même capacité de stockage, dépendent aussi des caractéristiques du site pour la construction de l'ouvrage (variabilité spatiale).

Tableau 8 : Les études de cas sélectionnées pour le secteur de l'eau agricole

Localisation de l'étude de cas	Objectif	Mesures engagées	Type d'évaluation économique	Échelle d'analyse
Bassin versant de l'Ardèche (France)	Répondre à des pénuries saisonnières (périodes de pointe), dans un contexte de pression sur la ressource.	A l'échelle du réseau collectif : Passage de canaux gravitaires à des canaux sous-pression A l'échelle de l'irrigant : Passage de l'irrigation surfacique à l'aspersion, Passage de l'aspersion à la micro-aspersion, Conversion de surfaces emblavées en maïs à des surfaces cultivées en vigne, Augmentation du prix de l'eau.	Estimation des coûts financiers (CF)	Service d'eau d'irrigation
Région de Karditsa (Grèce)	Sécuriser l'irrigation, face à une demande croissante et un déficit anticipé conduisant à des pertes de revenu agricole.	A l'échelle du réseau collectif : Réduction des fuites dans les réseaux de distribution A l'échelle de l'irrigant : Passage de l'irrigation surfacique à l'aspersion	Estimation des coûts financiers (CF) et analyse de la perte de revenu agricole évitée	
Oasis de Gabès (Tunisie)	Améliorer l'utilisation de l'eau d'irrigation, dans un contexte de rareté et de mauvaise gestion de la ressource.	A l'échelle du réseau collectif : Réduction des fuites dans les réseaux de distribution Construction de nouvelles retenues A l'échelle de l'irrigant : Prélèvements en nappes à partir de puits de surface ou de forages profonds	Estimation des coûts financiers (CF)	
Bassin du Guadalquivir (Espagne)	Comblent un déficit actuel et répondre à une demande croissante, les options d'accroissement de l'offre étant limitées.	A l'échelle du réseau collectif : Passage de canaux gravitaire à des canaux sous-pression A l'échelle de l'irrigant : Passage de l'irrigation surfacique à l'irrigation localisée Mise en place d'une tarification volumétrique et augmentation du prix de l'eau	Estimation des coûts financiers (CF)	
Bassin d'Amman-Zarqa (Jordanie)	Réduire un déficit anticipé à l'horizon 2030, dans un contexte actuel de surexploitation des ressources.	A l'échelle du réseau collectif : Renforcement de la police de l'eau Construction d'une nouvelle retenue	Estimation des totaux financiers annualisés (CF)	
Bassin versant du Tensift (Maroc)	Sécuriser l'irrigation (approvisionnements en eau agricole), dans un contexte de conflits d'usage sur des ressources surexploitées.	A l'échelle du réseau collectif : Réduction des fuites dans les réseaux de distribution A l'échelle de l'irrigant : Conversion de l'irrigation gravitaire à l'irrigation localisée Construction d'une nouvelle retenue	Comparaison des différentes alternatives selon des ratios coûts-efficacité variables selon les types de coûts, financiers et/ou économiques, inclus dans le calcul (CF ou CE ₂)	
Département de l'Hérault (France)	Évaluer les mesures permettant de réduire au moindre coût les prélèvements du secteur agricole, afin de freiner l'évolution tendancielle de la demande.	A l'échelle du réseau collectif : Réduction des fuites dans les réseaux de distribution Passage de canaux gravitaires à des canaux sous-pression A l'échelle de l'irrigant : Conversion de l'irrigation surfacique à l'irrigation localisée Transferts à partir du Rhône		

Tableau 9 : Caractérisation des mesures, de leurs avantages et des bénéficiaires

Efficiency visée par la mesure	Mesure	Devenir des volumes économisés	Avantages/Côûts	Perspective
Efficience hydraulique	<p>A l'échelle du réseau collectif :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Optimisation des réseaux existants : réduction des fuites dans les réseaux de distribution ✓ Passage du mode gravitaire au mode sous-pression ✓ Police de l'eau <p>A l'échelle de la parcelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Amélioration de la technique ✓ Changement de technique d'irrigation 	Volumes non prélevés	Moindres volumes prélevés et facturés (moindres coûts de mobilisation et distribution), risques de pérennité financière liés à la structure des coûts du service et à la tarification de l'eau	Gestionnaire du service d'eau
			Contribution aux débits d'étiage, à la qualité de l'eau (dilution/capacité auto épuratoire)	Milieu, usagers aval
			Possible réduction de la facture d'eau	Irrigant
		Extension des surfaces irriguées ou intensification ou sécurisation de l'eau appliquée	Effet nul	Gestionnaire du service d'eau
			Pas de diminution des pressions sur la ressource	Milieu, usagers aval
			<p><u>Actions à l'échelle du réseau collectif :</u></p> <p>Si l'eau était une contrainte à la maximisation du revenu: Hausse du revenu, Hausse de l'efficience économique</p> <p><u>Actions à l'échelle de la parcelle :</u></p> <p>Hausse de l'efficience agronomique et économique si le changement (ou l'amélioration) de technique se traduit par une meilleure conduite de l'irrigation.</p>	Irrigant
Efficience agronomique et économique	Changement des assolements	Volumes non prélevés (orientation vers des cultures moins consommatrices d'eau)	Moindres volumes prélevés et facturés (moindres coûts de mobilisation et distribution), risques de pérennité financière liés à la structure des coûts du service et à la tarification de l'eau	Gestionnaire du service d'eau
			Contribution aux débits d'étiage, à la qualité de l'eau (dilution/capacité auto épuratoire)	Milieu, usagers aval
			Possible réduction de la facture d'eau. Hausse du revenu et de l'efficience économique si la nouvelle culture a une plus grande valeur ajoutée, baisse de l'efficience économique le cas échéant.	Irrigant
		Extension surfaces irriguées ou intensification /sécurisation irrigation	Effet nul	Gestionnaire du service d'eau
			Pas de diminution des pressions sur la ressource (mesure contre-productive si objectif d'atténuation des tensions)	Milieu, usagers aval
			Hausse du revenu et de l'efficience économique si la nouvelle culture a une plus grande valeur ajoutée, baisse de l'efficience économique le cas échéant.	Irrigant
Efficience économique	Mesures tarifaires, contrôle du partage de l'eau (quotas, police de l'eau, etc.)	Volumes non prélevés (Pour la tarification, vrai seulement si élasticité-prix est élevée)	Moindres volumes prélevés et facturés (moindres coûts de mobilisation et distribution), risques de pérennité financière liés à la structure des coûts du service et à la tarification de l'eau. Ce phénomène est atténué si l'instrument est tarifaire et que le prix de l'eau compense ces pertes, tout en n'annulant pas totalement la demande en eau agricole.	Gestionnaire du service d'eau
			Contribution aux débits d'étiage, à la qualité de l'eau (dilution/capacité auto épuratoire) Mécanisme « Pareto-améliorant » ¹⁰ de l'allocation de l'eau	Milieu, usagers aval, Collectivité
			Incitation à des mesures de gains d'efficience hydraulique à l'échelle de la parcelle (pour l'instrument tarifaire seulement si l'élasticité-prix est forte). Modifie la contrainte associée à la maximisation de la fonction d'utilité (soit directement par un quota sur la ressource soit indirectement par la tarification si l'élasticité-prix est forte).	Irrigant
		Mêmes volumes (pas d'effet incitatif de la mesure ou manque de contrôle des quotas, de la police de l'eau, ou prélèvements clandestins)	Effet nul	Gestionnaire du service d'eau
			Effet nul pour le milieu ou les usagers aval Coût pour la collectivité associé à la mise en place de la mesure	Milieu, usagers aval, collectivité
			Mesure tarifaire : Hausse de la facture d'eau et baisse de l'efficience économique. Quotas ou police de l'eau : effet nul	Irrigant

¹⁰ Un mécanisme Pareto-améliorant permet d'améliorer le bien-être de certains agents sans impact négatif sur le bien-être d'autres agents: le bien-être collectif est accru suite à la mise en œuvre du mécanisme.

Tableau 10 : Ratio coût-efficacité (CF) des mesures évaluées dans les études de cas pour le secteur de l'eau agricole (mesures de gestion de la demande et mesures de gestion par l'offre)

		Mesure	Cas	Volumes économisés/Offre en eau supplémentaire (Mm ³)	Analyse coût-efficacité (CF)
MESURES DE GESTION DE LA DEMANDE EN EAU	Réseau collectif	Passage de canaux gravitaires à canaux sous-pression	Bassin versant de l'Ardèche	<u>Volume</u> : 0,11 Mm ³ (76 ha, soit: 1447 m ³ /ha)	CF = [0,22 ; 1,73] €/m ³ Les résultats sont présentés dans le Tableau 10 (produits d'un calcul fait à partir d'hypothèses fixées et des données des études). <u>Coûts pris en compte</u> : coût d'investissement (4 342 €/ha)
		Réduction des pertes dans les réseaux de distribution collectifs	Région de Karditsa	<u>Volume</u> : 4,8 Mm ³ (20% des prélèvements en eau d'irrigation)	CF = 0,05 €/m ³ <u>Coûts pris en compte</u> : Coût d'investissement unitaire extrapolé à partir de données disponibles pour la France
			« Ouest-Hérault » (gravitaire)	<u>Volume</u> : 3,55 Mm ³ /an (réduction des prélèvements de 30% selon l'état initial du réseau)	CF = 0,55 €/m ³ <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement technique (1 000 à 5 500 €/ha en fonction de l'état initial des canaux), coûts administratifs et salaire d'un technicien
			Bassin du Tensift (gravitaire)	<u>Volume</u> : 59 Mm ³ /an	CF = 0,31 €/m ³ <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement
	Réseau et à la parcelle	Passage de canaux gravitaires à canaux sous-pression et passage de l'irrigation de surface au goutte-à-goutte	Bassin du Guadalquivir	<u>Volume</u> : 429 Mm ³ (375 000 ha, soit 1144 m ³ /ha) (375 000 ha, dont 278 000 ha concernés par le passage au goutte-à-goutte)	CF = 0,38 €/m ³ <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement (5 000 €/ha pour le passage de canaux gravitaires à des canaux sous-pression et 3 000 €/ha pour le passage de l'irrigation de surface au goutte-à-goutte)
			« Ouest-Hérault » (passage à des canaux sous basse pression)	<u>Volume</u> : 5,54 Mm ³ /an (gains de 30 % sur l'adduction et de 40% à la parcelle)	CF = 0,71 €/m ³ <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement (canalisations et station de pompage : de 4500 à 11 300 €/ha), goutte-à-goutte : de 650 à 1500 €/ha), coûts des études, de gestion (fonctionnement et entretien).
		Réduction des pertes dans canaux tertiaires (hors exploitation) et canaux quaternaires dans exploitations	Oasis de Gabès	<u>Volume</u> : 0,014 Mm ³ pour 400 m de réseau aménagé	CF = 0,002 €/m ³ <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement
	Parcelle	Passage de l'aspersion à la micro-aspersion	Bassin versant de l'Ardèche	<u>Volume</u> : 0,14 Mm ³ (435 ha soit 322 m ³ /ha)	CF = [0,36 ; 2,07] €/m ³ Les résultats sont présentés dans le Tableau 10 (produits d'un calcul fait à partir d'hypothèses fixées et des données des études). <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement (1500 €/ha)
		Passage de l'irrigation surfacique à l'aspersion		<u>Volume</u> : 0,08 Mm ³ (87 ha soit 920 m ³ /ha)	CF = [0,05 ; 0,37] €/m ³ Les résultats sont présentés dans Tableau 10 (produits d'un calcul fait à partir d'hypothèses fixées et des données des études). <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement (600 €/ha)
			Région de Karditsa	<u>Volume</u> : 0,292 Mm ³ (35 000 ha, soit 8m ³ /ha)	CF = 1,32 €/m ³ <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement (250 €/ha)
		Conversion du gravitaire au goutte-à-goutte	Bassin du Tensift	Volume : [11,5 ; 29] Mm ³ /an	CF = [0,26 ; 0,65] €/m ³ Coûts pris en compte : coûts d'investissement (entre 3500 et 4500 €/ha)
		Changement du maïs vers la vigne	Bassin versant de l'Ardèche	<u>Volume</u> : 0,35 Mm ³ (320 ha), 1094 m ³ /ha	Non défini Impacts sur le revenu du changement de production (non calculés)
		Augmentation de 6% de la part variable du prix de l'eau	Bassin versant de l'Ardèche	<u>Volume</u> : [0,09 ; 0,17] Mm ³ (1600 ha, soit entre 56 et 106 m ³ /ha)	CF = [0,8 ; 1,5] €/m ³ <u>Coûts pris en compte</u> : coûts pour l'irrigant d'une augmentation du prix de l'eau (+ 0.04€/m ³)

Mesure		Cas	Volumes économisés/Offre en eau supplémentaire (Mm³)	Analyse coût-efficacité (CF)	
	Tarifification volumétrique et augmentation du prix de l'eau de 100%.	Bassin du Guadalquivir	<u>Volume</u> : 695 Mm³	CF = 0,24 €/m³ <u>Coûts pris en compte</u> : Coût de gestion par l'administration associé au changement de structure tarifaire + coût pour l'irrigant d'une augmentation du prix de l'eau (+ 0.012 €/m³)	
	Renforcement police de l'eau	Bassin d'Amman-Zarqa	<u>Volume</u> : réduction des prélèvements privés de 60 Mm³	CF = 0,069 €/m³ (1 ^{er} type de ratio : calculé à partir du coût actualisé annualisé) CF = 0,034 €/m³ (2 nd type de ratio : calculé à partir du coût actualisé) <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement + gestion	
MESURES DE GESTION DE L'OFFRE	Nouvelles retenues	Bassin d'Amman-Zarqa	<u>Volume</u> : 110 Mm³	CF = 0,051 €/m³ (1 ^{er} type de ratio : calculé à partir du coût actualisé annualisé) CF = 0,101 €/m³ (2 nd type de ratio : calculé à partir du coût actualisé) <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement + fonctionnement	
		Oasis de Gabès	<u>Volume</u> : [100 ; 500] Mm³ selon le barrage	CF = 0,0376 €/m³ <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement et de fonctionnement (obtenus à partir de l'étude de 18 barrages actuellement opérationnels)	
		Bassin du Tensift (barrage de Wirgane)	<u>Volume</u> : 17 Mm³/an (pour une capacité de 70 Mm³)	CF = 0,22 €/m³ <u>Coûts pris en compte</u> : coût financier (investissement et fonctionnement) CF = 0,57 €/m³ avec prise en compte des effets de l'envasement (calcul sur une durée de vie de 30 ans et non de 50 ans). Réflexion sur les coûts d'opportunité, les externalités économiques et environnementales	
	Prélèvements en nappe	Puits peu profonds	Oasis de Gabès	<u>Volume</u> : 0,011 Mm³/an (0,22 Mm³ sur 20 ans)	CF = 0,0698 €/m³ <u>Coûts pris en compte</u> : Coûts de construction d'un puits, achat motopompe + frais de fonctionnement
		Forages profonds	Oasis de Gabès	<u>Volume</u> : non défini	CF = 0,04 €/m³ <u>Coûts pris en compte</u> : Coûts d'investissement et exploitation
	Evaluation du coût moyen des mesures de gestion par l'offre		Oasis de Gabès	<u>Volume</u> : non défini	CF = 0,049 €/m³ <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement et de fonctionnement CF = 0,22 €/m³ <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement, de fonction et coût moyen de transfert et de distribution

Source : Ratios calculés à partir des données de (Agence française de développement 2008), (Rinaudo 2008), (Strosser & al. 2007), (Aulong & al. 2008), (Louhichi & al. 2000)

Tableau 11 : Estimation des ratios coût-efficacité des mesures envisagées sur le bassin de l'Ardèche (France)

Bassin de l'Ardèche (France)	Volume Mm³/an	Coût investissement (M€)	Ratio coût-efficacité (T = 2 ans) (€/m³)		Ratio coût-efficacité (T = 5 ans) (€/m³)		Ratio coût-efficacité (T = 10 ans) (€/m³)		Ratio coût-efficacité (T = 20 ans) (€/m³)	
			a = 4%	a = 10%	a = 4%	a = 10%	a = 4%	a = 10%	a = 4%	a = 10%
Réseau collectif: Passage de canaux gravitaires à des canaux sous-pression	0,11	0,33	1,591	1,727	0,673	0,791	0,373	0,491	0,218	0,355
Parcelle: Passage de l'aspersion à la micro-aspersion	0,14	0,6525	2,471	2,686	1,043	1,229	0,571	0,757	0,357	0,550
Parcelle: Passage de l'irrigation de surface à l'aspersion	0,08	0,0522	0,350	0,375	0,150	0,175	0,080	0,106	0,050	0,075

Source : Ratios calculés à partir des données de (Strosser & al. 2007)

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

Taux d'actualisation (a) : Taux de 4%. C'est le taux retenu par le Commissariat général du Plan en 2005 (rapport Lebègue) pour les projets d'investissements publics,

Taux de 10 %. C'est le taux retenu pour l'étude de cas tunisienne (IPEST). Durée de vie des équipements (T) : Les mesures proposées comportent des équipements à la durée de vie très variable. Nous avons ici cherché à tester la sensibilité des ratios à la durée sur laquelle est réparti le coût de la mesure (T = 2 ans, 5 ans, 10 ans ou 20 ans).

3.2. A l'échelle des territoires

Les résultats du Tableau 12 sont comparés à ceux du Tableau 10 et du Tableau 11.

- La prise en compte des effets externes (ici les émissions de CO₂) dans l'évaluation du ratio coût-efficacité de la réduction des pertes dans les réseaux ou des mesures associant réduction des pertes dans le réseau et à la parcelle, ne se traduit pas par une augmentation significative des coûts.
- Globalement, les résultats du Tableau 12 confirment que l'efficacité d'un changement de technique d'irrigation est d'autant plus grande que le différentiel de rendement entre les deux techniques est élevé. Les résultats pour un même changement de technique dépendent largement des coûts pris en compte (coûts financiers : investissement, fonctionnement et maintenance ou externalités environnementales).
- Le transfert d'eau interbassins présente un ratio coût-efficacité particulièrement élevé, donc peu intéressant. Ces résultats s'expliquent certes par la prise en compte de coûts externes, mais surtout par l'importance des coûts financiers d'une telle solution. Le transfert d'eau étudié pour le cas de l'Ouest-Hérault correspond à la construction d'un adducteur permettant de prolonger vers l'Ouest du département le canal du bas Rhône, afin de substituer l'eau du Rhône à celle de l'Hérault, de l'Orb et de l'Asien pour les usages agricoles. Le coût d'une telle solution, s'il était traduit dans le prix de l'eau facturée aux irrigants, conduirait à une baisse significative de la demande en eau agricole ou au recours à des ressources en eau alternatives telles que la multiplication des forages individuels.

Tableau 12 : Ratio coût-efficacité (CE₂) des mesures évaluées dans les études de cas pour le secteur de l'eau agricole (mesures de gestion de la demande et mesures de gestion par l'offre)

Mesure		Volumes économisés/Offre en eau supplémentaire (Mm ³)	Analyse coût-efficacité (CE ₂ , €/m ³)
MESURES DE GESTION DE LA DEMANDE EN EAU	Réseau collectif	Réduction des pertes dans les réseaux sous pression existants	CE ₂ = 0,7 €/m ³ <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement (1000 à 4000 € selon état initial des canaux) + entretien + coûts d'étude et d'administration + coût énergétique (par m ³ économisé et par m ³ de CO ₂ émis)
	Réseau et à la parcelle	Passage de canaux gravitaires à canaux sous-pression avec équipement à la parcelle de goutte-à-goutte pour les surfaces le permettant	CE ₂ = 0,89 €/m ³ <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement (7500 €/ha pour canalisations et 1700 €/ha pour station de pompage) + investissement pour goutte-à-goutte (650 à 1500 €/ha) + entretien + coûts études et administration + coût énergétique (par m ³ économisé et par m ³ de CO ₂ émis)
	Exploitation	Passage de l'irrigation par aspersion à l'irrigation au goutte-à-goutte dans des réseaux sous pression	CE ₂ = 0,77 €/m ³ <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement (650 à 1500 €/ha) + entretien + coût énergétique (par m ³ économisé et par m ³ de CO ₂ émis)
MESURE DE GESTION DE L'OFFRE	Transferts à partir du Rhône	<u>Volume</u> : [5,79 ; 7,793] Mm ³ /an selon taille de l'adducteur (prélèvements évités)	CE ₂ (période de pointe) = [1,72 ; 1,79] €/m ³ selon taille de l'adducteur <u>Coûts pris en compte</u> : coûts d'investissement (94 M€ pour le 2 ^{ème} tronçon et 110 M€ pour le 3 ^{ème} tronçon + maintenance et fonctionnement + coûts d'émission de CO ₂ (externalités environnementales) + coûts de transport d'eau brute et potabilisation

Source : Ratios calculés à partir des données de (Rinaudo 2008)

4. Conclusion

- A l'échelle des réseaux, l'optimisation du fonctionnement des canaux de distribution existants (gravitaires ou sous pression) semble constituer une solution aussi coût-efficace que le changement des canaux collectifs (passage du gravitaire au sous pression). De plus, les volumes économisés par rénovation/étanchéisation des réseaux sont significatifs : ils peuvent représenter 30% des prélèvements sur la ressource.
- L'efficacité des mesures d'amélioration de l'efficacité hydraulique à l'échelle du réseau collectif et de la parcelle dépend largement du rendement hydraulique initial des réseaux et/ou des techniques d'irrigation. Ainsi, à titre d'exemple, d'après l'étude Ouest-Hérault, le coût unitaire peut tripler (de 4 000 à près de 12 000 €/ha) selon le réseau d'irrigation considéré.

Les études de cas illustrent également une forte variabilité spatiale des ratios coûts-efficacité, notamment dans le cas de la conversion à des techniques d'irrigation localisée. Dans le cadre du Programme National Syrien de la Conversion à l'Irrigation Moderne par exemple, alors que les coûts à l'hectare de conversion à l'aspersion et au gravitaire amélioré restent sensiblement les mêmes d'un projet à l'autre, ils varient du simple au double lorsqu'il s'agit de la conversion à l'irrigation localisée (Al-Azmeth 2008).

De plus, les analyses conduites dans le domaine de l'eau agricole se limitent généralement aux coûts financiers, n'intégrant pas les externalités économiques et environnementales. Parmi les coûts financiers, seuls les coûts d'investissement sont le plus souvent comptabilisés, les coûts de fonctionnement et de maintenance étant ignorés. Pourtant, les différentes techniques d'irrigation se caractérisent aussi par différents coûts de fonctionnement et de maintenance : ces coûts influencent aussi l'attractivité d'une solution technique. Ainsi, par exemple, dans le bassin du Guadalquivir, les irrigants ayant des réseaux sous pression consacrent en moyenne 10,5% de leur revenu brut aux coûts de l'eau, alors que pour les irrigants avec des réseaux gravitaires, ce ratio est de l'ordre de 4% seulement environ. Enfin, aucune des évaluations ne comptabilise les effets externes positifs qui peuvent être liés aux « pertes » dans les réseaux (réalimentation de nappes...).

Pour l'irrigant, les mesures de gestion de la demande en eau peuvent représenter un intérêt économique, parce qu'elles permettent une sécurisation des apports d'eau, une amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau, ou encore une augmentation des volumes alloués à l'agriculture, si l'eau est un facteur limitant. Elles ne libèrent alors pas de l'eau pour d'autres usages ou le milieu. La re-répartition de l'eau vers d'autres usages demande la mise en place de mesures d'incitation, contractuelles ou coercitives, permettant une flexibilisation des droits d'eau. Les résultats obtenus sur l'une des études de cas suggèrent ainsi que le renforcement de la police de l'eau peut s'avérer coût-efficace. Cependant, pour conclure, une analyse plus détaillée et comparée des mesures devrait être menée à bien (les solutions contractuelles n'ont pas été évaluées et les types de coûts inclus pour l'évaluation de la police de l'eau devraient être précisés).

V. Conclusion générale

Pour le secteur domestique comme pour le secteur agricole, l'analyse des études de cas démontre que les mesures de gestion de la demande en eau sont souvent efficaces et peuvent permettre de libérer des volumes d'eau significatifs.

C'est le cas principalement dans le secteur domestique des mesures visant l'efficacité des réseaux et l'installation d'équipements hydro-économiques chez les ménages. Des mesures de sécurisation de l'offre, telles que la gestion des pollutions diffuses, sont également efficaces. Les résultats suggèrent aussi que le coût et l'efficacité des mesures dépend largement de l'état initial des réseaux et des caractéristiques de la demande en eau urbaine.

Dans les situations où les services sont peu fiables, discontinus dans le temps, ne desservent pas l'ensemble de la population ou de façon très inégale, la question des économies d'eau se pose différemment dans la mesure où la valorisation des volumes économisés en est d'autant plus importante.

Ainsi, au-delà des questions de disponibilité de l'eau, dans les pays du sud et de l'est de la Méditerranée, les enjeux liés à l'assainissement tendent à être mis à l'agenda politique, en particulier lorsqu'ils sont associés à des risques de dégradation de la qualité de l'eau générant des tensions avec des usagers à l'aval.

Dans le secteur agricole, les mesures de gestion de la demande en eau représentent un intérêt économique pour l'irrigant si elles lui permettent de sécuriser ses apports d'eau, ce qui est l'objectif visé par les mesures évaluées dans les études de cas sur le bassin du Tensift et dans la région de Karditsa, voire de les augmenter. Des volumes annuels conséquents peuvent être dégagés (59 Mm³ grâce à la réduction des pertes dans les réseaux de distribution collectifs, contre 17 Mm³ produits par le barrage de Wirgane dans le bassin du Tensift). L'évaluation économique doit cependant s'insérer dans une logique plus globale, qui ne peut se limiter à des approches marginalistes, intégrant les contraintes et opportunités des systèmes de production, le revenu, l'aversion au risque, la qualité de vie, etc. Promouvoir des changements significatifs dans la pression exercée par l'agriculture sur la ressource en eau suppose de mettre en place des incitations en faveur de certaines productions agricoles ou des systèmes de contrôle et de partage de l'eau effectifs. Le seul marché peut en effet aussi bien conduire à préférer des cultures faiblement ou fortement consommatrices d'eau. C'est pourquoi les mesures incitatives et réglementaires sont des pistes à creuser.

L'analyse de ces études de cas a montré l'extrême sensibilité des résultats obtenus selon les méthodes retenues, les types de coûts considérés, des durées de vie des équipements estimées, du taux d'actualisation... A titre d'exemple, la prise en compte des effets induits ou encore les types de coûts financiers considérés affectent sensiblement les résultats. Cette variabilité révèle le caractère nécessairement « situé » de l'analyse économique : son contenu, ses orientations, les méthodes sur lesquelles elle s'appuie sont en effet contingents au contexte dans lequel elle est développée.

Elle propose une grille d'analyse qui pourrait être retenue pour conduire de nouvelles études et qui permettrait de faire des comparaisons robustes et souligne le caractère stratégique et politique de l'évaluation économique et la nécessité de clarifier les choix méthodologiques faits.

Principaux messages

Relatifs aux mesures de gestion de la demande en eau domestique et agricole :

- La réduction des fuites dans les réseaux de distribution d'eau potable et l'installation d'équipements hydro-économiques chez les usagers sont les mesures les plus coûts-efficaces et peuvent, en outre, contribuer de façon significative à répondre à des demandes futures en eau potable,
- A l'échelle des réseaux et des usages finaux, les mesures d'économie d'eau sont d'autant plus efficaces que la demande raccordable au réseau et non satisfaite est importante,
- Les mesures d'amélioration de l'efficacité hydraulique présentent des ratios coûts-efficacité intéressants mais qui dépendent du rendement hydraulique initial des réseaux et/ou des techniques d'irrigation,
- Dans le secteur de l'eau potable, la réduction des fuites au sein des habitats collectifs, ainsi que la récupération des eaux de pluie sont des mesures peu coûts-efficaces,
- Il convient de faire la distinction entre les « pertes sèches » et les « pertes fictives » dans l'évaluation à l'échelle des bassins versants,
- Les mesures tarifaires et réglementaires semblent être coûts-efficaces et nécessitent des analyses plus approfondies.

Relatifs aux mesures de gestion par l'offre :

- L'évaluation de la construction de nouveaux ouvrages dépend largement de la prise en compte des externalités environnementales et sociales,
- Les solutions d'augmentation de l'offre du type transferts interbassins ou dessalement de l'eau de mer sont les moins coûts-efficaces,
- Les solutions visant une flexibilisation de l'usage de l'eau des retenues peuvent s'avérer efficaces,
- Les solutions visant à gérer les pollutions diffuses sont efficaces.

Relatifs à la méthode d'évaluation économique :

- Les ratios coûts-efficacité présentent une forte variabilité selon les échelles de temps et d'espace retenues pour l'évaluation et le type de coûts (financiers, coûts induits, externalités) pris en compte,
- Seules les mesures dont le ratio est négatif sont susceptibles d'être spontanément mises en œuvre puisqu'elles représentent un bénéfice net pour le bénéficiaire de la mesure. En revanche, les mesures présentant des ratios faibles mais positifs demandent généralement un financement collectif (public, financement international), en particulier celles qui relèvent d'investissements indivisibles, aux coûts fixes élevés.

Annexe 1 : Indicateurs d'efficacité de l'eau domestique

Les indicateurs hydrauliques de « pertes » les plus répandus

L'efficacité potentielle de distribution de l'eau potable, telle que définie par le Plan Bleu et utilisée pour le suivi de la SMDD. Elle représente la part de l'eau potable produite et distribuée qui est effectivement payée par l'utilisateur :

Équation 4 : L'efficacité de distribution de l'eau potable selon le Plan Bleu

$$E_{pot} = \frac{V_1}{V_2}$$

Avec :

V1 = volume d'eau potable facturée et payée par l'utilisateur en km³/an

V2 = volume total d'eau potable produite et distribuée en km³/an

Cet indicateur, développé pour une analyse à l'échelle nationale, mêle des dimensions d'efficacité physique liées à l'état du réseau et d'efficacité financière puisque l'évaluation se fonde sur les volumes facturés et payés par l'utilisateur. À partir d'un tel indicateur, il est cependant impossible de définir les variables responsables de l'état du système qu'il cherche à représenter et donc des actions visant à améliorer l'efficacité de la distribution d'eau potable. Il ne permet pas de reconnaître que la non facturation d'un certain volume d'eau peut être le fruit de choix politiques à l'échelle nationale.

- Le rendement du réseau :

Équation 5 : Le rendement des réseaux d'eau potable

$$R = \frac{V_c}{V_c + V_f}$$

Avec :

R : le rendement (%),

V_c : le volume utilisé par les ménages (m³),

V_f : le volume des fuites (m³).

Cet indicateur est le plus utilisé par les gestionnaires de service d'eau potable. Il ne représente pas à proprement parler l'efficacité du réseau. En effet, le volume des fuites (V_f) n'est pas fonction du volume distribué (V_c+V_f) mais de la pression, dès lors que le réseau est en charge. V_f dépend donc du volume utilisé par les ménages (V_c) et le rendement du réseau augmente avec V_c (Guérin-Schneider 2001).

- Le volume des pertes (indice linéaire de pertes) :

Équation 6 : Indicateur de performance physique des réseaux d'eau potable

$$I = \frac{V_f}{\text{Grandeur caractéristique}}$$

Avec :

I : l'indicateur (m³/ unité de la grandeur caractéristique)

V_f : le volume des fuites (m³)

Grandeur caractéristique : par exemple la longueur du réseau (m ou km), pour une comparaison entre réseaux.

Annexe 2 : Indicateurs de l'efficacité de l'eau agricole

Typologie des efficacités de l'eau agricole

- L'efficacité hydrologique, fondée sur une analyse du cycle de l'eau à l'échelle des bassins versants

L'évaluation de l'efficacité hydrologique se fonde sur l'idée que les « pertes » à l'échelle des réseaux d'irrigation contribuent aussi souvent à répondre à une demande d'utilisateurs. Cette demande s'est matérialisée du fait de l'existence même de la « perte » qui contribue à la satisfaire. Dans l'évaluation, il s'agit alors d'inclure la « perte » à la fois comme un coût mais aussi comme un gain. Comme l'usage agricole est quantitativement le plus important, ce rôle positif peut être significatif.

– Pour la collectivité (territoire, bassin versant), il s'agit de comparer la valorisation de ces « pertes » aux coûts et aux avantages de l'eau économisée.

- L'efficacité hydraulique, à l'échelle des réseaux d'irrigation

Elle revient à mesurer le rendement des réseaux de transport, de distribution, d'application à la parcelle. Ces rendements comparent des volumes d'eau entre deux points (entrée et sortie) le long du système d'irrigation.

- L'efficacité agronomique, à l'échelle de la plante cultivée

Elle revient à mesurer l'efficacité d'utilisation de l'eau (eau bleue et eau verte ou uniquement eau bleue) par une plante cultivée. Cette efficacité est souvent définie comme un rapport entre rendement potentiel et eau utilisée pour la production de biomasse, par unité de surface. Pour de tels indicateurs, la connaissance des « besoins » agronomiques en eau des cultures, fondée sur des bilans hydriques, constitue alors l'élément essentiel de toute stratégie de rationalisation de l'utilisation des facteurs de production.

- L'efficacité économique

Elle reflète la valorisation économique de l'eau, souvent définie par un rapport entre (i) la valeur du produit agricole et (ii) les coûts d'opportunité de l'eau utilisée pour la production agricole.

Les efficacités hydrauliques et agronomiques (calculées à partir de rendements) ne sont que des éléments intermédiaires de l'efficacité économique, dont la finalité est **l'allocation optimale des ressources rares selon des critères de valeur monétarisée**. Les gains d'efficacité hydrauliques ou agronomiques cherchent à augmenter la part d'eau effectivement utilisée par rapport à l'eau mobilisée. D'un point de vue économique, l'amélioration des efficacités agronomiques ou hydrauliques a d'autant plus de sens que l'eau économisée crée de la valeur. Ainsi un gain marginal d'efficacité hydraulique ou agronomique n'est efficace d'un point de vue économique que s'il est supérieur au coût marginal de la mesure. L'optimisation économique ne revient donc pas nécessairement à maximiser les indicateurs qui comptent d'un point de vue strictement hydraulique ou agronomique.

Annexe 2.1 : Indicateurs de l'efficacité hydraulique

Les indicateurs de pertes les plus répandus sont (Rao 1993) :

- L'efficacité d'amenée d'eau (*Équation 7*)

Équation 7 : Efficacité d'amenée d'eau d'irrigation

$$E_m = \frac{(V_d + V_2)}{(V_p + V_1)}$$

Avec :

V_p = Volume d'eau mobilisé (prélevé ou pompé) d'un cours d'eau ou d'une nappe

V_d = Volume d'eau distribué au réseau primaire

V_1 = Volume d'eau entrant venant d'autres sources (pluie)

V_2 = Volume d'eau distribué à des usages non agricoles au niveau du réseau primaire

- L'efficacité de distribution d'eau (Équation 8)

Équation 8 : Efficacité de distribution d'eau d'irrigation

$$E_d = \frac{(V_f + V_3)}{V_d}$$

Avec :

V_f = Volume d'eau distribué aux parcelles

V_d = Volume d'eau distribué au réseau primaire

V_3 = Volume d'eau distribué à des usages non agricoles au niveau du réseau secondaire ou tertiaire

- L'efficacité du réseau d'amenée et de distribution d'eau (Équation 9)

Équation 9 : Efficacité du réseau d'amenée et de distribution d'eau d'irrigation

$$E_r = E_m \times E_d = \frac{V_2 + V_3 + V_f}{V_1 + V_p}$$

- L'efficacité du réseau d'amenée, de distribution d'eau et d'application de l'eau (Équation 10)

De façon plus synthétique, la Stratégie méditerranéenne pour le développement durable (SMDD) propose un indicateur pour refléter globalement l'efficacité d'utilisation de l'eau depuis sa mobilisation jusqu'à son application (PNUE/PAM 2005) :

$$E_{\text{Irrigation}} = E_{\text{Distribution}} \times E_{\text{Parcelle}}$$

Avec :

$$E_{\text{Distribution}} = V_a/V_b$$

$E_{\text{Distribution}}$: rapport entre le volume d'eau effectivement distribué aux parcelles (V_a) et le volume d'eau total alloué à l'irrigation (ou demande en eau d'irrigation) en amont des réseaux, incluant les pertes dans les réseaux (V_b).

E_{Parcelle} : somme des efficacités à la parcelle de chaque mode d'irrigation (irrigation de surface, irrigation par aspersion, micro-irrigation...), multipliée par les proportions respectives des différents modes dans le pays et estimée comme le rapport entre les quantités d'eau effectivement consommées par les plantes et les quantités d'eau apportées à la parcelle.

Équation 10 : Efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation selon le Plan Bleu

$$E_{\text{Parcelle}} = \frac{\sum_{m=1}^n \frac{S_m \times E_m}{S}}$$

Avec :

n : nombre de modes d'irrigation utilisés

S_m : surface irriguée par le mode m

E_m : efficacité du mode m

S : surface totale irriguée selon l'ensemble des modes

Commentaires :

De nombreuses études ont montré que l'adoption de techniques d'irrigation plus efficaces contribue essentiellement à modifier les contraintes des systèmes de production, en particulier en termes de besoins en main d'œuvre. Dans des situations où la disponibilité des terres irrigables n'est pas un facteur limitant, le changement de technique s'est traduit par une augmentation des prélèvements par actif agricole. C'est ce qui a pu être observé dans la région de Gabès en Tunisie, dans la région des Niayes au Sénégal, en Californie ou dans le Nordeste Brésilien (Fernandez 2001), (Molle & Turral 2004).

Le critère le plus déterminant est en effet celui de la technicité globale des agriculteurs et de la fiabilité de l'accès à la ressource en eau. Il détermine significativement la productivité hydrique.

Généralement, l'irrigation gravitaire présente une certaine rigidité liée aux contraintes techniques de distribution d'eau, et à la façon dont les droits d'eau sont définis. Ceci peut se traduire par des tendances à la sur-irrigation, si les cultures ont des systèmes racinaires superficiels et/ou si les sols ont une faible capacité de rétention d'eau. L'irrigation localisée peut permettre une meilleure conduite de l'irrigation dans le temps avec

un contrôle accru de l'eau appliquée (durée, fréquence et quantité), permettant, potentiellement, une augmentation de la productivité hydrique et des rendements (Pereira 1999).

Cependant, le changement d'une technique d'irrigation à une autre (avec des potentiels d'uniformité de la distribution de l'eau plus élevés par exemple) est coûteux en capital et n'est pas toujours justifié. Il demande un développement technique et industriel qui rende facilement accessibles les composants nécessaires au fonctionnement des systèmes sous pression. L'amélioration de systèmes existants peut présenter des potentiels de gain d'efficacité plus élevés (fondés sur une amélioration des calendriers d'irrigation, etc.) que l'investissement dans de nouvelles infrastructures.

Tableau 13 : Comparaison des coûts et productivité globale des techniques d'irrigation

Technique d'irrigation	Caractéristiques des coûts	Productivité globale
Gravitaire (à la raie, par calan, par submersion)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Besoin de nivellement des terrains ✓ Pas de coûts d'énergie pour le fonctionnement ✓ Besoin de main d'œuvre importante ✓ Peu de développement technologique nécessaire 	<p><u>Points positifs :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Faibles risques de maladies des cultures (les feuilles ne sont pas mouillées) ✓ L'irrigation n'est pas affectée par le vent <p><u>Contraintes :</u> Topographie</p>
Aspersion	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Développement technologique nécessaire ✓ Coûts d'énergie élevés ✓ Main d'œuvre relativement peu importante 	<p><u>Points positifs :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Peu de contraintes topographiques ✓ Fertirrigation possible ✓ Régularité de l'arrosage <p><u>Contraintes :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Impossibilité d'irriguer en cas de vent fort (réduction de l'uniformité de l'application) ✓ Risques de maladies des cultures (les feuilles étant mouillées) ✓ Gêne pour les travaux agricoles si l'aspersion se fait par couverture intégrale
Goutte-à-goutte (irrigation localisée, basse pression, canal ? qui peut être enterré)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Développement technologique nécessaire ✓ Coûts d'énergie plus faibles ✓ Entretien, maintenance et réglage importants (fragilité du système) 	<p><u>Points positifs :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Peu de contraintes topographiques ✓ Fertirrigation ✓ L'irrigation n'est pas affectée par le vent <p><u>Contraintes :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Fragilité du système d'irrigation ✓ Mise en pression nécessaire

Annexe 2.2 : Indicateurs d'efficacité agronomique

Les principaux indicateurs disponibles sont :

- Les indicateurs classiques de l'efficacité d'application de l'eau d'irrigation (Équation 11, Équation 16):

Équation 11 : Efficacité classique d'application d'eau d'irrigation à la parcelle (1)

$$E_a (1) = \frac{\text{Eau bleue transpirée}}{(1 - LR) \times V_{\text{appliquée à la parcelle}}}$$

Avec :

$E_a (1)$: efficacité classique d'application de l'eau d'irrigation (1),

LR : demande en eau de lessivage,

$V_{\text{appliquée à la parcelle}}$ = Volume d'eau appliqué à la parcelle.

L'enjeu réside dans la capacité à approcher l'eau d'irrigation (eau bleue) transpirée.

L'eau transpirée est l'eau consommée qui contribue à la production de biomasse par la plante cultivée. Dans la pratique, il est difficile de distinguer l'eau évaporée de l'eau transpirée. L'eau évaporée et l'eau transpirée sont généralement évaluées ensemble et constituent l'évapotranspiration.

L'eau évapotranspirée par une plante cultivée irriguée est issue à la fois (i) de l'eau d'irrigation (eau bleue) et (ii) de l'eau de pluie, ou plus précisément de la pluie « efficace » (eau verte), c'est-à-dire la fraction des précipitations qui contribue à reconstituer la réserve du sol en eau utilisable par la plante cultivée¹¹ :

$$ETR = \text{pluie efficace} + \text{eau d'irrigation évapotranspirée}$$

Équation 12 : Efficacité classique d'application d'eau d'irrigation à la parcelle (2)

L'indicateur devient alors :

$$E_a (2) = \frac{ETR - (\text{pluie efficace})}{(1 - LR) \times V_{\text{appliquée à la parcelle}}}$$

Avec :

$E_a (2)$: efficacité classique d'application de l'eau d'irrigation (2)

ETR = évapotranspiration réelle (fonction de la culture, du climat, des pratiques et des caractéristiques du substrat) pour une culture c .

$V_{\text{appliquée à la parcelle}}$ = Volume d'eau appliqué à la parcelle.

L'évapotranspiration réelle est cependant difficile à appréhender à grande échelle. Elle n'est, le plus souvent, estimée que sur des parcelles expérimentales.

De façon pratique, plusieurs auteurs ont défini des approximations fondées sur des coefficients qui sont des produits de l'expérimentation et qui sont aussi calculés à partir d'hypothèses de conditions idéales non contraintes. Ces approximations sont utiles pour la conduite de l'irrigation. En revanche, elles ne permettent pas d'estimer les efficacités réelles de l'application de l'eau d'irrigation.

L'évapotranspiration maximale (ETM) est ainsi définie pour une culture donnée poussant dans des conditions agronomiques (hydriques) optimales (Équation 13) :

Équation 13 : Évapotranspiration maximale

$$ETM = K_c \times ET_0$$

Avec :

K_c = coefficient cultural qui varie avec le stade de développement de la culture,

ET_0 = évapotranspiration potentielle (Il s'agit de l'évapotranspiration maximale d'un gazon, pour lequel l'eau n'est pas limitante), coefficient climatique.

La FAO a développé deux méthodes de calcul, à un ou deux coefficients. Avec deux coefficients, K_c s'exprime comme la somme de ces deux coefficients dont l'un est associé au processus d'évaporation par le sol, l'autre à la transpiration par les plantes cultivées (Allen & al. 1998).

La différence entre eau appliquée et eau effectivement consommée dépend de la technique d'irrigation, des conditions environnementales, et des caractéristiques du sol.

- Les indicateurs de l'efficacité « réelle » d'application de l'eau d'irrigation (Équation 14) :

Il s'agit de proposer une évaluation de l'efficacité qui tienne compte de la réutilisation possible de l'eau « perdue » à l'échelle d'une parcelle donnée (Wichelns 2002) :

Équation 14 : Efficacité effective d'application d'eau d'irrigation à la parcelle

$$E_{a \text{ effective}} = \frac{ETM - (\text{pluie efficace})}{F}$$

Avec :

$E_{a \text{ effective}}$: efficacité effective d'application de l'eau d'irrigation,

F = l'usage effectif de l'eau d'irrigation. F correspond aux flux entrants « effectifs » moins les flux sortants « effectifs ». On déduit des flux sortants ceux qui sont réutilisés par ailleurs. Ces flux ne représentent alors

¹¹ La pluie « efficace » de l'agronome est en fait la pluie « inefficace » de l'hydrologue. En effet, la pluie « efficace » dans son acception hydrologique elle est définie de la façon suivante : "Les *précipitations efficaces* représentent la quantité d'eau fournie par les précipitations qui reste disponible, à la surface du sol, après soustraction des pertes par évapotranspiration réelle. Les précipitations efficaces sont égales à la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration réelle".

une perte, diminuant l'efficacité effective d'utilisation de l'eau d'irrigation, que s'ils ne sont pas réutilisés à l'aval ou si leur qualité est tellement dégradée qu'ils ne peuvent être réutilisés à l'aval.

Ainsi, dans le cas de la vallée du Nil en Égypte, les indicateurs $E_a(1)$ ou $E_a(2)$ donnent une efficacité de l'ordre de 40 ou 50 % alors que l'indicateur E_a effective, est lui, au contraire, très élevé, avec des valeurs de l'ordre de 80 %, du fait d'un important recyclage de l'eau (Wichelns 2002).

L'indicateur E_a effective permet d'introduire dans l'évaluation de la performance d'utilisation de l'eau d'irrigation la réutilisation de l'eau infiltrée ou ruisselée à l'échelle de la parcelle, ainsi que les impacts de l'irrigation sur la qualité de l'eau, puisque la réutilisation potentielle est conditionnée par l'état qualitatif dans lequel l'eau retourne au milieu.

Cet indicateur permet une analyse de l'efficacité hydrologique, à l'échelle des bassins versants, et donc des coûts et des avantages associés à la réallocation de l'eau entre usages.

Ainsi, si un bassin est « fermé », il n'y a pas de potentiels de gain d'efficacité d'un point de vue hydraulique. Il y a seulement des potentiels de gain d'efficacité agronomique et économique, entre usages ou au sein d'un même usage, en fonction de leur valorisation de l'eau. Ces gains réels d'efficacité relèvent d'une amélioration de la productivité hydrique des cultures, d'une réduction des pollutions diffuses agricoles, de modifications d'assolements, de mécanismes de réallocation de l'eau vers des usages qui la valorisent le plus.

- Efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation par rapport au rendement agronomique (Équation 15, Équation 16) :

Il s'agit d'évaluer le gain de rendement apporté par l'irrigation, en comparant les performances agronomiques d'une culture donnée selon qu'elle est irriguée ou non (Howell 2001), (Crepin & al 2001).

On peut distinguer deux types d'indicateurs : ceux qui prennent en compte l'eau d'irrigation appliquée (Équation 15), et ceux qui prennent en compte l'eau d'irrigation effectivement consommée (Équation 16) :

Équation 15 : Efficacité de l'eau d'irrigation consommée dans la formation du rendement agronomique

$$ET_{WUE} = \frac{(Y_i - Y_d)}{ET_i - ET_d}$$

Équation 16 : Efficacité de l'eau d'irrigation appliquée dans la formation du rendement agronomique

$$I_{WUE} = \frac{(Y_i - Y_d)}{I_i}$$

Avec :

Y_i = rendement pour un niveau d'irrigation i ,

ET_i = évapotranspiration pour un niveau d'irrigation i ,

Y_d = rendement pour une parcelle équivalente mais non irriguée (eau verte seule ou agriculture pluviale),

ET_d = évapotranspiration pour une parcelle équivalente mais non irriguée (eau verte seule ou agriculture pluviale),

I_i = quantité d'eau d'irrigation appliquée au niveau d'irrigation i ,

ET_{WUE} traduit la productivité hydrique de la culture d'un point de vue agronomique. I_{WUE} donne des informations sur l'efficacité des techniques d'irrigation.

Les deux indicateurs sont généralement optimisés pour un léger déficit en eau, lorsque ce déficit permet de réduire l'évaporation de l'eau sans réduire la transpiration de l'eau par la plante cultivée. En d'autres termes, on cherche à maximiser le gain de carbone (CO_2 assimilé par le couvert végétal) en minimisant les pertes d'eau.

Pour un même Y_i et Y_d , la comparaison entre ET_{WUE} et I_{WUE} permet d'évaluer l'efficacité de la technique d'irrigation à la parcelle.

Pour une culture donnée, ces indicateurs permettent de mener une réflexion sur l'efficacité de l'irrigation par rapport à une conduite pluviale, en fonction non seulement de la technique d'irrigation mais aussi des caractéristiques agronomiques de la culture, des relations eau-sol-plante. En d'autres termes, elle permet de comparer l'efficacité de l'utilisation de l'eau bleue pour la production agricole par rapport à la seule eau verte.

Du point de vue du gestionnaire, ces indicateurs peuvent permettre de mieux connaître la demande en eau d'irrigation et donc de mieux adapter la gestion tactique de l'offre en eau.

Du point de vue du gestionnaire ou de l'irrigant, ils peuvent aussi permettre de mieux raisonner les investissements hydro agricoles, structurants et coûteux.

Commentaires :

Les potentiels d'économie d'eau à l'échelle du système agricole irrigué résident dans plusieurs stratégies. On peut ainsi distinguer les stratégies (Amigues & al. 2006), (Mediterra 2009) :

- **Qui portent essentiellement sur les caractéristiques physiologiques ou la conduite culturale d'une plante donnée :**

- Celles qui reviennent à réduire le risque de perte de rendement, en acceptant une réduction du rendement maximum atteignable :

- ◆ L'esquive qui consiste à décaler le cycle de développement de la culture pendant des périodes pluvieuses et/ou à demande climatique faible, ou à raccourcir le cycle cultural.

Les modifications dans les pratiques culturales influent sur la valeur de l'évapotranspiration réelle (ETR) des cultures considérées, comparée à l'évapotranspiration potentielle (ETM). Les changements de variétés se traduisent quant à eux par de nouvelles ETM et ETR des cultures considérées. Il est à noter que le changement climatique pourrait accentuer les décalages entre calendriers culturaux et tensions sur la ressource.

- ◆ L'évitement qui consiste à augmenter la résistance de la plante cultivée au stress hydrique (réduction de la conductance stomatique et de la croissance foliaire, réduction de la transpiration qui s'ensuit économise l'eau du sol, accroissement du développement racinaire, etc).
 - ◆ L'amélioration de l'efficacité de l'eau c'est-à-dire du rapport entre la quantité de biomasse produite et la quantité d'eau transpirée. Ce rapport est particulièrement élevé chez les espèces en C4 telles que le maïs ou le sorgho. Il dépend aussi de l'efficacité d'application de l'eau d'irrigation, fonction des relations eau-sol-plante.
- Celles qui reviennent à maintenir le rendement maximum atteignable, en acceptant d'augmenter le risque de perte de rendement. Il s'agit de la tolérance qui consiste à maintenir les fonctions de la plante (croissance, nombre d'organes, transpiration, photosynthèse).

- **Qui portent sur l'organisation de la production agricole : choix d'assolement**

En effet, les variations inter-saisonnières et interrégionales de l'évapotranspiration de référence (ET0) sont bien plus significatives que les variations de l'ETM entre cultures dont les cycles se déroulent pendant les mêmes saisons (Seckler 1996). Ce sont donc les assolements qui pèsent significativement sur les quantités d'eau prélevées dans le milieu. La question est donc de savoir quelles sont les cultures alternatives, qui répondraient à une demande alimentaire et ayant une rentabilité économique suffisante, et qui pourraient être envisagées pendant les périodes où la ressource est la plus abondante. Dans les pays où le climat est variable sur le territoire, il pourrait s'agir de faire une planification territoriale qui tienne compte de l'ET0.

Dans la mesure où l'utilisation de l'eau s'insère dans une activité productive, la valorisation des m³ d'eau prélevés et consommés pour l'irrigation constitue aussi un élément de l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Les indicateurs correspondants sont ceux qui permettent d'évaluer la richesse produite par m³ d'eau consommé (valeur ajoutée/m³ consommé soit à l'échelle de l'exploitation, soit à l'échelle de la filière, Marge brute/m³ consommé, etc.).

Annexe 2.3 : Indicateurs d'efficacité économique

Les indicateurs cherchant à représenter l'efficacité économique de l'utilisation de l'eau par l'agriculture irriguée se fondent généralement sur le type de ratio suivant (Burke & al. 1999), (Cai & al. 2001), en s'appuyant donc sur des indicateurs d'efficacité agronomique (Équation 17) :

Équation 17 : Indicateur d'efficacité économique de valorisation de l'eau d'irrigation

$$\text{Efficacité économique} = \frac{\text{Valeur (\$/ha)}}{\text{Volume d'eau bleue consommé/ha}}$$

L'estimation du volume d'eau bleue consommé se fonde sur les indicateurs agronomiques définis précédemment.

En ce qui concerne la valeur monétarisée créée par la consommation de l'eau, elle est généralement approchée :

- Soit par la valeur ajoutée de la production agricole (qui ne tient pas compte des subventions),
- Soit par la marge brute ou encore le revenu agricole (qui tient compte des subventions).

Les indicateurs intermédiaires utilisés sont (Équation 18) :

Équation 18 : Produit brut, valeur ajoutée et revenu par hectare

$$PB/ha = R * \text{prix de vente unitaire}$$

$$VA/ha = PB/ha - CI/ha - Am/ha$$

$$MB_1/ha = VA/ha - Red + Aides$$

$$MB/ha = R_1/ha - MO\text{ familiale}/ha$$

Avec :

PB : Produit brut (\$),

R= rendement (tonnes/hectares),

Prix de vente unitaire : \$/tonnes,

VA : valeur ajoutée(\$),

CI: consommations intermédiaires (charges en intrants, équipement loué, assurances, entretien des équipements, frais d'électricité, d'eau, etc.),

Am : Amortissements économiques,

Red : Redistribution : Elle représente le fait que l'exploitant n'est pas propriétaire de la totalité de ses moyens de production (rente foncière : frais de fermages, taxes foncières, frais financiers liés aux emprunts, cotisations sociales, salaires et les charges sociales liées à l'emploi de main d'œuvre salariée,

Aides : subventions,

MOfamiliale : main d'œuvre familiale,

MB1 (ou R1): revenu ou marge brute,

MB2 (ou R2): revenu ou marge brute.

Ces différents indicateurs peuvent être ramenés au volume d'eau utilisé, en connaissant les volumes distribués, appliqués ou consommés par hectare (indicateurs physiques et agronomiques), pour obtenir des indicateurs de la productivité hydrique, exprimée en \$/m³.

L'évaluation peut :

- Comparer la valeur créée par m³ d'eau consommée (eau d'irrigation seulement ou eau bleue et eau verte) pour différentes productions agricoles alternatives possibles (Équation 19).

Équation 19 : Valeur de l'eau comparée entre cultures

$$V_a = \frac{MB_a}{I} \text{ comparé à } V_b = \frac{MB_b}{I}$$

Ou :

$$V'_a = \frac{MB_a}{E} \text{ comparé à } V'_b = \frac{MB_b}{E}$$

Avec :

a, b : cultures possibles,

V : valeur de l'eau (\$/m³),

MB : marge brute (\$/ha),

I : eau d'irrigation distribuée, appliquée ou consommée (m³/ha),

E : eau bleue et eau verte évapotranspirée (m³/ha).

- Comparer la valeur de l'irrigation en comparant la valeur créée par une culture irriguée à celle de la même culture en pluvial (Équation 20) :

Équation 20 : Valeur stratégique de l'eau d'irrigation, d'après (Tardieu 1999) modifié

$$V_s = \frac{MB_{irrigu\acute{e}} - MB_{pluvial}}{I}$$

Avec :

V_s : Valeur stratégique de l'eau d'irrigation (\$/m³),

MB_{irriguée} : Marge brute de la culture irriguée (\$/ha),

MB_{pluvial} : Marge brute de la culture pluviale qu'il est possible de faire en substitution (soit la même culture, soit une autre), (\$/ha),

I : eau d'irrigation distribuée, appliquée ou consommée (m³/ha).

Commentaires :

Dans le contexte européen ou étasunien par exemple, la plupart des productions céréalières ont une valeur ajoutée négative, seul le revenu (ou encore la marge brute par hectare) est positif. En effet, les politiques agricoles de l'après-guerre visaient à sécuriser l'accès à l'alimentation et éviter les pénuries, libérer un maximum de force de travail pour l'industrie et les services, fournir des débouchés aux industries d'amont et des matières premières pour les industries agro-alimentaires. L'abaissement des coûts de l'alimentation constituait un moyen indirect de favoriser la compétitivité du secteur industriel. Dans le secteur des céréales, la valeur ajoutée se crée donc essentiellement à l'amont et à l'aval de la production agricole.

L'analyse économique néoclassique se fonde, quant à elle, sur la recherche d'un équilibre parétien, qui revient à optimiser la répartition de l'eau (ressource rare), sous contrainte, entre différents usages. L'optimum est atteint lorsque coûts et gains marginaux s'égalisent, c'est-à-dire lorsque l'organisation des droits et des devoirs est telle qu'il est impossible de modifier les règles et de redéfinir le système des droits et des devoirs de façon à augmenter les attentes d'un individu représentatif sans, en même temps, diminuer les attentes d'un autre.

L'enjeu est donc de définir les coûts économiques et financiers associés à des changements de cultures ou de pratiques.

VI. Bibliographie

- Agence française de développement, 2008. *Analyse économique de l'allocation et de la programmation des ressources en eau- Cas du bassin du Tensift*. Paris. 42 p.
- Al-Azmeth H., 2008. *Mediterranean strategy for sustainable development - Water Efficiency Index Calculation*. Sophia-Antipolis, Plan Bleu. 42 p.
- Allen R. G., Pereira L. S., Raes D. & Smith M., 1998. *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. Rome, Italy, FAO.
- Amigues J. P., Debaeke P., Itier B., G. L., B. S., F. T. & (éditeurs) T. A., 2006. *Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau - Synthèse du rapport*. Paris, France, INRA. 72 p.
- Aulong S., Bouzit M. & Dörfliger N., 2008. Cost-Effectiveness Analysis of Water Management Measures in Two River Basins of Jordan and Lebanon. *Water Resources Management*, Forthcoming.
- Barraqué B. & Necessian A., 2008. *Mieux comprendre comment évolue la consommation d'eau à Paris*. Paris, Maire de Paris, Agence de l'eau Seine-Normandie, AgroParisTech-Engref, Cired, Adeprina. 105 p.
- Bennasr A. & Verdeil E., 2009. Gestion publique de l'eau potable, développement urbain durable et Majel-s (citernes d'eau pour l'eau de pluie) à Sfax en Tunisie. *Flux*, 2-3 (N° 76-77), 38-50.
- Bouaziz A. & Belabbes K., 2002. Efficience productive de l'eau en irrigué au Maroc. *H. T. E.* (N° 124), 57-72.
- Brothers K. J., 2005. IWA Approach to Water Loss Management. In, *Leakage*, Halifax, Canada. IWA.
- Burke S., Mulligan M. & Thornes J. B., 1999. Agricultural Water Management. *Optimal irrigation efficiency for maximum plant productivity and minimum water loss*, 40, 377-391.
- Cai X., Ringler C. & Rosegrant M. W., 2001. *Does efficient water management matter? Physical and economic efficiency of water use in the river basin*. Environment and Production Technology Division, IFPRI.
- Comair F., 2008. *Gestion intégrée des ressources en eau au Liban*. Sophia-Antipolis, Plan Bleu. 71 p.
- Crepin B., Désiré A. & Bernard G., 2001. Interaction eau d'irrigation-variétés de canne à sucre en conditions de rationnement hydrique. *Cahiers agricoles*, 10 (4), 243-253.
- Darmame K., 2004. *Gestion de la rareté : le service d'eau potable d'Amman, entre la gestion publique et privée*. Amman, IWMI, Institut français du Proche-Orient, Mission régionale Eau-Agriculture. 68 p.
- Fantozzi M., Bazzurro N. & Mazzola M. R., 2005. Progress on Implementing the IWA approach in Italy: Case Studies, Dissemination and training activities of the Italian Water Loss User Group and Links with European Funded Projects. In, *Leakage*, Halifax, Canada. IWA.
- Fernandez S., 2001. *Tarifification et règles d'allocation de l'eau dans un contexte de désengagement de l'Etat - Cas du périmètre irrigué de Maniçoba, District de Petrolina-Juaçeiro, Nordeste brésilien*. Montpellier, Cemagref. 150 p.
- Fernandez S., 2009. *Si la Garonne avait voulu... Etude de l'étiologie déployée dans la gestion de l'eau de la Garonne en explorant l'herméneutique sociale qui a déterminé sa construction*. Thèse de doctorat, AgroParisTech - ENGREF, Montpellier, 654 p.
- Garcia S., 2003. Mesure des économies d'échelle et taille efficace d'intercommunalité.
- Guérin-Schneider L., 2001. *Introduire la mesure de performance dans la régulation des services d'eau et d'assainissement en France. Instrumentation et organisation*. Doctorat, Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Montpellier, 575 p.
- Howell T. A., 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy journal*, 93, 281-289.
- Khrouf M. L., 2001. *Etude sur l'économie d'eau chez le consommateur - Etudes de cas: Espagne, France, Maroc et Tunisie*. Marseille, Institute Méditerranéen de l'eau. 43 p.
- Louhichi K., Flichman G. & Comeau A., 2000. L'amélioration de l'efficience de l'irrigation pour une économie d'eau: cas d'un périmètre irrigué en Tunisie. *Medit* (3), 21-29.
- Mailhol J.-C., Ruelle P., Khaledian M. R., Mubarak I. & Rosique P., 2009. Systèmes d'irrigation et économies d'eau sous climat méditerranéen: Etude expérimentale et modélisation. In, *Symposium international "Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGDUMED)*, Rabat. pp. 156-165.
- Maria A. & Giraud P.-N., 2008. *Partenariat public-privé, politiques de résorption de l'habitat précaire, et extension des services essentiels au Maroc*. Paris, IDDRI. 30 p.

- Maton L., 2008. *Evaluation économique du programme de mesures de gestion quantitative des ressources en eau dans l'Ouest de l'Hérault. Volume 1 : Scénario tendanciel et analyse coût efficacité pour l'usage agricole de l'eau*. 89 p.
- Mediterra, 2009. *Rethinking rural development in the Mediterranean/International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies and Blue Plan*. Paris. Presses de Sciences Po.
- Molle F., 2003. *Development trajectories of river basins: A conceptual framework*. Colombo, Sri Lanka, International Water Management Institute (IWMI). 42 p.
- Molle F. & Turrall H., 2004. Demand management in a basin perspective: is the potential for water saving overestimated? *In, International Water Demand Management Conference, Dead Sea, Jordan, June*.
- Pearson D. & Trow S. W., 2005. Calculating Economic Levels of Leakage. *In, Leakage*, Halifax, Canada. IWA.
- Pereira L., 1999. Higher performance through combined improvements in irrigation methods and scheduling: a discussion. *Agricultural Water Management*, 40, 153-169.
- PNUE/PAM, 2005. *Stratégie méditerranéenne pour le développement durable - Un cadre pour une durabilité environnementale et une prospérité partagée*. Rome, PAM, 68 p.
- Rao P. S., 1993. *Review of selected literature on indicators of irrigation performance*. Colombo, Sri Lanka, International Irrigation Management Institute. 75 p.
- Rinaudo J. D., 2008. *Evaluation économique du programme de mesures de gestion quantitative des ressources en eau dans l'Ouest de l'Hérault. Volume 2 : Scénario tendanciel et analyse coût efficacité pour l'usage eau potable*. 82 p.
- Rinaudo J. D., 2008. *Evaluation économique du programme de mesures de gestion quantitative des ressources en eau dans l'Ouest de l'Hérault. Volume 3 : Combinaison des mesures*. 33 p.
- Seckler D., 1996. *The new era of water resources management: from "dry" to "wet" water savings*. Colombo Sri Lanka, International Irrigation Management Institute (IIMI). 23 p.
- Strosser P., Roussard J., Grandmougin B., Kossida M., Kyriazopoulou I., Berbel J., Kolberg S., Rodríguez-Díaz J. A., Montesinos P., Joyce J., Dworak T., Berglund M. & Laaser C., 2007. *EU Water saving potential (Part 2 – Case Studies)*. Berlin, Allemagne, Ecologic - Institute for International and European Environmental Policy. 101 p.
- Tardieu H., 1999. La valeur de l'eau en agriculture irriguée: une information économique nécessaire pour mieux réguler la gestion de l'eau et des productions agricoles dans un marché ouvert. *In, Congress of International Commission on Irrigation and Drainage*, Granada, Spain. p. 19 p.
- Thivet G. & Blinda M., 2007. *Améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau pour faire face aux crises et pénuries d'eau en Méditerranée*. Sophia-Antipolis, Plan Bleu. 13 p.
- Verdier J., Petit V. & Bonnet G., 1982. Prise en compte du foisonnement de la demande pour le calcul des débits dans les réseaux maillés de distribution d'eau potable. *In, Séminaire de l'Organisation des Nations unies (ONU)*, Albufeira (Portugal). p. 10.
- Wichelns D., 2002. An economic perspective on the potential gains from improvements in irrigation water management. *Agricultural Water Management*, 52 (3), 233-248.
- Yeund H. W.-C., 2003. Practicing New Economic Geographies: A Methodological Examination. *Annals of the Association of American Geographers*, 93 (2), 442-462.

VII. Table des illustrations

Encadré 1 Actualisation des coûts d'investissement.....	6
Encadré 2 : Consommations unitaires et prix de l'eau en Méditerranée	12
Équation 1 : Coût actualisé d'une mesure.....	6
Équation 2 : Coût actualisé d'une mesure dont le coût d'investissement a été annualisé	6
Équation 3 : Niveau économique de fuite (ELL)	10
Équation 4 : L'efficacité de distribution de l'eau potable selon le Plan Bleu.....	33
Équation 5 : Le rendement des réseaux d'eau potable	33
Équation 6 : Indicateur de performance physique des réseaux d'eau potable.....	33
Équation 7 : Efficacité d'amenée d'eau d'irrigation	34
Équation 8 : Efficacité de distribution d'eau d'irrigation	35
Équation 9 : Efficacité du réseau d'amenée et de distribution d'eau d'irrigation.....	35
Équation 10 : Efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation selon le Plan Bleu	35
Équation 11 : Efficacité classique d'application d'eau d'irrigation à la parcelle (1)	36
Équation 12 : Efficacité classique d'application d'eau d'irrigation à la parcelle (2)	37
Équation 13 : Évapotranspiration maximale	37
Équation 14 : Efficacité effective d'application d'eau d'irrigation à la parcelle.....	37
Équation 15 : Efficacité de l'eau d'irrigation consommée dans la formation du rendement agronomique.....	38
Équation 16 : Efficacité de l'eau d'irrigation appliquée dans la formation du rendement agronomique	38
Équation 17 : Indicateur d'efficacité économique de valorisation de l'eau d'irrigation	40
Équation 18 : Produit brut, valeur ajoutée et revenu par hectare.....	40
Équation 19 : Valeur de l'eau comparée entre cultures	41
Équation 20 : Valeur stratégique de l'eau d'irrigation, d'après (Tardieu 1999) modifié.....	41
Figure 1 : Bilan schématique du cycle de l'eau à l'échelle du bassin versant.....	7
Figure 2 : Efficacité de mobilisation et de distribution de l'eau et efficacité d'utilisation de l'eau par l'utilisateur dans les secteurs de l'eau potable et de l'eau agricole (eau bleue)	8
Figure 3 : Pertes à l'échelle du service d'eau potable	9
Figure 4 : Valorisation des économies d'eau dans les réseaux d'eau potable.....	11
Figure 5 : Valorisation des économies d'eau chez l'utilisateur d'eau potable	13
Figure 6 : Pertes à l'échelle du service d'eau d'irrigation	21
Tableau 1 : Part relative des prélèvements anthropiques en Méditerranée.....	6
Tableau 2 : Les études de cas sélectionnées pour le secteur de l'eau potable.....	14
Tableau 3 : Caractérisation des mesures, de leurs avantages et des bénéficiaires (cas du bassin de l'Ardèche, France, de l'IPEST, Tunisie, et de la région de Karditsa, Grèce)	15
Tableau 4 : Coûts des économies d'eau (cas du bassin de l'Ardèche-France, de la région de Karditsa-Grèce et de l'IPEST-Tunisie)	16
Tableau 5 : Estimation des ratios coût-efficacité des mesures envisagées sur le bassin de l'Ardèche (France)	16
Tableau 6 : Évaluation coût-efficacité de différentes options de gestion de la demande en eau sur 2 territoires (Ouest Hérault en France et Bassin du Tensift au Maroc)	17
Tableau 7 : Évaluation coût-efficacité de différentes options de gestion de l'offre sur 2 territoires (Ouest Hérault en France et Bassin du Tensift au Maroc)	18
Tableau 8 : Les études de cas sélectionnées pour le secteur de l'eau agricole	25
Tableau 9 : Caractérisation des mesures, de leurs avantages et des bénéficiaires	26
Tableau 10 : Ratio coût-efficacité (CF) des mesures évaluées dans les études de cas pour le secteur de l'eau agricole (mesures de gestion de la demande et mesures de gestion par l'offre)	27
Tableau 11 : Estimation des ratios coût-efficacité des mesures envisagées sur le bassin de l'Ardèche (France)	28
Tableau 12 : Ratio coût-efficacité (CE ₂) des mesures évaluées dans les études de cas pour le secteur de l'eau agricole (mesures de gestion de la demande et mesures de gestion par l'offre)	29
Tableau 13 : Comparaison des coûts et productivité globale des techniques d'irrigation.....	36