

Project water saving in irrigated agriculture (WASIA): rapport final

Lamaddalena N., Lebdi F.

in

Hamdy A. (ed.).

Regional Action Programme (RAP): Water resources management and water saving in irrigated agriculture (WASIA PROJECT)

Bari : CIHEAM

Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n. 44

2003

pages 219-244

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=3001806>

To cite this article / Pour citer cet article

Lamaddalena N., Lebdi F. **Project water saving in irrigated agriculture (WASIA): rapport final**. In : Hamdy A. (ed.). *Regional Action Programme (RAP): Water resources management and water saving in irrigated agriculture (WASIA PROJECT)*. Bari : CIHEAM, 2003. p. 219-244 (Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n. 44)



<http://www.ciheam.org/>
<http://om.ciheam.org/>

PROJET WATER SAVING IN IRRIGATED AGRICULTURE (WASIA) RAPPORT FINAL

Fethi LEBDI et Nicola LAMADDALENA

PREAMBULE

Le projet WASIA a été le couronnement d'un ensemble de travaux initiés entre l'IAMBar et l'IRESA, dans le cadre de la recherche de méthodes de gestion des ressources en eau et de modernisation des réseaux hydrauliques sous pression.

La Tunisie, pays semi-aride à aride, a développé depuis trois plus de trois décennies, une politique de l'eau appuyée sur l'évaluation de la ressource, sa mobilisation, son emploi dans l'agriculture irriguée d'une part et dans l'eau potable urbaine et rurale d'autre part, ainsi que sa gestion et son économie, eu égard à l'évolution des besoins en eau parallèlement à l'évolution démographique maîtrisée et économique.

La surface irriguée potentielle actuelle est de l'ordre de 400000ha, soit 8% de la surface agricole utile. Cette surface est aménagée en partie par des périmètres irrigués publics qui commencent à céder la place aux associations d'irrigants (GIC : Groupements d'intérêt collectif) et des investissements privés de petite hydraulique, qui concernent le captage de sources ou puits de surface.

A l'aube du 21^{ème} siècle, le pays s'est préoccupé de plus en plus de la gestion de l'eau et de son économie, tout particulièrement dans le secteur de l'irrigation, qui utilise près de 80% de la ressource mobilisée.

C'est dans ce contexte que ces actions du projet WASIA interviennent, dans un cadre de partenariat entre l'IAMBar et l'IRESA (Institution de la recherche et de l'enseignement supérieur agricoles). L'IRESA est appelée de par ses prérogatives, à accompagner le développement et les projets sur le terrain, d'actions de recherche et de formation, dans le domaine agricole en général et de l'eau en particulier. La recherche avec l'IAMBar s'articule autour du développement d'outils pour l'analyse diagnostic des réseaux hydrauliques, en vue soit de leur réhabilitation soit de leur modernisation, d'outils de gestion des données au niveau des GIC et de méthodes de gestion optimale de la ressource à l'amont. Ce sont ces dernières actions qui ont fait l'objet de développement dans le cadre du projet WASIA.

Les résultats confirment le choix de continuer à mettre en place, à partir des outils de base de données développées dans ce cadre de WASIA, et sur plusieurs campagnes de mesures des consommations en eau, relatives aux spéculations correspondantes, des courbes de demande en eau à des pas de temps faible (quelques jours, selon le tour d'eau ou journalier si c'est une irrigation à la demande). Ceci permettra de mieux affiner les modèles de gestion d'une part des réseaux hydrauliques (mieux apprécier les régimes de débit) et d'autre part de la ressource en eau, en employant les demandes en eau variables et réelles.

A l'occasion de ce projet, une base de données de suivi des consommations en eau des GIC a été développée, permettant de suivre et de générer les courbes de la demande, pour chaque agriculteur et pour chaque spéculation. Deux articles ont été conjointement publiés avec Dr. Lamaddalena et concernent la méthode d'analyse diagnostic des réseaux sous pression avec le cas tunisien du périmètre de Ghézala et l'autre sur l'analyse diagnostic des GIC, avec cas tunisien de Bir Bel Kemla.

De même, un site web a été produit, contenant les différentes activités du projet WASIA, actions en Tunisie..

A - Problématique

Les aménagements hydro-agricoles réalisés jusqu'aujourd'hui en Tunisie, ou ceux prévus, ont mobilisé des ressources humaines et matérielles importantes, que ce soit en infrastructure de stockage, de transfert de l'eau ou en aménagement et de mise en valeur des périmètres irrigués. L'étape actuelle du développement du pays exige, dans un objectif d'économie d'eau, une gestion rigoureuse des ressources hydrauliques, un suivi dynamique de l'évolution du système des périmètres irrigués et par suite de la demande en eau.

Le contexte du projet WASIA (1998-2002) financé par l'EU/CIHEAM dans le cadre de l'action RAP (Regional Action Programme) "Water Resource Management" est orienté à l'usage optimal et participatif des ressources en eau dans le secteur de l'irrigation avec des questions techniques majeures (ci-dessous détaillées) qui sont étudiées, dans le cadre du projet WASIA et de l'activité prévue entre l'équipe de recherche de l'IAM-Bari et l'équipe de recherche de l'INAT/IRESA.

B - Objectifs du projet

Les objectifs du projet WASIA sont principalement les suivants :

- Efficience de l'utilisation des ressources en eau en irrigation ;
- Etude, gestion et optimisation du service hydraulique délivré à l'utilisateur, à travers l'analyse de la performance et la réhabilitation de systèmes collectifs irrigation ;
- Gestion du risque et optimisation stochastique des règles de gestion d'un barrage ;
- Gestion participative des ressources en eau en irrigation, dans le cas de réseaux collectifs sous pression.

Les objectifs spécifiques des actions élaborées par l'équipe de recherche conjointe de l'IRESA et de l'IAMBari sont les suivants:

1. Compréhension du comportement de l'agriculteur, par une confrontation entre les courbes de la demande objective (besoin en eau) et la demande affichée à la borne : installation des 20 bornes à carte électrique dans le gouvernorat de Bizerte, acquis par l'équipe tunisienne.
2. Suivi, analyse de performance et réhabilitation des réseaux hydrauliques sous pression pour une irrigation à la demande : Cas de périmètre *Ghezala* dans le Gouvernorat de Bizerte.
3. Optimisation d'un barrage par programmation dynamique stochastique afin de déterminer les lâchures optimums ainsi que la gestion de risque pour le choix de la règle de gestion : cas de barrage *Ghezala* dans le Gouvernorat de Bizerte.
4. L'aménagement et l'introduction des techniques économes en eau et la gestion participative dans l'irrigation , sur deux cas et deux sites d'étude:
 - Cas d'un nouveau périmètre public irrigué (*Nefza*) dans le gouvernorat de Béja : introduction de techniques économes en eau, pour l'essai de culture de la mangue ;
 - Cas d'un ancien périmètre public irrigué (Bir ben Kamla) dans le gouvernorat de Mahdia : analyse de la gestion participative à partir d'un réseau collectif sous pression et poids de l'eau dans le bilan des exploitations.

Le travail dans le cadre de ce projet a donné lieu à l'encadrement d'étudiants de Mastère et à la production de mémoires de fin d'études.

C - Les réalisations et les résultats produits

Afin de parvenir aux objectifs du projet plusieurs actions ont été entreprises :

1. Installation des bornes à carte électronique *AcquaCard*,
2. Etude des besoins en eau des cultures et comparaison besoin lâchure au niveau du périmètre.
3. Suivi, analyse de performance et réhabilitation des réseaux hydrauliques sous pression pour une irrigation à la demande : Cas de périmètre *Ghezala* dans le Gouvernorat de Bizerte.
4. Optimisation d'un barrage par programmation dynamique stochastique afin de déterminer les lâchures optimums ainsi que la gestion de risque pour le choix de la règle de gestion : cas de barrage *Ghezala* dans le Gouvernorat de Bizerte.
5. Publications scientifiques sur le diagnostic des systèmes collectifs sous pression opérant à la demande : Cas de périmètre *Ghezala* et sur la gestion participative dans le PPI de Bir Ben Kamla
6. Les aménagements et la gestion participative des périmètres irrigués :
 - Cas du PPI de *Nefza* dans le gouvernorat de Béja ;
 - Cas du PPI Bir ben kamla dans le gouvernorat de Mahdia.
7. Système de base de données de suivi des GIC (Associations d'irrigants)
8. Site web des actions du projet

Analyse Diagnostic du Périmètre irrigué de Ghézala : Réseau de distribution et adéquation demande en eau- lâchure du barrage

L'objectif de ce chapitre est de distinguer, à partir des mesures effectuées sur le terrain :

- installation d'un débitmètre à ultra son en vue de mesurer instantanément les volumes d'eau desservis dans le périmètre
- enquêtes en vue de préciser les cultures en place et leur superficie ainsi que les données climatiques

Les interprétations de la comparaison entre les besoins en eau avec les lachures peuvent démontrer un besoin, soit de réhabilitation du réseau sous pression (chapitre 1), soit de recherche de règles de gestion optimale à échéance inter-annuelle (chapitre 2).

Le périmètre de ghézala (cas de notre étude) a une superficie de 1060 ha (SAU), répartie en grandes cultures (à peu près 590 ha), arboricultures (à peu près 363 ha) et cultures maraîchères (à peu près 220 ha).

1. Cultures existantes et leur répartition

Dans le cadre de ce projet on a fait une étude sur trois années (de 1998 à 2000). Pour les cultures existantes, on les présente dans le tableau ci-dessous et pour l'année 1999-2000.

Tableau 1. Occupation culturale du périmètre irrigué de Ghézala

Spéculations	sec	irrigué
ARBORICULTURE	0	363
olives de tables	0	0
olives à l'huile	0	0
agrumes	0	0
vignes à tables	0	110
vignes de cuve	0	0
pommier et poirier	0	218
espèces à noyaux	0	35
GRANDES CULTURES	70	520
blé dur	0	250
blé tendre	0	30
orge	0	0
triticale	0	0
avoine fourrage	70	0
fenu grec fourrage	0	0
ensilage	0	0
orge en vert	0	0
Bersim	0	120
Betterave forager	0	0
fourrage d'été	0	90
sorgho	0	70
maïs	0	0
luzerne	0	20
cultures industrielles	0	30
CULTURES MARAICHÈRES	0	220
P.T saison	0	60
P.T arrière saison	0	25
P.T primeurs	0	0
C.M d'hivers	0	50
artichaut	0	0
légumes feuilles	0	0
choux et chou-fleur	0	0
fenouillet	0	0
carotte et navet	0	0
légumineuses d'hivers	0	20
ail	0	20
oignon	0	10
divers	0	0
C.M d'été	0	85
tomate	0	30
piment	0	20
cucurbitacées	0	10
oignon	0	20
légumineuses de printemps	0	5
Divers	0	0
TOTAL	70	1103
TOTAL GENERAL	1173	
TAUX D'INTENSIFICATION	104.05	
TAUX D'OCCUPATION	110.66	

2. Année 1998 et 1999

Pour ces deux années, on a remarqué que les volumes d'eaux qui sont nuls ne correspondent pas à des mesures mais à une panne survenue au niveau de débitmètre. Pour cette raison, on a étudié la comparaison des demandes et des lâchures pour toute l'année et pour les périodes où le débitmètre a fonctionné.

a- Année 1998 :

On remarque pour les 13 premières décades ainsi que pour les 10 dernières décades (figure 1.) que les lâchures sont nulles (problème de panne sur le débitmètre)

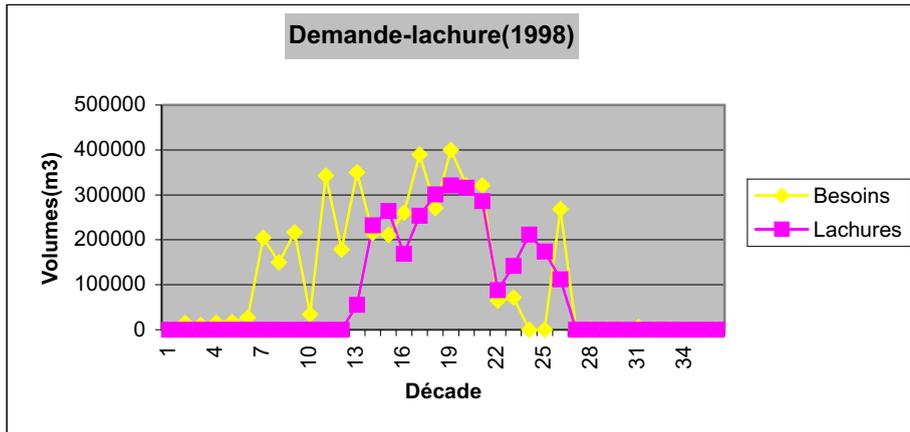


Fig. 1. Comparaison demande - lâchures (1998.)

Pour ces raisons on va étudier pour cette année seulement les périodes où on a enregistré des lâchures.

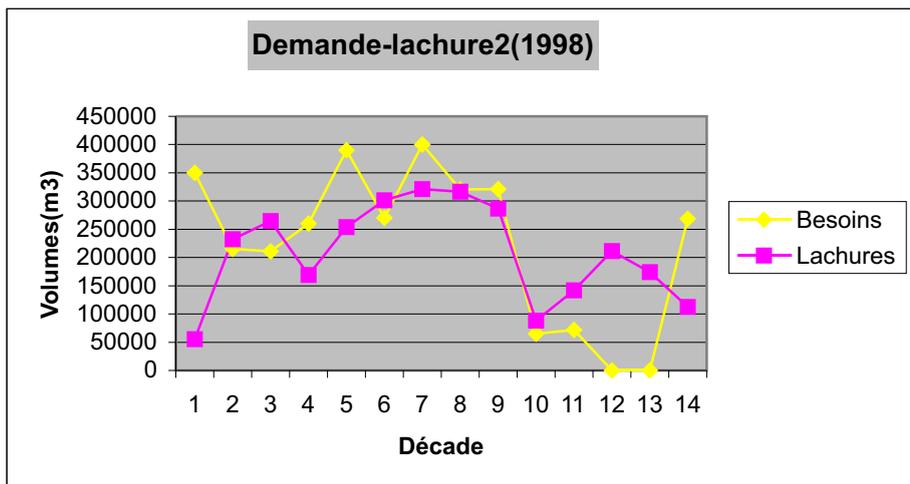


Fig. 2. Comparaison demande- lâchures (1998.)

Pour mieux expliciter la comparaison entre les demandes et les lâchures, on a représenté la différence demande lâchures indiqués dans la figure 3.

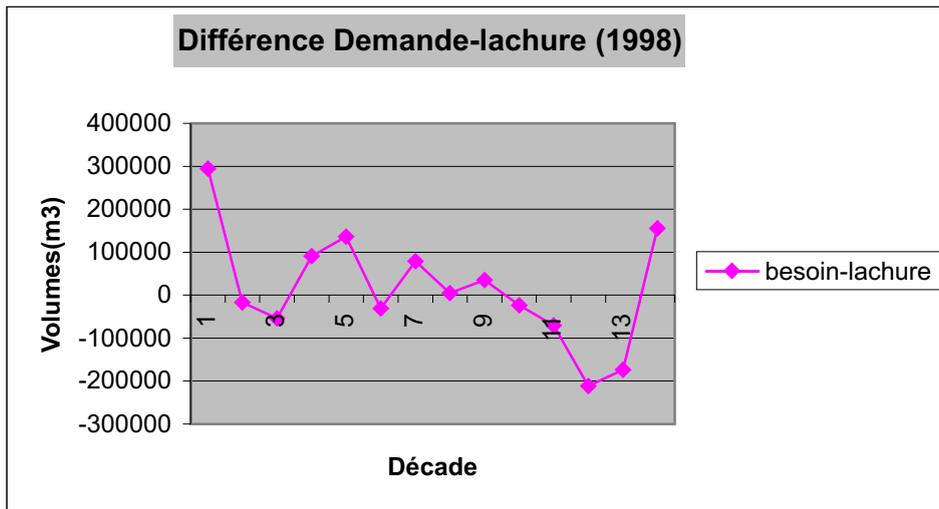


Fig. 3. Différences besoin lâchures (1998.)

On remarque qu'il y a une grande différence entre les besoins et les lâchures sauf pour quelques décades où on a donné exactement l'eau qui arrive à satisfaire ces besoins.

b- Année 1999 :

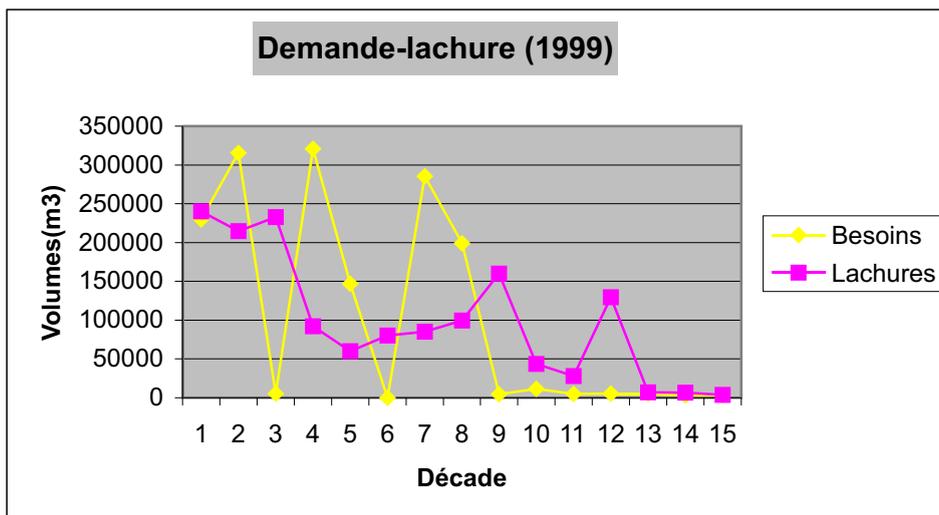


Fig. 4. Comparaison demande- lâchures (1999.)

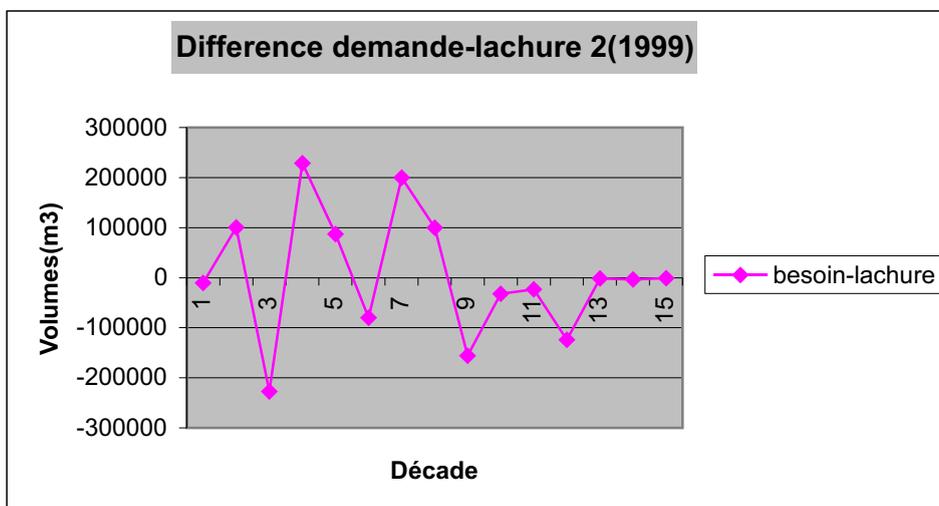


Fig. 5. Différences demande- lâchures (1999.)

c- Année 2000

Cette année est considérée comme la meilleure année où le débitmètre a fonctionné sans qu'il y ait de panne. Pour cette année on remarque qu'il n'y a pas de grandes différences entre les lâchues et les demandes sauf pour quelques-unes.

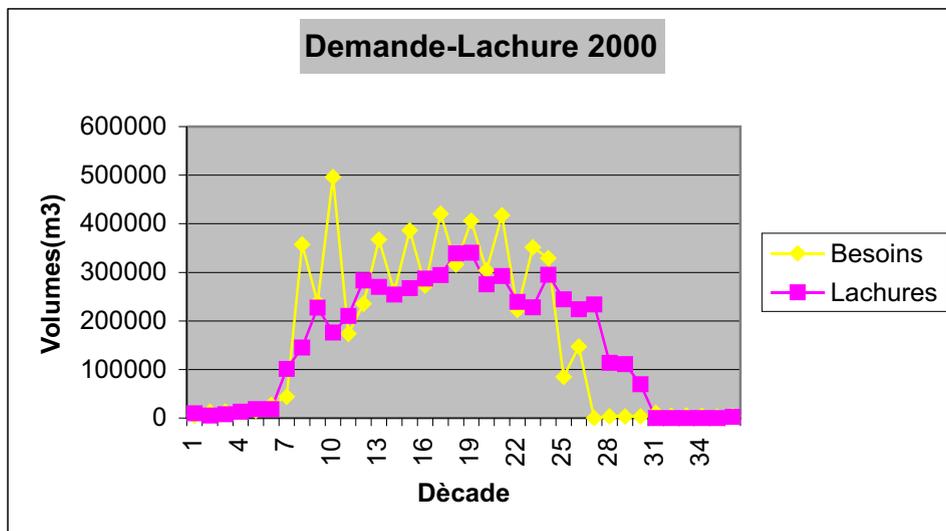


Fig. 6. Comparaison demande- lâchures (2000.)

Au niveau des 6 premières ainsi que 6 dernières décades ces différences sont presque nulles. Le grand déficit ou excès d'eau sont constaté surtout au niveau de la 8^{ième}, 10^{ième} et la 27^{ième} décades. Les mois mars, avril, mai, juin et juillet présentent des besoins supérieurs aux lâchures

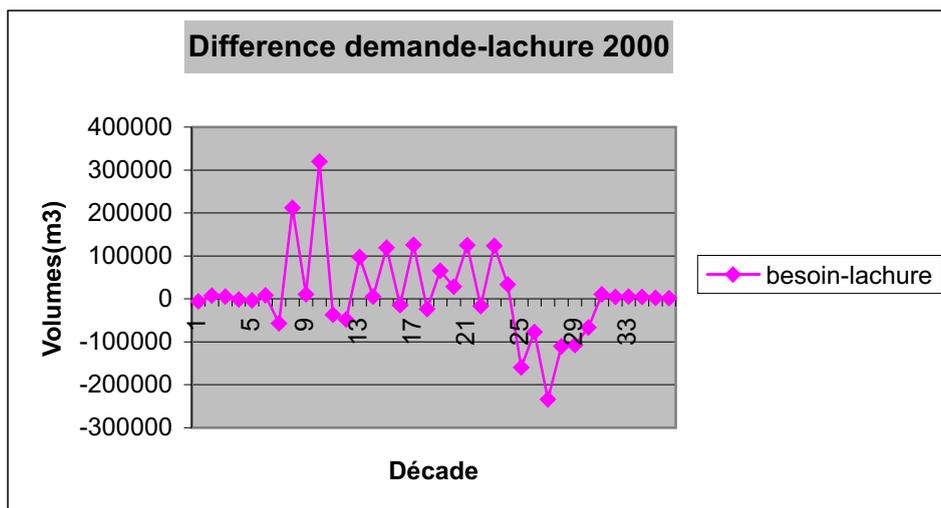


Fig. 7. Différences demande- lâchures (2000.)

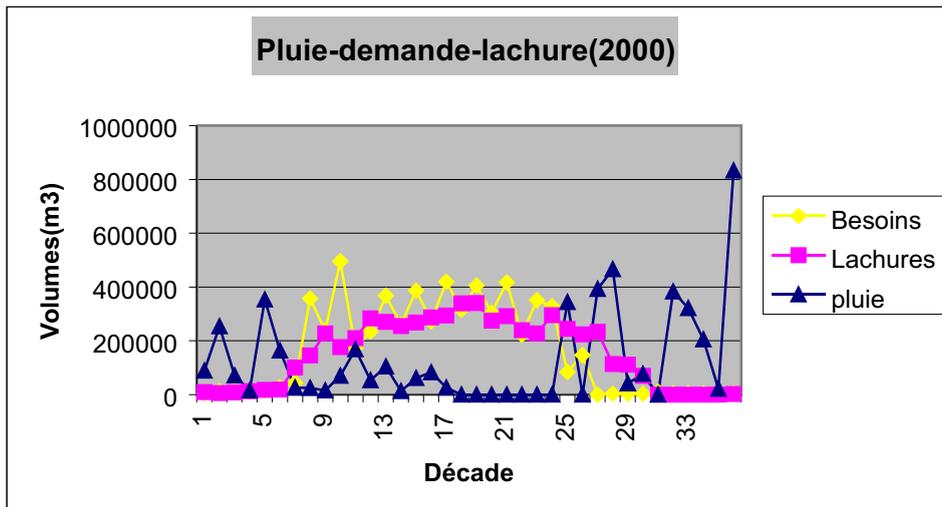


Fig. 8. Pluie-demande-lâchure (2000.)

Conclusion

Les résultats obtenus nous montrent au niveau de ces trois années d'étude une différence faible généralement, entre les demandes en eau et les lâchures; Le réservoir barrage arrive à satisfaire sans trop de risque cette demande, tant que les besoins sont figés.

Les chapitres qui suivent vont s'intéresser d'une part (chapitre 1) à mettre en place une méthode d'analyse des réseaux et du service hydraulique fourni à la borne et le chapitre 2 concernera les règles de lâchure selon la demande en eau, au niveau du barrage Ghézala.

1- Analyse de performances et réhabilitation : périmètre Ghézala

1.1 Présentation du périmètre Ghézala

Le site de Ghézala se situe dans la zone sub-humide de la Tunisie. Ce périmètre se trouve dans la partie Sud-Ouest de la plaine de Mateur, à environ 60 Km au Nord-ouest de Tunis. La superficie du périmètre est de 1031 ha et découpée en quatre secteurs comprenant respectivement 471, 134, 300, et 180 ha. La zone du projet se situe dans l'étage bioclimatique humide à hiver doux caractérisé par une pluviométrie relativement abondante et des températures hivernales modérées. La station climatique la plus proche se situe à Mateur. Le barrage de l'oued Ghézala a une capacité utile de 8.9 millions de m³ et un volume régularisé de 5.9 millions de m³. La qualité de l'eau est bonne (moins de 1 g/l comme résidu sec). Le volume disponible dans le barrage varie d'une année sur l'autre, pour atteindre certaines périodes moins de 2 millions de m³.

1.2 Analyse des performances du réseau Ghézala

1.2.1 description des méthodes d'analyse des performances hydrauliques du réseau

Après l'installation de débitmètre à ultrason en tête de réseau au niveau du barrage Ghézala, nous avons pu avoir les courbes de demande en eau, à des périodes différentes pour les trois dernières années (1999,2000,2001).

A partir de ces enregistrements des débits, on a pu analyser les performances hydrauliques du réseau, à travers deux méthodes :

- i. **Méthode des courbes indicées** par la probabilité de satisfaction des prises en pression (comportement du réseau face à un ensemble des régimes de débits, générés par des configurations de prise ouvertes simultanément).
- ii. **Méthode de l'analyse du réseau** au niveau des bornes par le logiciel **COPAM (Combined optimization analysis model)**

Le logiciel **COPAM** se base sur deux indicateurs de performances à savoir :

La fiabilité des bornes du réseau, définie comme le rapport entre le temps pendant lequel la borne est satisfaite en pression et le temps de fonctionnement de cette borne

La fiabilité est calculée comme suit :

$$f_j = \frac{\sum_{r=1}^C I_{h,j,r} I_{p,j,r}}{\sum_{r=1}^C I_{h,j,r}}$$

Avec f_j = fiabilité de la borne j.

$I_{h,j,r}$ = 1, si la borne j est ouverte dans la configuration r.

$I_{h,j,r}$ = 0, si la borne j est fermée dans la configuration r.

$I_{p,j,r}$ = 1, si la pression dans la borne j ouverte dans la configuration r, est plus grande que la pression minimale requise dans la borne.

$I_{p,j,r}$ = 0, si la pression dans la borne j ouverte dans la configuration r, est plus faible que la pression minimale requise dans la borne.

C : c'est le nombre total des configurations générées.

Le déficit relatif de pression des bornes du réseau est défini comme le rapport entre la pression à la borne j dans la configuration r diminué par la pression minimale exigée divisé par pression minimale exigée :

$$H_{j,r} = \frac{H_{j,r} - H_{\min}}{H_{\min}}$$

Avec $H_{j,r}$ Le déficit relatif de pression de la borne j ;

$H_{j,r}$ [m], si la hauteur de la prise d'eau de la borne j ouverte dans la configuration r ;

H_{\min} [m], le minimum à exiger de hauteur d'eau dans la borne ;

1.2.2 Résultats de l'analyse des performances hydrauliques du réseau Ghézala

a) Analyse des performances hydrauliques par la méthode des courbes indicées

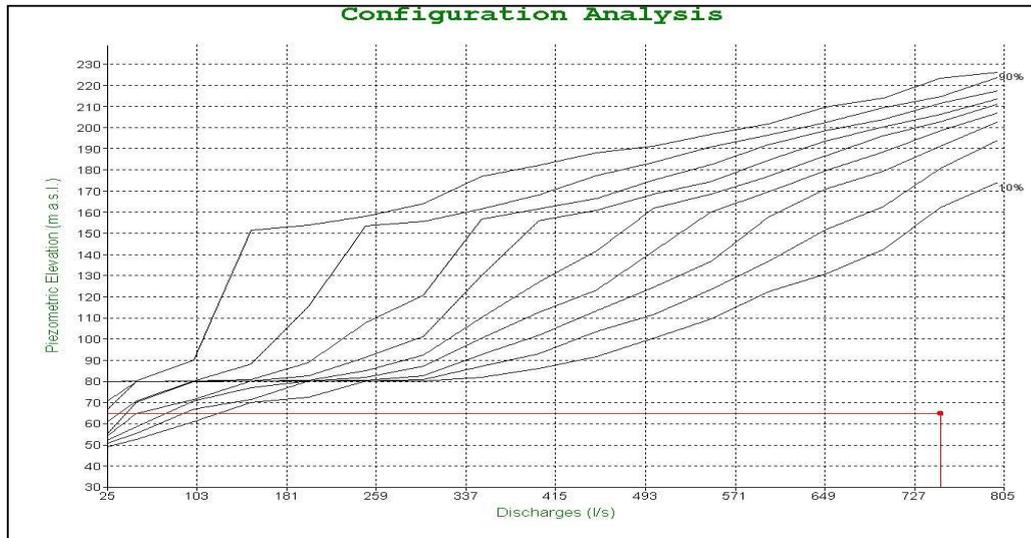


Fig.1. Les courbes caractéristiques indicées

D'après les courbes caractéristiques indicées Fig.1, on observe que le set-point (point de fonctionnement) P_0 (750 l/s, 65 m) se trouve en dessous de la courbe caractéristique indicée de 10% ; Ce qui veut dire que moins de 10% des configurations exploitées sont satisfaites. Ce résultat montre une très grande défaillance dans le réseau. Mais en fait cette méthode s'avère trop sévère puisque une configuration est supposée défaillante lorsque seulement une borne où plus présente une pression de service $H_{j,r}$, inférieure, à la pression minimale exigée H_{min} quelque soit les nombres des bornes ouvertes simultanément, ce qui nous a amené à utiliser la méthode de l'analyse des performances hydrauliques du réseau par le logiciel **COPAM** qui permet d'estimer les défaillances du réseau par borne ouvert dans tous les configurations gérées, et non pas par configuration des bornes ouverts simultanément, cette méthode permet de détecter exactement les bornes défaillantes dans le réseau en période pointe. Les résultats de l'analyse sont dans les paragraphes suivants.

b) Analyse des performances hydrauliques du réseau Ghézala par le logiciel COPAM

b-1 Graphique de Déficit relatif de pression des bornes

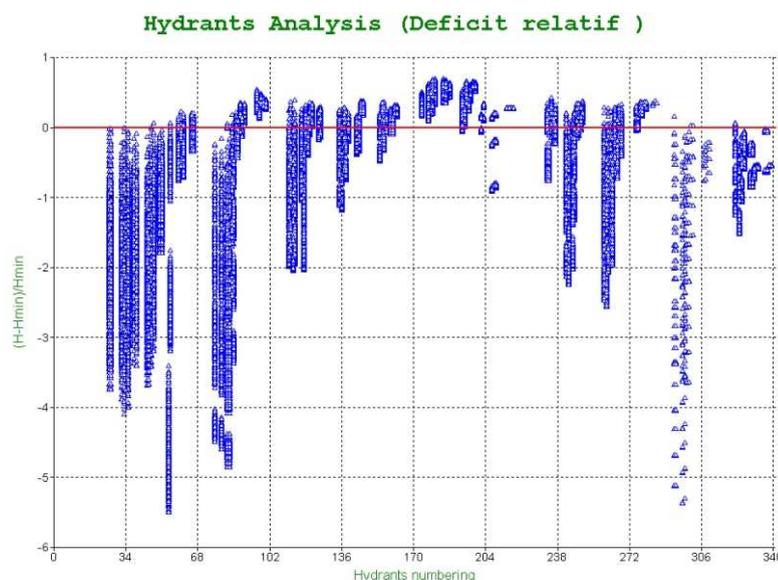


Fig. 2. Déficit relatif de pression des bornes (Q=750 l/s)

D'après la fig.2, on peut identifier les bornes qui présentent de déficit de pression et évaluer l'ordre de variation de cette insuffisance.

Sachant que selon l'ordre d'insuffisance on peut interpréter les anomalies de dysfonctionnement du réseau :

- o $H > 0$ Pas de défaillance ;
- o $-1 < H < 0$ Risque de défaillance au niveau de la parcelle ;
- o $H < -1$ Risque de défaillance au niveau du réseau ;

b-2 Graphique de la fiabilité des bornes

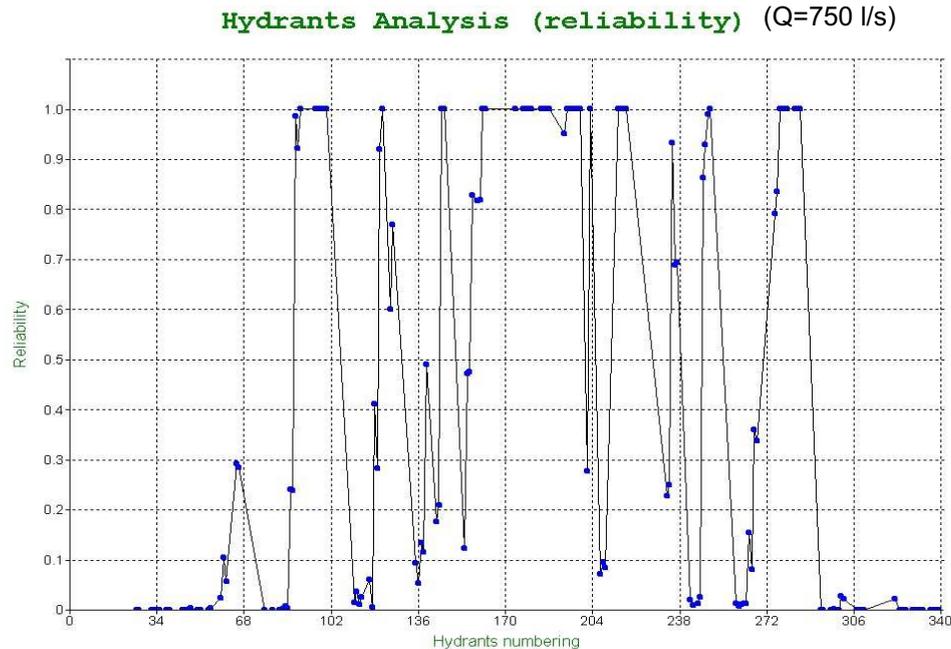


Fig. 3. Fiabilité des bornes

D'après la fig.3, on peut identifier avec précision les bornes non performantes.

Sachant que selon la valeur de fiabilité, on peut interpréter les anomalies de dysfonctionnement du réseau :

- o $r_j > 90\%$ Pas de défaillance ;
- o $80\% < r_j < 90\%$ Risque de défaillance au niveau de la parcelle ;
- o $r_j < 80\%$ Risque de défaillance au niveau du réseau ;

1.2.3 Elaboration d'un outil d'aide à la décision : interfaçage entre Modèle hydraulique (COPAM) et le système d'information géographique (GIS-arcview)

La conception d'un réseau d'irrigation requiert la disponibilité d'un système d'aide à la décision accessible, flexible, de façon à manipuler les grandes quantités de données de projection.

a) Méthodologie de l'interfaçage

Tous les résultats obtenus par l'analyse des critères de performances du système nous ont permis de déterminer les principaux problèmes des réseaux en termes de déficit relatif de pression, de fiabilité et de localisation de bornes défaillances existantes. La visualisation et la transposition de couches d'informations permettent d'interpréter au mieux les voisinages physiques des bornes défaillantes et leur

situation géographique, en vue d'une meilleure réhabilitation hydraulique :

- Thème polygone limite du périmètre;
- Thème polyline oued Ghezala;
- Thème point barrage;
- Thème polyline système de distribution : tronçon par tronçon;
- Thème point bornes;

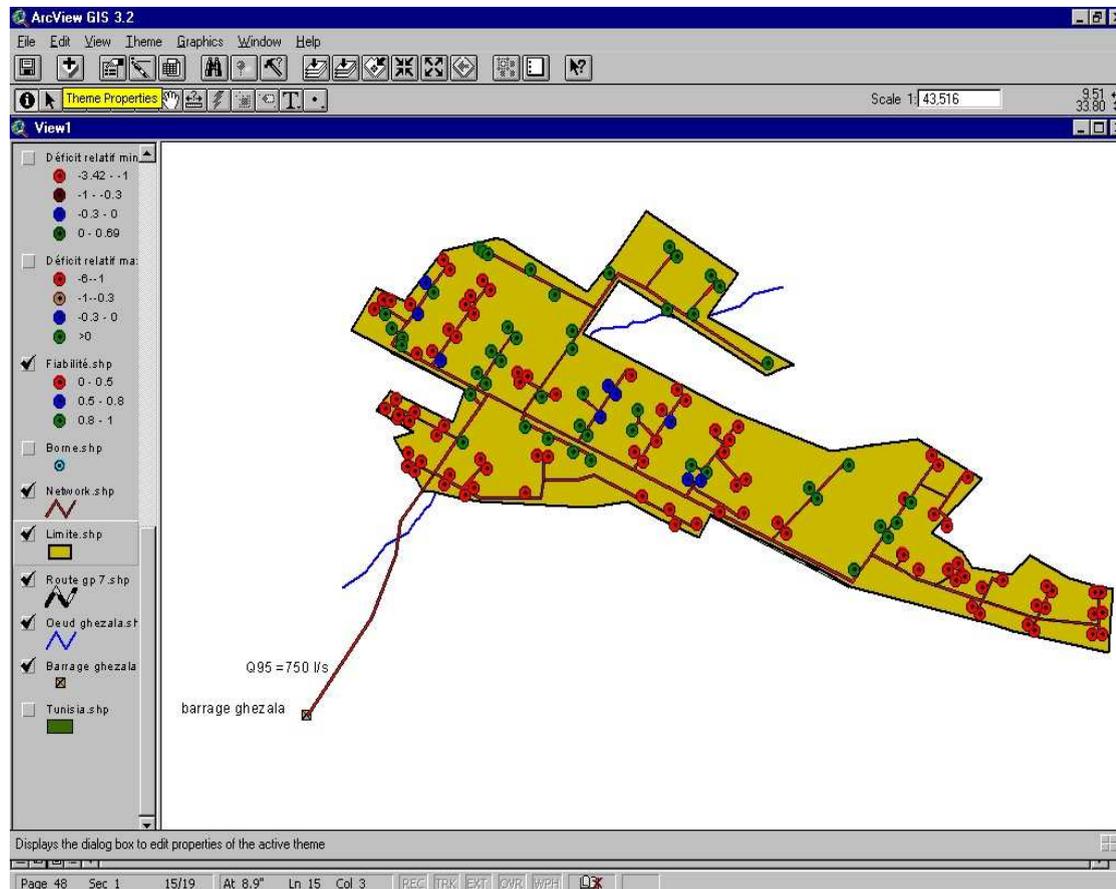


Fig. 4. Thèmes cités dans le système d'information géographique SIG-arcview

L'interfaçage des résultats de calculs hydrauliques s'appuie sur les critères :

- Thème de fiabilité
- Thème de déficit relatif maximum de pression

Pour mieux identifier les zones défaillances du réseau on a classé les résultats selon le tableau ci-dessous :

Tableau 1. Les intervalles de classification des critères de déficit relatif de pression et de fiabilité

	Pas de défaillance	Risque de défaillance au niveau de la parcelle	Risque de défaillance au niveau des réseaux
	●	● et ●	●
Déficit relatif De pression	>0	-1 -0,3 et -0,3 0	<-1
Fiabilité	>90%	80% 90%	<80%

b) Résultats de l'interfaçage COPAM et SIG-arview

**b-1 résultats de l'interfaçage des résultats de fiabilité et SIG-arview
(Q=750 l/s)**

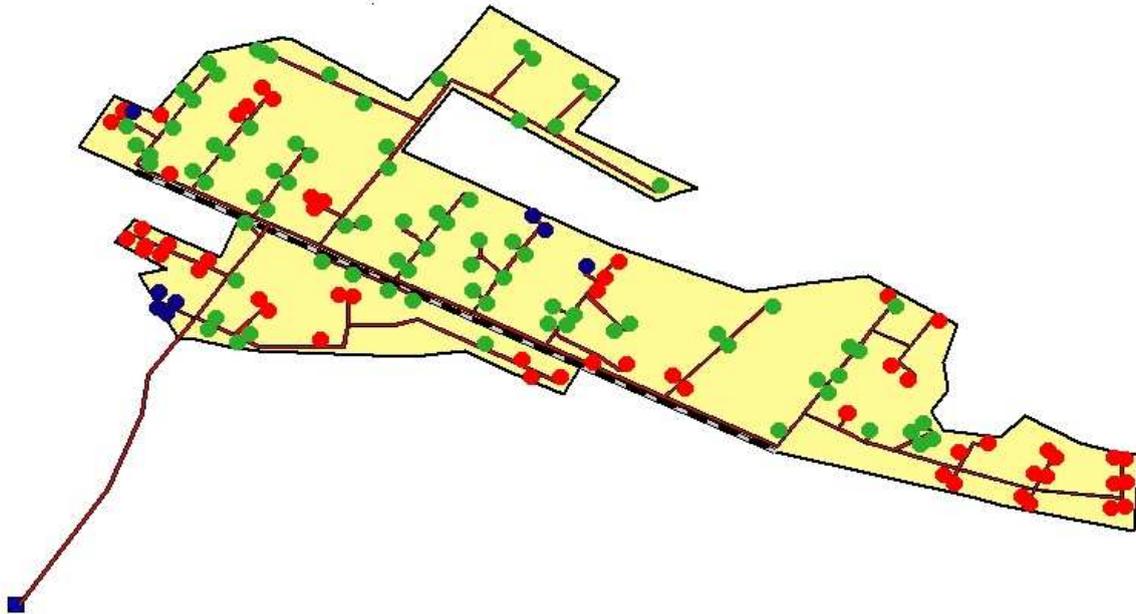


Fig. 5. Distribution spatiale de fiabilité des bornes d'irrigations

**b-2 Résultats de l'interfaçage des résultats de déficit relatif maximum et SIG-arview
(Q=750 l/s)**

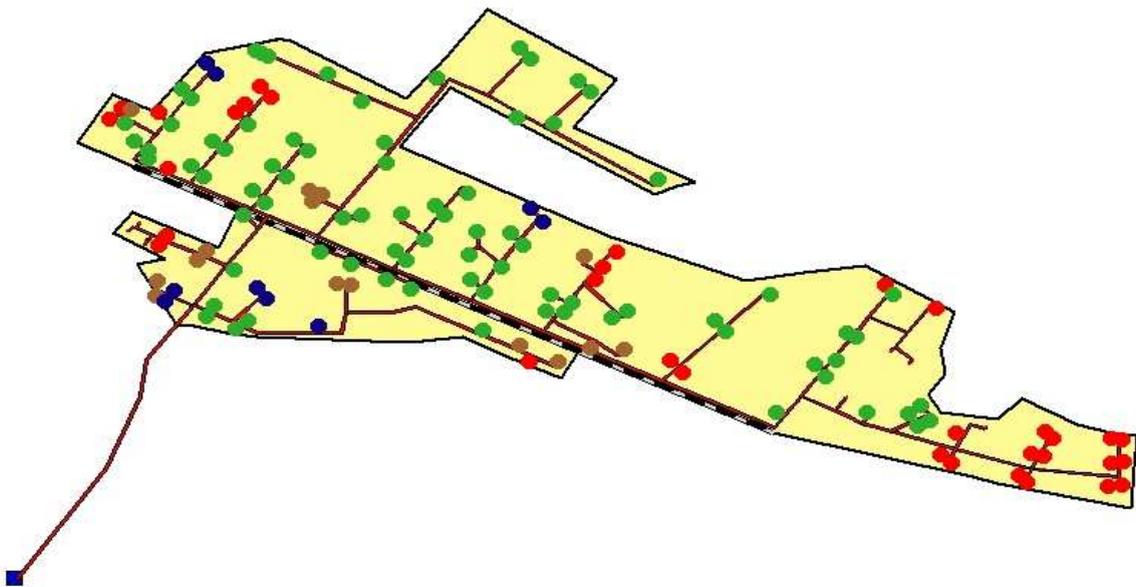


Fig. 6. Distribution spatiale du déficit relatif maximum des bornes d'irrigations

Pour le cas d'étude, la confrontation entre fig.5 et fig.6 concernant le déficit relatif de pression montre des zones en couleurs rouges, ces zones de réseau ont des bornes dont la limite inférieure de la valeur de H est inférieure à 1. Ceci veut dire que les pressions de service sont négatives pour toutes les configurations générées pour ces derniers. Les zones présentant la couleur rouge pour la fiabilité indiquent que les bornes ont une probabilité de défaillance inférieure ou égale à 0.5 pour toutes les configurations générées ; Ceci signifie que dans ces aires, la défaillance dans le service hydraulique rendu se vérifie spatio-temporellement.

Pour le cas d'étude, le système nécessite des interventions de réhabilitation que ce soit par des actions de réhabilitation physique, là où les défaillances sont maximum (changement des diamètres des conduites, installation de surpresseurs..), ou bien par changement dans le mode de gestion (par exemple en imposant un système tour d'eau pendant l'heure de pointe de la demande en eau ou l'installation de bornes équipées d'**ACQUACARD** pour la régulation automatique des ouvertures des bornes, donc une gestion plus rigide du système), ou par changement des techniques d'irrigation et donc des exigences de pression et du débit (contraintes plus souples)

1.3- Etude de réhabilitation du réseau Ghezala

1.3.1 Optimisation des diamètres des conduites

Lors de l'optimisation on a deux régimes d'écoulement.

- * Le régime de l'écoulement ; singulier si le débit est calculé par la méthode de Clément, plusieurs régimes si le débit est calculé aléatoirement à l'aide de la commande Random.
- * Si on choisit les régimes aléatoires, on doit imposer le débit en tête du réseau et le nombre de régimes à générer.

La méthode d'optimisation considère fixes les débits qui coulent dans les conduites du réseau. Elle s'appuie sur l'algorithme de Labye (Cemagref, 1981), employant les contraintes hydrauliques, un bordereau de prix commercial et une minimisation du coût du réseau.

1.3.2 Réhabilitation du réseau

1.3.2.1 Optimisation selon un régime d'écoulement singulier (Sa)

a- Hypothèses:

Avec ce régime d'écoulement, une borne de 5 l/s n'irrigue que 2.5ha, c'est à dire que l'agriculteur n'irrigue pas la totalité de ces cultures en une seule fois mais il l'irrigue en deux fois.

Le débit spécifique continu est 0.681 l/s*ha ;

Le nombre des bornes terminales ouvertes est 4 ;

La surface non cultivée est 0 ;

Le coefficient de Clément est 0.660 ;

La qualité de fonction est 1.645 ;

La hauteur piézométrique amont est 73 m ;

Le débit amont est 750 l/s ;

La pression exigée aux bornes est 20 m ;

Une étude des performances du réseau, optimisé avec les hypothèses ci-dessus est effectuée :

Les résultats seront présentés dans les figures 7 et 8.

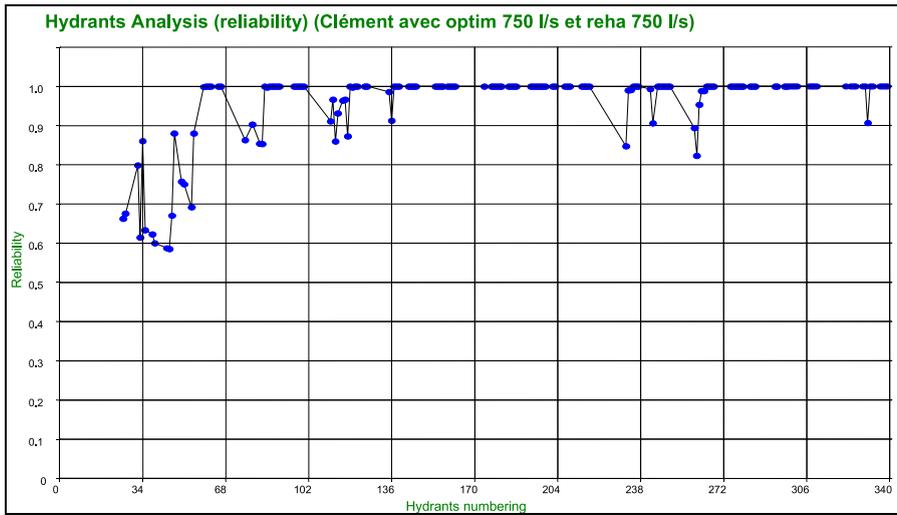


Fig. 7. Fiabilité avec $Q_{opt}=750$ l/s et $Q_{clément}=750$ l/s.

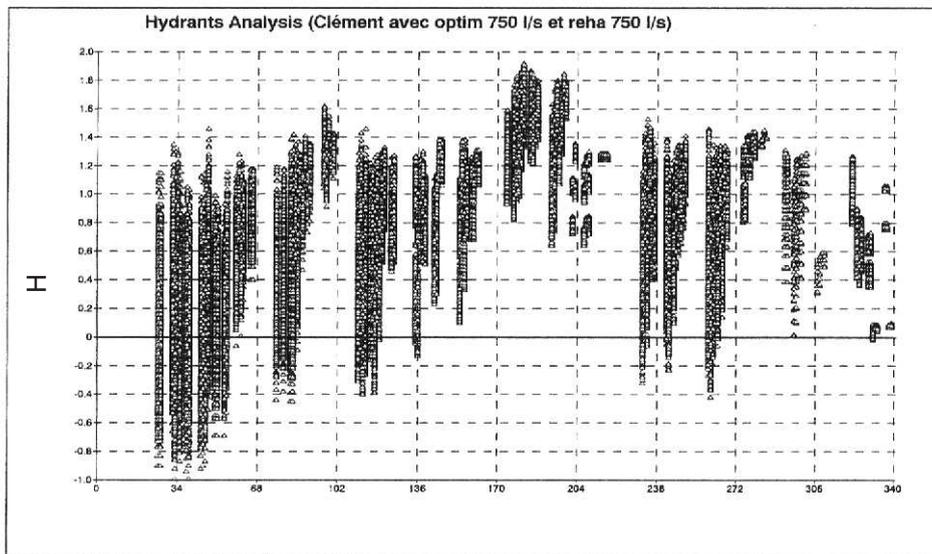


Fig.8. Déficit relatif de pression (H) avec $Q_{opt}=750$ l/s et $Q_{clément} =750$ l/s

3. Représentation de la solution proposée sous SIG-arcview

Les résultats seront classifiés selon des critères de déficit relatif de pression et de fiabilité

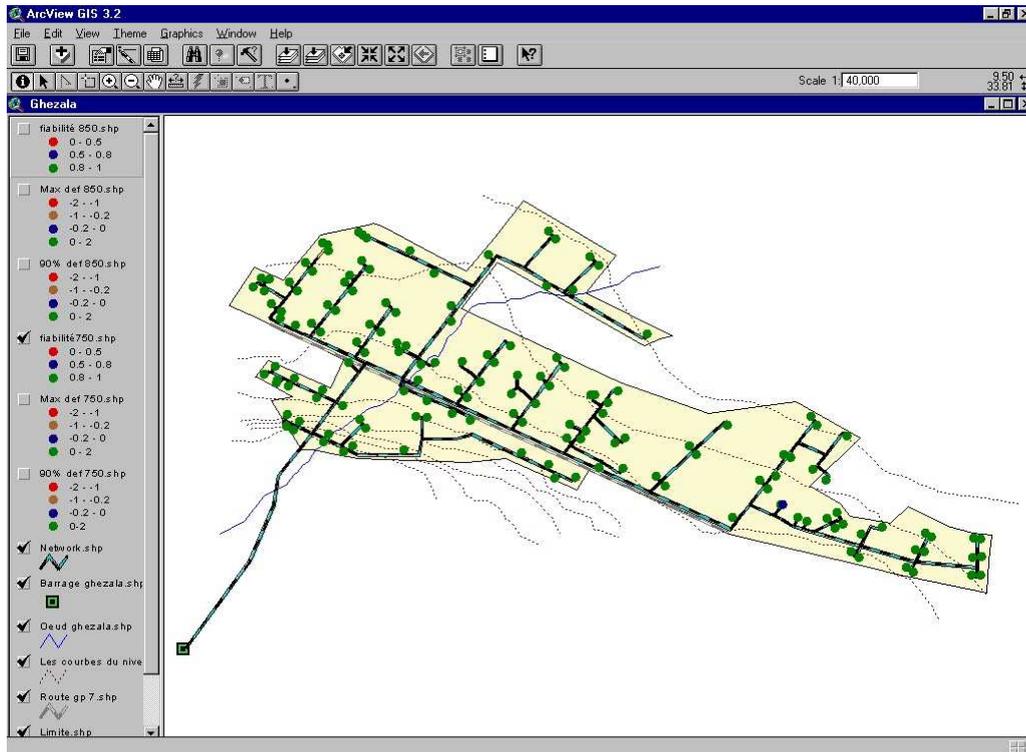


Figure 9. Représentation de la fiabilité sous SIG-arcview de la solution S1 (Q=750 l/s).

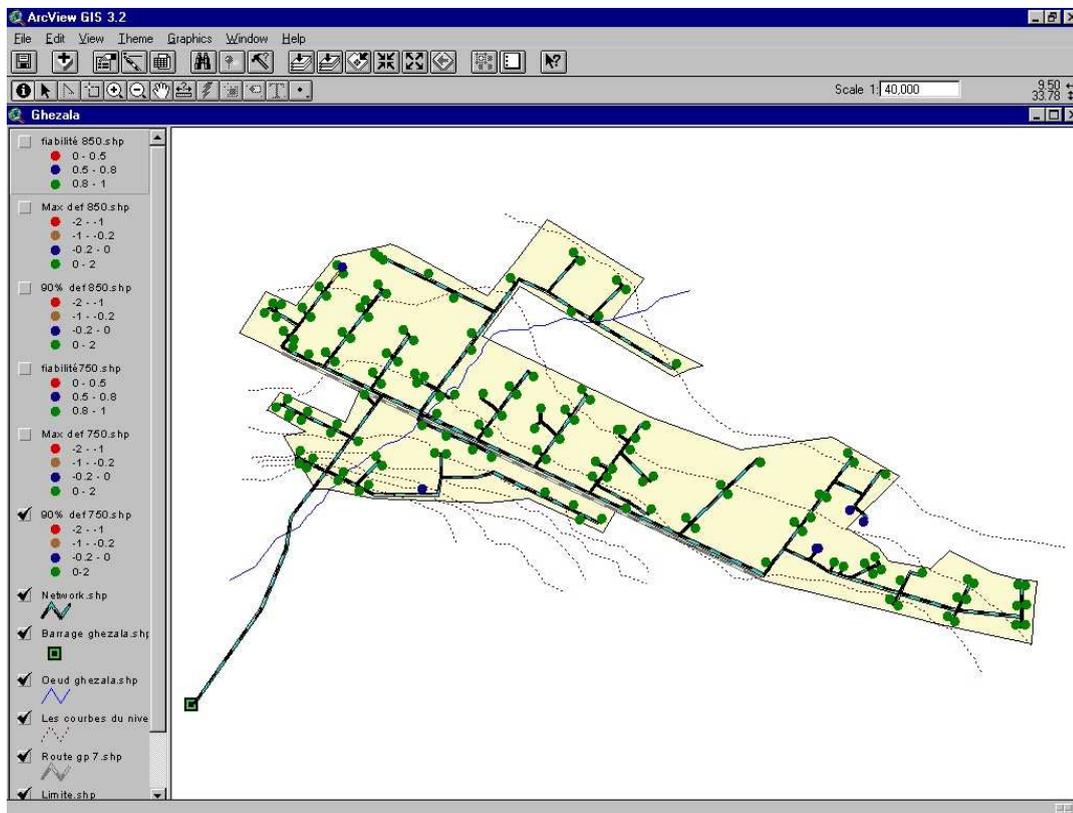


Fig. 10. Représentation de 90% de probabilité de non-dépassement de déficit sous SIG-arcview de la solution S1 (Q=750 l/s).

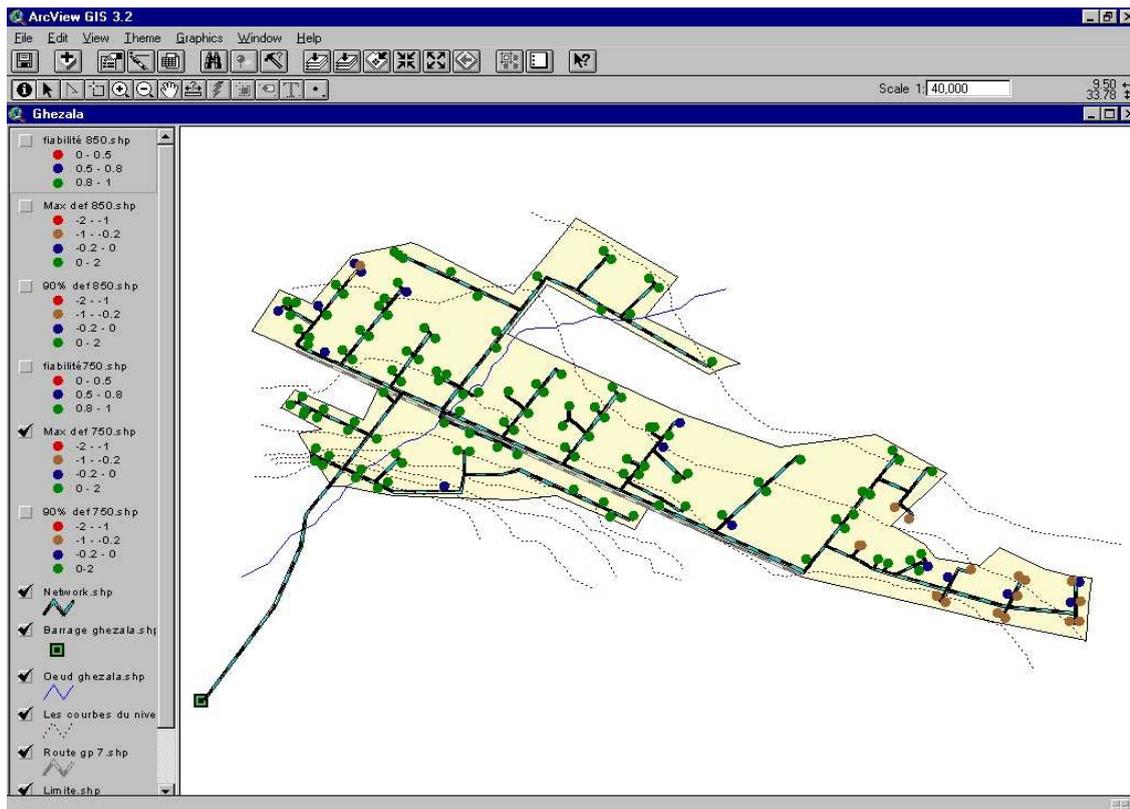


Fig. 11. Représentation de max déficit sous SIG-arcview de la solution S1(Q=750 l/s).

2. Gestion du risque et optimisation stochastique des règles de gestion d'un barrage : cas de barrage Ghézala

La gestion optimale du réservoir barrage de Ghézala, consiste à établir les lâchures optimales en vue de satisfaire au mieux les besoins d'irrigation, **selon un service hydraulique pré-établi (cf. première partie)**, en fonction des observations du stock d'eau à un instant donné, la prévision des apports et la demande en eau affichée.

2.1- Algorithme de résolution

La procédure d'optimisation par P.D.S nécessite la discrétisation des variables d'états et leur représentation par un nombre fini des valeurs caractéristiques. Les variables stock et apport sont les plus utilisées en matière des ressources hydrauliques comme variables d'états.

2.2- Discrétisation des stocks et d'apports

L'ensemble des stocks de la retenue est rendu discret par la théorie des réservoirs de Moran qui consiste à subdiviser l'état du réservoir en n classes égales. Le nombre de discrétisation n n'est pas évident à choisir. Plus il est grand, meilleure sera la gestion. Cependant le nombre de cas à traiter par l'algorithme augmente très vite et il faut tenir compte des limites de puissance de calcul disponible. D'autre part, c'est la demande qui régleme la discrétisation. Les lâchures d'eau déduites de la règle de gestion suivent l'unité de discrétisation. Il faut donc éviter les incohérences du type "le barrage est discrétisé en 100 niveaux de 80000 m^3 tandis que la demande décadaire n'est que de 40000 m^3 ".

Dans le cas de l'étude, c'est la limitation de la demande qui nous fera choisir la classe de discrétisation. En effet, une gestion au pas de temps décadaire entraîne de faibles demandes par décades. Le barrage est discrétisé en 110 niveaux de manière à avoir des classes de 80000 m^3 les lâchés seront donc des multiples de 80000 . Comment satisfaire les demandes décadaires entre octobre et mars, où les demandes sont inférieures à 40000 m^3 sans gaspiller trop d'eau? Une discrétisation par 40000 m^3 semble plus adaptée. Quant aux apports, le découpage en classes ne peut se faire que de

façon arbitraire tout en veillant à ne pas dénaturer le profil des chroniques par un découpage très grossier. Afin de faciliter la procédure d'optimisation, les apports seront discrétisés de la même manière que les stocks.

2.3- Détermination de la distribution de probabilités des apports

Etant donné que les apports sont établis d'après des réalisations historiques reconstituées, en plus les apports des périodes de retour supérieures à la période d'étude (15 ans) ne sont pas pris en compte (événements supposés exceptionnels), nous supposons en dehors d'un ajustement statistique de la série, que la probabilité d'apports n'est autre que la fréquence empirique d'apparition des réalisations observées appartenant à une classe déterminée (ce travail devra être corrigé selon les résultats des hydrologues). Cette méthode appliquée à chaque classe d'apports par décennie, permet de construire une matrice de dimension (nombre d'années-décades) contenant les probabilités d'apparition (matrice (Stock - Apports - Probabilité)).

Remarque: on peut parler de probabilité d'occurrence ou d'apparition car l'indépendance des apports est justifiée d'une décennie à l'autre.

2.4- Détermination des sorties : lâchures, besoins et évaporation

L'unité des lâchures d'eau correspond à l'unité de discrétisation (40000m³). L'erreur due à la grossièreté de la discrétisation est inévitable. En outre, pour améliorer la règle de gestion, une lâchure maximale décadaire en concordance avec les objectifs, peut être imposée. Cette hypothèse dans l'algorithme d'optimisation permet de rejeter les règles entraînant une vidange très rapide du barrage. Si l'on fait abstraction de cette contrainte, la gestion n'est plus dans une logique de pénurie d'eau mais une gestion en mode normal. En effet, quelle logique y aurait-il à lâcher plus de 10% du réservoir (890000 m³) sachant que la demande décadaire maximale est de 406 617m³. Ainsi, pour répondre à une gestion annuelle sous un climat semi-aride, les lâchures décadaires seront limités à 440000 m³ (11 unités de 40000 m³), presque égal à la demande maximale décadaire.

Les évaporations décadaires sont liées au volume de la retenue par la relation

$$V_{ev} = a(V) + b$$

Avec: a et b sont deux coefficients décadaires;

V= volume de la retenue tel que V=0 se trouve à la hauteur du radier

2.5- objectifs de gestion

Un des objectifs principaux est bien entendu d'optimiser la satisfaction de la demande. En contre partie, il est intéressant de garder le niveau d'eau proche d'un niveau de consigne, permettant de ne pas vider le barrage et de pouvoir assurer une irrigation pour le pas de temps suivant, en espérant un apport d'eau futur probable.

De plus, même en gestion annuelle, il est intéressant de ne pas finir sa période de gestion sur un stock inférieur à un minimum garantissant un volume d'eau initial pour la période suivante (semis d'automne). Pour répondre à l'ensemble de ces attentes, nous allons emprunter le critère d'optimisation suivant, avec C^t comme fonction objective:

$$C(t) = \sum_j^M P_j \left[\frac{V_{t+1} - V_{consigne}}{V_{max}} \right]^2 + \sum_t \frac{L_t - D_t}{D_{max}}^2$$

Où :

V^{t+1} : volume du réservoir au temps t+1 ;

P_j : probabilité d'apparition de l'apport j ;

L : volume d'eau lâché à l'aval du barrage ;

D : besoin en eau ou demande en eau par le périmètre ;

: facteur de pondération donnant un poids aux deux termes de l'expression "critère".

V_{consigne} est un niveau du réservoir minimal jugé rassurant pour pouvoir démarrer la gestion du stock en plus. Au-dessus de ce niveau, on considère qu'il y a suffisamment d'eau et que l'on peut lâcher de l'eau pour l'irrigation. En dessous, il est préférable de demeurer prudent, quitte à ne satisfaire qu'une partie de la demande pour rester proche de ce niveau. Ce stock immobilise l'eau dans la retenue pour les pas de temps suivants mais il permet d'éviter une pénurie due à des événements de sécheresse exceptionnels qui peuvent être pris en compte dans l'aléa hydrologique.

Ce niveau de consigne peut faire l'objet d'une étude de sensibilité de la règle de gestion. L'apport médian annuel étant égal à 5 % de la capacité de la retenue, le barrage se remplit et se vide en une année. On le définit à 50 % de la médiane des apports annuels, soit 240000 m³ (6 niveaux de discrétisation).

2.6- Evolution décision-hasard et calcul des coûts de transition appliquée au barrage

Conditions initiales :

- Les apports sont associés à une probabilité d'apparition.
- Le réservoir est discrétisé en 224 niveaux (de 0 à 8900000 m³).
- La gestion se fait sur 36 décades.

Pour chaque décade, on considère tous les niveaux du barrage. Pour un niveau d'eau i , on teste tous les lâchures envisageables variant entre i et $\max(i, i-19)$ et faisant aboutir le système au niveau j . Le processus est celui de Décision-Hasard (**Décider sur la valeur de la demande et considérer les probabilités des apports, en donnant comme hypothèse que la demande est plus stable et que son écart type est faible**). La première étape est donc d'effectuer une lâchure. Pour cette décision de lâcher, on détermine:

1. le coût instantané dû à la décision de lâchure. Il est basé sur la satisfaction de la demande en eau :

$$(1 - \alpha) \left[\frac{L - D}{D_{\max}} \right]$$

Où:

- L : volume d'eau lâchée pour l'irrigation.
- D : demande en eau par le périmètre.
- α : paramètre de gestion

2. On fait évoluer le système par un apport aléatoire. Pour cela on considère tous les apports probables possibles. Pour chaque apport, le nouveau niveau d'eau dans le barrage est calculé.
3. Calcul du coût espéré: il traduit la garantie d'un stock consigne. Pour avoir une valeur unique du coût espéré qui tient compte de toutes les évolutions possibles, on associe chaque transition à son espérance mathématique. Le coût espéré sera donc la somme des espérances des évolutions possibles du système:

Avec:

- V_{t+i} : Volume du réservoir au temps $t+i$.
- V_{consigne} : 240000 m³ (6 niveaux de discrétisation).
- α : paramètre de gestion.
- P_j : probabilité d'apparition de l'apport j .

Ainsi, au coût espéré associé au stock consigne, il faut ajouter l'espérance du coût de la transition précédente (correspondant à une transition ultérieure dans le temps).

$$\sum_{j=1}^n P_j \frac{f_{vj}}{A_{pj}} \quad t = 1, T$$

le coût optimal de transition est alors déterminé par :

$$C_{\text{opt}} = \text{Min}_{(\text{sur l'ensemble des décisions})} \{ \text{Coût instantané} + \text{coût espéré consigne} + \text{coût espéré ultérieur} \}.$$

Le lâcher optimal sera alors le lâcher correspondant à la transition qui aura le coût optimal. Cette boucle est répétée pour chaque niveau du barrage et pour chaque pas de temps. Le résultat de l'optimisation est un couple (lâchure-coût) optimum pour chaque niveau du réservoir et pour chaque pas de temps.

2.7- Présentation des termes du bilan

Sur un intervalle de temps donné, l'équation générale du bilan hydrique d'une retenue découle de l'application du principe de la conservation des volumes d'eau. Elle peut s'écrire :

$$V = (V_r + V_{ecs} + V_p) (V_{ev} + V_d + V_{infi} + V_u)$$

avec:

V : La variation du stock.

V_p : sont les apports dus aux précipitations directes sur la retenue. Ils se déduisent des enregistrements pluviographiques et la courbe hauteur/surface de la retenue.

V_{ev} : correspondant à l'évaporation. Elle est estimée d'après les mesures journalières et la surface moyenne du même jour. L'évaporation est forte dans toute la zone semi-aride tunisienne. Le passage entre l'évaporation du bac et l'évaporation de la retenue reste délicate.

En effet le bac surestime l'évaporation du barrage en étant soumis à une demande climatique plus importante (effet oasis). Le coefficient de passage choisi Arbitrairement est "0,80 ". On le considère constant malgré sa corrélation avec la surface de la retenue, le vent, la température ... etc.

V_d : Déversement.

V_{vi} : vidange. Connues d'après les côtes lues avant et après la manœuvre.

V_u : eau prélevée directement. Elles se déduisent du temps de pompage par les agriculteurs.

V_r : apports ruissellement des versants.

V_{infi} : volume infiltré. Il est du à la charge hydraulique de la retenue, et est donc fonction du volume stocké.

Vecs: apports par écoulement souterrain. C'est un terme difficile à déterminer.

2.8- Critique du bilan journalier

Plus le pas de temps est petit, plus les valeurs entrant en considération sont faibles. Si ces valeurs sont des valeurs mesurées, alors il faut que les appareils de mesures soit précis. Par exemple, l'évaporation est difficilement appréciable à l'échelle journalière: la mesure et la précision sont du même ordre (mm). En augmentant le pas de temps d'étude, les erreurs sur chaque terme se compensent: la mesure est de l'ordre de dizaine de mm tant dis que l'erreur reste de quelques mm. Parallèlement, d'un point de vue agronomique le manque d'eau se ressent sur la plante au bout d'une semaine (bien entendu il s'agit d'une moyenne, il existe différentes phases de sensibilité variant selon le stade végétatif de la plante).

Ainsi, un pas de temps décadaire semble répondre à la fois à une modélisation correcte du fonctionnement de la retenue et à une analyse cohérente des défaillances de fourniture en eau au périmètre irrigué.

2.9- Gestion des risques par simulation

L'optimisation précédente permet d'établir les lâchures les moins pénalisants par rapport à un critère choisi. Ce dernier dépend d'un paramètre de gestion alpha. Même si la règle de gestion est optimale, le stock d'eau peut rentrer dans un état de défaillance. Selon la valeur d'alpha, le système entre plus ou moins souvent dans des états de défaillances et avec des amplitudes différentes. L'idée est donc de calculer la règle de gestion optimisée pour plusieurs valeurs d'alpha, définir les incidents possibles au niveau de la retenue, puis étudier ces incidents en fonction du paramètre alpha par une simulation du fonctionnement du barrage. Les incidents pourront être quantifiés à l'aide de performance préalablement définis.

2.10- Incidents et indices de performance

2.10.1- Les événements dommageables

Trois types d'incidents peuvent être envisagés :

- La défaillance du stock : l'eau atteint un niveau inférieur alarmant: le radier d'irrigation (il ne reste que la tranche morte de la retenue).
- La déverse : l'eau se trouve au niveau du réservoir.
- La non satisfaction de la demande : les lâchures d'eau n'arrivent pas à satisfaire les demandes.

Ainsi les deux premiers indices sont décrits par des comparaisons à des niveaux de consignes (radier d'irrigation et déversoir) tant dis que le dernier est une comparaison à la demande réelle affichée.

2.10.2- Quantification des événements dommageables

Un événement ne peut pas être décrit à l'aide d'un seul paramètre. Par analogie à la description des précipitations, les incidents vont être décrits selon trois indices de performance caractérisant l'intensité, la durée et la fréquence du phénomène.

- **Le risque** (fréquence) : correspond à la probabilité d'avoir une défaillance, une déversé ou une demande non satisfaite.
- **La vulnérabilité** (intensité) : correspond au volume perdu ou manquant à l'origine de l'incident.
- **La résilience** (durée) : temps moyen entre l'entrée du système dans un état dommageable et son retour à un état satisfaisant.

2.10.3- Quantification de la défaillance du stock et de la déversé

La figure ci après illustre une défaillance et une déversé. Ces deux incidents pourront être caractérisés par leur vulnérabilité (V) et leur résilience (T).

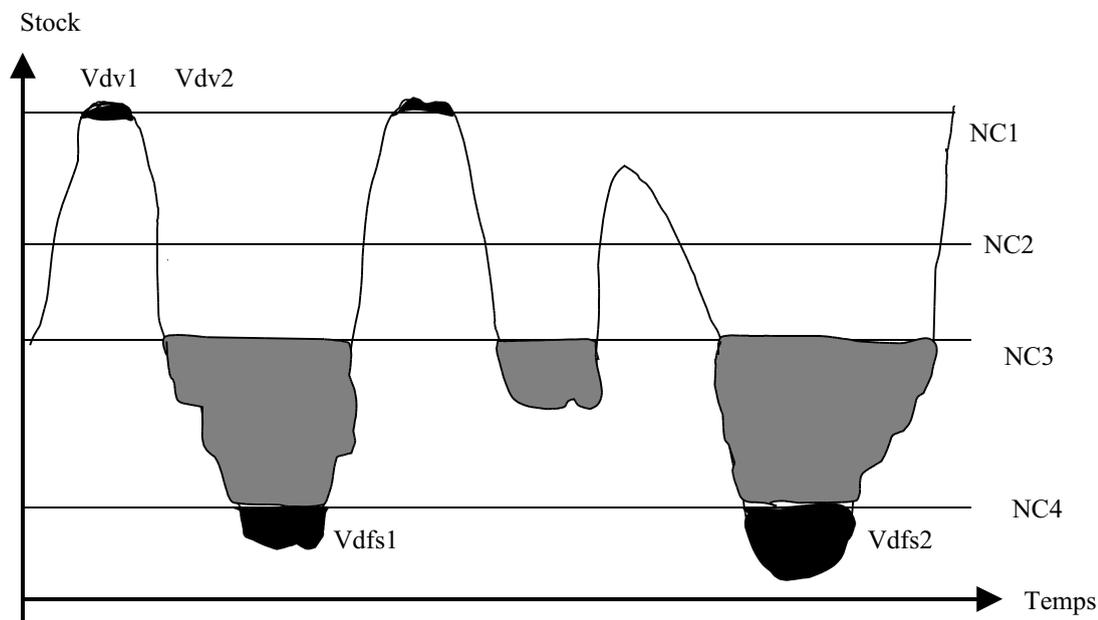


Fig. 12. niveau de satisfaction du stock en fonction du temps.

Nc4 : Niveau de consigne au-delà duquel il y a un incident.

Nc2 : Niveau de consigne jugé satisfaisant par rapport à un incident.

Nc3 : représente des niveaux du réservoir jugé satisfaisant, permettant d'éviter des incidents. Ils servent à définir la résilience de chaque événement dommageable. Ainsi on fixe:

Nc2 déverse = NC1 déverse - apport maximal des valeurs médianes (correspond à l'apport des décades de mars) = $8900000 - 33866 = 88661336$

Nc2 défaillance = NC1 défaillance + demande lors de la campagne de pointe (juin-août) ; (dépend du scénario de la demande) = 3442004 m^3

- NC1 déverse : NCdvriss : 8900000 m^3
- NC2 déverse : Ncdvres : 8866133 m^3
- Sconsigne : 240000 m^3
- NC2 défaillance: Ncdfres : 3442000 m^3
- NC1 défaillance: NCdfris : 0 m^3

Ces deux indices de performances ne permettent pas de juger de la répétition des incidents, c'est pourquoi la notion de risque (temps au-delà d'un niveau NC1/temps de simulation) est introduite.

2.10.4- Quantification de la demande non satisfaite

Elle ne se fait plus par rapport à des niveaux de consigne, mais par rapport à la demande réelle. On définit un taux de non-satisfaction de la demande (fourniture < 60% de la demande) en dessous duquel on considère le système en incidence. Nous pouvons justifier cette hypothèse de non-satisfaction par les observations faites sur le terrain. En effet, même si l'eau est disponible, les agriculteurs ont tendance à moins irriguer par rapport aux besoins en eau des plantes. Ainsi, une valeur assez faible de ce taux a été prise.

Risque de non-satisfaction = (temps lorsque (demande/fourniture) < 0,6) / (temps de simulation).

Vulnérabilité de non-satisfaction = moyenne des volumes d'eau annuels qui n'ont pas satisfait la demande.

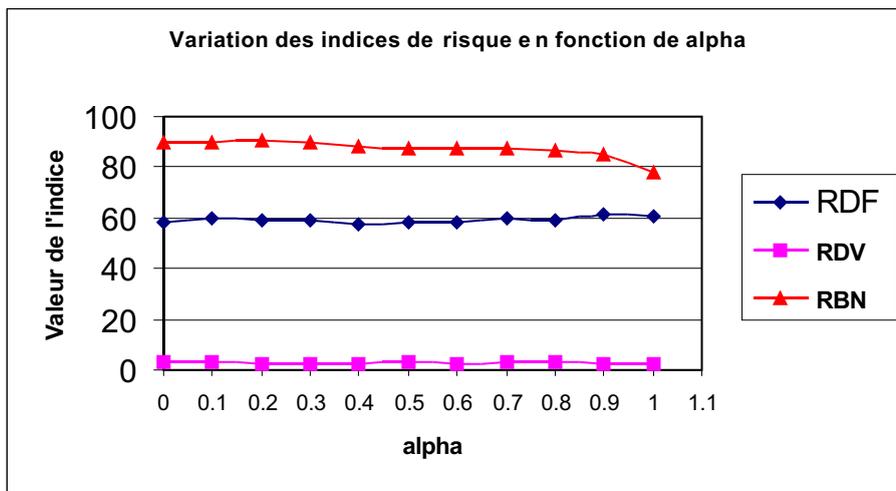


Fig. 13. Variation des indices de risque en fonction d'alpha.

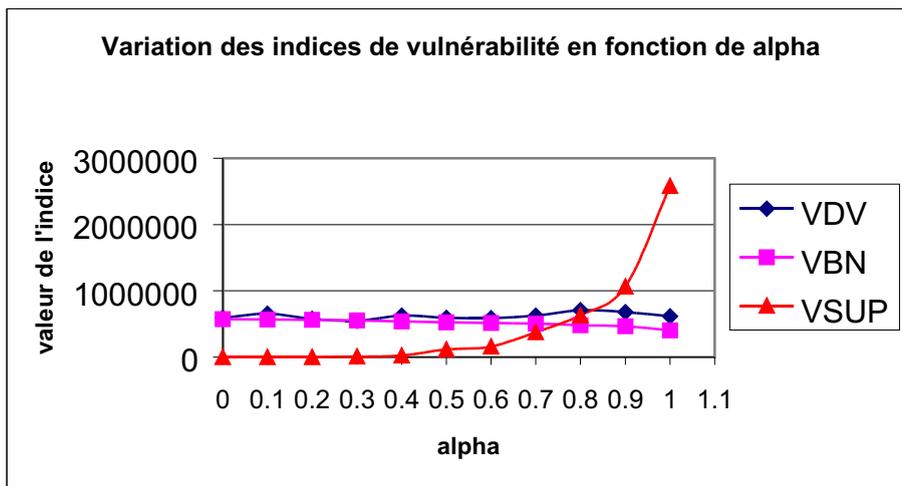


Fig. 14. Variation des indices de vulnérabilité en fonction d'alpha.

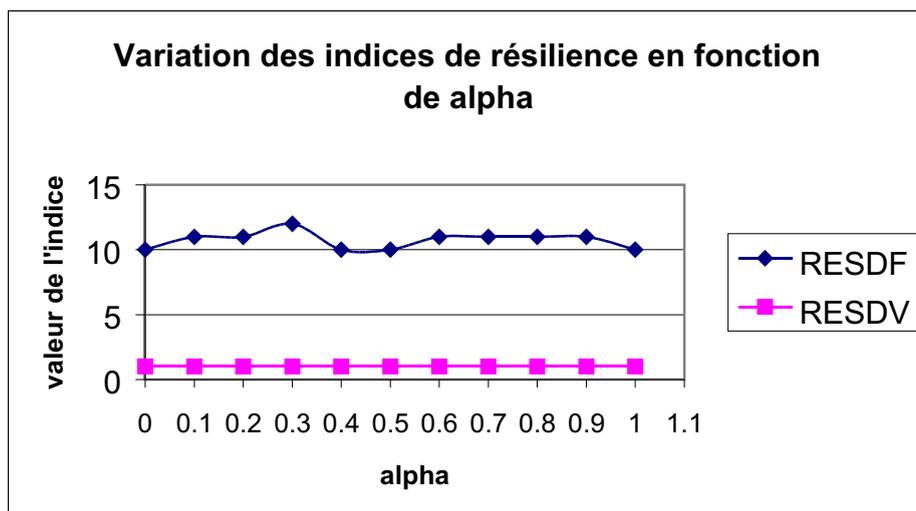


Fig. 15. Variation des indices de résilience en fonction d'alpha.

Dans le cas de la satisfaction de la demande c'est à dire pour des petites valeurs d'alpha, les défaillances sont rares. Donc avec un faible pénalité, le réservoir a tendance à être rempli et son niveau d'eau évolue lentement.

On rappelle que RBN est le risque que la fourniture soit inférieure à 60 % de la demande (hypothèse de non-satisfaction de la demande). Ce risque est supérieur à ce pourcentage pour toutes les valeurs d'alpha (de 77.92 % à 90.04%) ce qui est trop élevé. Donc on peut donner une valeur de 27% à RBN tout en notant que cet indice ne va pas être pris en considération lors du choix.

La figure 14 montre qu'un seuil de 565987 m³ de la vulnérabilité, rejette les règles non satisfaisantes. Le risque maximal de déverse (2.96 % pour alpha =0.1) est faible, donc on accepte la déverse de la règle la plus pénalisante (655827 m³) qui correspondrait à un seul écrêtement de crue. Pour rester dans des objectifs de gestion en pénurie d'eau, l'eau lâchée ne servant pas à l'agriculture sera limitée à 10% de l'apport médian annuel (445000 m³), soit VSUP = 44000 m³.

Le tableau suivant nous donne une idée sur les indices qui sont à l'origine du choix de la règle optimale de gestion.

Tableau 4 - Indices de performance normalisés.

alpha	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
RDF	0.98	1.01	0.99	1	0.97	0.98	0.98	1.01	0.99	1.03	1.02
RDV	0.94	1	0.83	0.82	0.91	0.92	0.84	0.97	0.99	0.91	0.88
RBN	3.3	3.3	3.3	3.3	3.24	3.21	3.22	3.19	3.17	3.10	2.86
VDV	0.9	1	0.88	0.84	0.96	0.9	0.89	0.95	1.07	1.04	0.94
VBN	1.01	1	0.99	0.98	0.95	0.93	0.91	0.89	0.85	0.82	0.72
Vsup	0	0	0	0.25	0.59	2.65	3.61	8.52	14.31	24.17	58.61
RESDF	0.9	1	1	1.09	0.91	0.9	1	1	1	1	0.91
RESDV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Il est à noter que le choix des limites d'acceptabilité d'une règle à partir de ses indices de performance permet d'en tirer les règles optimisées acceptables ou réalisables. Elles ont été choisies de façon plus ou moins arbitraire à cause du manque de données.

Elles doivent obéir à des considérations agronomiques, hydrauliques ou socio-économique. Ces limites sont les véritables contraintes de gestion. Les indices sont ensuite normalisés entre 0 et 1 pour simplifier l'interprétation.

La règle sera rejetée, lorsqu'elle a un indice normalisé au-delà de 1 pour chaque valeur des indices déjà cités.

Donc d'après les valeurs de ces indices on peut déduire que la règle alpha égale à 0.2 est la règle optimale.

RDF rejette les règles pour alpha 0.1 ; 0.7 ; 0.9 et 1

RDV ne rejette aucune règle

VDV rejette la règle pour alpha 0.8 et 0.9

VBN rejette les règles pour alpha 0 et 0.1

VSUP rejette les règles pour alpha 0.5 à 1

RESDF rejette les règles pour alpha 0.3

La règle optimisée donc acceptable par rapport aux seuils imposé est alpha=0,2

3. Les aménagements et la gestion participative des réseaux collectifs sous pression

3.1- Premier Cas : Nouveau périmètre public irrigué (PPI) de Nefza dans le gouvernorat de Béja

C'est dans le cadre du projet WASIA et pour ce nouveau périmètre irrigué, qu'une introduction des systèmes d'irrigation localisée est faite sur l'arboriculture, sur sol léger. Il s'agit d'une action qui, dans l'avenir, devra être poursuivie pour évaluer le degré d'efficience du système mis en place.

Le périmètre irrigué de Nefza a une superficie de 2461 ha, répartie en quatre zones, Bouzenna sur une superficie de 1086 ha, Jmila sur une superficie 375 ha, Touila sur une superficie de 470 ha et Ouechtata sur une superficie de 530 ha.

Le projet concernant ce périmètre a commencé au mois mai 2000, à ce stade il est arrivé à un taux de réalisation de 70 %. Le périmètre va entrer en phase de production agricole au début de 2003. Le projet prévoit la construction d'une station de pompage, de deux réservoirs de régulation, et un réseau d'irrigation sur une longueur de 30 Km, il va bénéficier environ 600 agriculteurs.

3.1.1- Présentation de la région de Nefza

La région de Nefza, se situe au Nord ouest de la Tunisie dans le gouvernorat de Béja faisant partie de l'atlas Télien (Afrique du Nord). La superficie du périmètre est de 2260 ha, la zone du projet se situe dans l'étage bioclimatique humide de type méditerranée tempéré à hiver pluvieux et humide et un été sec et chaud. La pluviométrie dans la région se caractérise par une irrégularité inter-annuelle et saisonnière avec une moyenne annuelle sur 50 ans est de 906 mm. Le barrage de Sidi Barrak a une capacité utile 264 millions de m³ et un volume régularise de 188 millions de m³. La qualité de l'eau est bonne (moins de 1 g/l comme résidu sec), avec un pH varie de 7.4 à 8.6.

a- Système d'irrigation

Le mode d'irrigation choisie, pour la mise en valeur des périmètres publics irrigués de Nefza est un système mixte à base d'aspersion mais qui s'adapte à l'irrigation au goutte à goutte. Ainsi les cultures céréalières, fourragères et maraîchères sont irrigués par aspersion alors que les cultures arboricoles sont prévues irriguées au goutte à goutte.

b- Les infrastructure dans les différents périmètres :

o Périmètre de Bouzenna et jmila

Un ouvrage de piquage sur la conduite des eaux du barrage Sidi El Barrak au barrage sejnane.

Un réservoir de régulation.

Un réseau d'adduction

Un réseau de distribution

- o Périmètre de Touila Ouechtata
 - Station de pompage
 - Réservoir de régulation
 - Réseau d'adduction
 - Réseau distribution

3.1.2- La synthèse des résultats produits

La création des PPI a permis d'améliorer la production agricole à l'échelle nationale et régionale dont les modes d'accès à la terre sont un peu différents de ceux sec. Cette particularité se traduit par le choix des cultures à installer au niveau de la parcelle, tout en prenant en considération les facteurs terres, l'eau et la localisation par rapport aux marchés. Dans le cas de PPI de Nefza, est-ce qu'on a tenu compte de ces facteurs lors de l'élaboration du projet ?

- o Quant au mode de gestion de la demande en eau est ce que le périmètre de Nefza, va subir une gestion de type dirigiste (la gestion du périmètre est attribuée au CRDA) ou une gestion participative dont les irriguants participent à la gestion de l'eau (groupe à intérêt collectif GIC) ?
- o Pour assurer une utilisation rationnelle et plus économique de l'eau quelle sera la tarification appliquée à l'eau ? : une tarification en vigueur ou une tarification binôme(basée sur une formule qui tient compte de la superficie en irriguée).
- o Au niveau du PPI de Nefza il y a des terres qui ont été perdues suite aux aménagements hydraulique (Barrage de Sidi El Barrak) quel serait l'impact de ces mutations sur le système de production ? Est-ce que les agriculteurs vont faire recours à un système de production très intensif (augmenter le taux d'utilisation du sol) dans le but de récupérer ces terres perdues?
- o Quels sont les principaux objectifs des exploitants et quel serait le système de production à choisir par les agriculteurs pour atteindre leurs objectifs ?
- o Quel serait la relation entre le système de production et les choix des activités agricoles au niveau PPI de Nefza ?
- o Quel sera le comportement des exploitants vis a vis de la gestion de leur exploitation dans ces nouvelles conditions (introduction de l'agriculture en irriguée) ?
- o D'après l'analyse de l'enquête on a remarqué la dominance des exploitations de petite taille (50.3% des exploitations ont une superficie inférieure à 2 ha) cette taille aura-elle des répercussions sur le développement du secteur agricole ?
D'un autre côté, on remarque que la plupart des exploitations enquêtés ont une superficie utile hors périmètre (en sec) supérieure à celle trouvée dans le périmètre. Quelle serait l'influence de cette superficie sur l'avenir du périmètre ? Et est ce que ses exploitations ont intérêt à exploiter dans ou hors périmètre ?

3.2- Second cas : Analyse de la gestion participative de l'eau dans un réseau collectif sous pression géré par une association d'agriculteurs Cas de périmètre Bir Ben Kamla

La présente contribution dans le projet WASIA concerne en première partie l'analyse du fonctionnement hydraulique et de la gestion de l'eau dans un réseau collectif sous pression, géré et administré par une association d'agriculteurs en Tunisie (GIC : groupement d'intérêt collectifs).

Le cas d'étude concerne le GIC de "Bir Ben Kamla", situé dans le Sahel Tunisien. Il exploite un périmètre de 124 hectares avec une vocation arboricole et maraîchère et compte 76 agriculteurs présents sur le périmètre. Le périmètre a été crée en 1970 et géré par l'administration jusqu'en 1994, date de la passation des pouvoirs de l'administration vers l'association d'agriculteurs. Le nombre d'adhérents du GIC Bir Ben Kamla est en évolution constante. D'après les fiches de consommation journalière de l'eau des campagnes 1998-1999, 1999-2000 et 2000-2001 du GIC, le nombre des agriculteurs et des adhérents a évolué de la façon suivante (graphique n°1).

3.2.1- Performances et contraintes de la gestion hydraulique

La ressource en eau du périmètre irrigué provient d'un forage situé sur le même périmètre et qui débite 50l/s. Les analyses de l'eau effectuées montrent un résidu sec supérieur à 3g/l. L'eau disponible à la parcelle nécessite une utilisation délicate et une surveillance des effets néfastes dus à un mauvais lessivage et à une augmentation de la salinisation du sol.

3.2.1.1-Le réseau hydraulique

La distribution de l'eau se fait par refoulement du forage vers un ouvrage partiteur placé en tête du périmètre et permet le partage du débit entre deux secteurs, ainsi qu'une pression de 3 m au moins à l'entrée des parcelles. Ces dernières sont en passe d'être équipées totalement en bassins de stockage, en béton, de 40 à 100 m³ de capacité. Le réseau a été évalué selon plusieurs critères :

- les pertes en eau qu'il occasionne ;
- l'adaptation des conduites qui le constituent au fonctionnement exigé du réseau ;
- la satisfaction de la demande à chaque borne, en termes de pression et débit pour quelques parcelles encore dépourvues de bassins de stockage et en terme de volume pour la majorité des parcelles équipées de bassins.

D'après les bilans financiers de l'association, on peut disposer des volumes pompés (mesurés par un compteur à la sortie de la station de pompage) et des volumes vendus. Puisque les bornes remplissent des bassins chez la grande majorité des exploitants, les volumes vendus par l'association évaluent assez précisément les quantités fournies à l'ensemble des bornes. On dispose ainsi des volumes entrés et sortis dans le réseau ainsi que des pertes globales, assimilées en même temps à un manque à gagner de l'association :

Tableau 4. Pertes en eau globales dans le réseau

Année	1998	1999	2000
Volume pompé (m ³)	280732	249659	316956
Volume vendu (m ³)	273633	244470	311969
Pertes globales ou manque à gagner	2.53%	2.08%	1.57%

L'évaluation des pertes en eau globales montre une bonne efficacité de ce dernier. Néanmoins, l'évaluation des pertes aurait pu être affinée par une mesure des pertes partielles des différents tronçons du réseau, ce qui aurait permis de connaître l'état de ce dernier tronçon par tronçon et de séparer ce qui peut être un manque à gagner et ce qui peut être des pertes réelles de quantités d'eau.

3.2.1.2- la gestion de l'eau au niveau du GIC

Le réseau d'irrigation fonctionne au tour d'eau et une durée d'arrosage est impartie à chaque borne en fonction de la surface qu'elle dessert. Toutefois, actuellement et suite au développement des bassins individuels à l'entrée des parcelles, il y'a eu plusieurs avantages qui ont amélioré la gestion hydraulique :

- assouplissement du tour d'eau : les bassins sont remplis tour à tour mais les exploitants gèrent les volumes disponibles comme ils le souhaitent. Le mode de gestion de l'eau est passé de la disponibilité d'un service (débit, pression, temps) à un service de volume ;
- les volumes consommés sont connus assez précisément, à la différence de la gestion d'un débit au tour d'eau. La maîtrise des volumes a eu pour conséquence une considérable économie d'eau ;
- les volumes connus règlent les conflits habituels entre les exploitants et le gestionnaire de l'eau. La responsabilité d'un service défaillant est précisée et localisée. Le volume qui sort du forage est connu et le volume de remplissage du bassin aussi. Il est dès lors possible à l'agriculteur de séparer ce qu'il paye comme volume disponible dans le bassin, à l'entrée de la parcelle et sa contribution dans la facture, aux différentes pertes d'eau qui s'opèrent entre le forage et son bassin individuel. C'est une comptabilité analytique de la desserte de l'eau, depuis sa production jusqu'à son usage ;

la gestion des volumes d'eau à travers les bassins individuels ont eu un fort impact psychologique de la ré-appropriation de l'eau chez les exploitants ; de même, le système hydraulique à l'intérieur de la parcelle a été amélioré, par l'adoption de l'irrigation localisée, tout en veillant sur la durabilité du système (suivi et surveillance de la salinisation des sols). Ces techniques visent principalement une meilleure économie d'eau et un allègement du travail, par l'automatisation des tâches d'arrosage et de fertilisation.

3.2.1.3- Indicateurs de l'évolution du périmètre irrigué

3.2.1.3.1- taux d'exploitation

C'est le rapport entre superficie cultivée (en sec et irriguée) et superficie totale. Ce taux traduit le stade du développement du périmètre et le dynamisme des exploitants. Le tableau 4 ci-dessous montre que le taux d'exploitation atteint 100% en 1998/99, c'est à dire que le périmètre a atteint sa maturité complète. La baisse enregistrée en 2000/2001 est due à la stagnation des superficies maraîchères et à la récession qui concerne les grandes cultures en année sèche.

3.2.1.3.2- taux d'utilisation de l'irrigation

Correspond au rapport de la superficie couverte par des cultures irriguées et de la superficie totale. Ce taux indique la part du périmètre qui est effectivement exploitée en irrigué. Lors de l'étude du périmètre, ce taux d'utilisation est prévu égal à 100%. Or, ce taux d'utilisation de l'irrigation reste faible puisque la pratique de l'irrigation concerne seulement la moitié de la superficie équipée (cf. tab 4). Ce taux met en évidence une forte contrainte structurelle puisqu'il n'évolue pas dans le temps. La cause est la forte salinité de l'eau d'irrigation, qui impose de pratiquer une rotation de cultures, où la superficie irriguée pour cette année doit être laissée sous l'influence des pluies l'année suivante, en vue d'un lessivage des sels accumulés.

3.2.1.3.4- taux d'intensification

Il prend en compte la totalité des cultures irriguées, et montre la maîtrise des exploitants du calendrier cultural, du pilotage de l'irrigation, en conformité avec les soucis du marché. Le taux d'intensification a atteint une bonne valeur de 173% lors de la campagne 1999/2000.

Tableau 5. Indicateurs d'évolution du périmètre

Compagne	Taux d'exploitation	Taux d'utilisation	Taux d'intensification
1997/1998	97,2	45,9	131,8
1998/1999	100	45,9	135,9
1999/2000	100	50,7	172,9
2000/2001	89,5	56,5	136,4

Conclusion

La passation progressive des pouvoirs de gestion et d'exploitation de la ressource en eau et des réseaux hydrauliques aux associations d'agriculteurs, est étudiée en partie, à travers les performances hydrauliques des périmètres irrigués, les indicateurs d'évolution de ce dernier et l'analyse du budget de l'association et du coût de l'eau. L'étude de cas et les enquêtes ont été réalisées à partir de l'association d'agriculteurs de Bir Ben Kemla (Mahdia) en Tunisie.

Il apparaît que le passage à la gestion des volumes au lieu d'un tour d'eau au débit, en installant des bassins individuels à l'entrée des parcelles, a amélioré la gestion du système (règlement de conflits, comptabilisation des volumes délivrés) et a apporté à l'agriculteur, une plus grande liberté de gestion et un sentiment de ré-appropriation de l'eau. De ce fait, les indicateurs d'exploitation, d'utilisation de l'irrigation et d'intensification cultural ont atteint de bonnes valeurs et dénotent d'une maîtrise de la gestion du système hydro-agricole.

REGIONAL ACTION PROGRAMME (RAP)-WATER RESOURCES MANAGEMENT: WATER SAVING IN IRRIGATED AGRICULTURE (WASIA PROJECT)

EXECUTIVE SUMMARY

A. Hamdy

° Director of Research, CIHEAM/MAI Bari, Italy email: hamdy@iamb.it

I. PRIORITY SETTING JUSTIFICATION AND OBJECTIVES

At the beginning of the new century, agriculture faces the challenges to produce more food for inexhaustible population growth, while maintaining almost unchanged land and water input. This challenge becomes particularly important for arid and semi-arid areas of the Mediterranean, where agricultural production is strictly related to irrigation and where, in many places, the maximum employment of resources has already achieved.

The Southern Mediterranean, comprehending the Northern African and Near East countries, is the poorest region in the world in terms of water resources, globally and per inhabitant. In many countries of the region, annual water withdrawal has reached or already exceeded total annual renewable water resources (e.g. Egypt, Libya, Palestine, Israel, Jordan, Syria, Malta, Tunisia) and further employment of resources is unrealistic from both technical, environmental and socio-economic point of view. In the region, population growth is among the greatest in the world (3% per year) and agricultural production relies heavily on irrigation: in the Northern African region, irrigated agriculture consumes in average about 85% of total annual water withdrawal (FAO, 1997), and, in some countries, water use for irrigation approaches even 90% (e.g. Egypt, Morocco, Cyprus). At the same time, average losses of water diverted to agriculture are extremely high and accounts to about 50% (FAO, 2000) due to inefficient use of water at on-farm scale, poor performance of irrigation distribution systems caused by inadequate maintenance and operation, improper irrigation and drainage infrastructures, etc.

The projections of food and water demand in the Mediterranean indicate, for the period 1990-2025, a population increase in the Southern Mediterranean countries of almost 100% with the corresponding increase of water demand of approximately 50%. Irrigated agriculture holds the key to feeding the growing population in the region since irrigated land produces two to three times more crops than rainfed agriculture. At present, the irrigated areas in the Mediterranean account for more than 16 million hectares with a growth rate stabilized, at the beginning of the nineties, to around 200,000 hectares per year. This requires an additional supply of water for agriculture by a rate of 2 km³/year. However, regardless of these specific causes, existing situation is not amenable to cope with the spiraling increases in food and water demand due to water and land shortage in the region.

Therefore, the solution should be searched not in the increase of land and water input for agricultural use but in better employment of already existing natural resources, i.e. in water saving in irrigated agriculture, and increased use of non-conventional water resources (saline and treated wastewater) which may have adverse impacts on both the environmental and public health.

In the Phase I of the RAP, great efforts had been carried out to cope the above cited problems locally and at the regional Mediterranean scale and, through the collaborative research network, these efforts have resulted in numerous publications, organizations of conferences and workshops as well as the realization of several research projects. That is the time to translate the ideas, conclusions and recommendations developed through these researches to actions on the ground in the Mediterranean region. This is what had been exactly formulated in the Research Project WASIA ("Water Saving in Irrigated Agriculture") which aims at the development of sustainable agricultural production and food security in the Mediterranean region.

The main objective of the WASIA research project is to develop a conceptual framework for **water saving in irrigated agriculture** of the Mediterranean region through the integration of the activities which represent major topics of the three Collaborative "Water Resources Management" Research Networks and aim to: