

## Allocation des ressources en eaux sous des contraintes économiques, sociales et environnementales.

### Cas du bassin de Merguellil en Tunisie centrale

Hacib El Amami<sup>(1)</sup>, Mohamed Salah Bachta<sup>(2)</sup>, Slah. Nasri<sup>(1)</sup>, Christophe Cudennec<sup>(3)</sup>

(1) INRGREF, 10 Rue Hédi Karray - Ariana - Tunisie

(2) INAT, 43 Rue Charles Nicole- Tunis, Tunisie

(3) IRD, 4 impasse Chahrazed – El Menzah IV - Tunis, Tunisie

e-mail : [amami.hacib@iresa.agrinet.tn](mailto:amami.hacib@iresa.agrinet.tn)

#### Résumé

Un aménagement anti-érosif intégré est programmé dans le bassin versant de l'Oued Merguellil en Tunisie centrale. Il comporte un ensemble cohérent de techniques qui visent la réduction de l'érosion des sols et l'amélioration du bien-être de la population locale par le captage d'une partie des eaux de ruissellement. Cet aménagement se traduira par des améliorations sur le plan environnemental et sur le plan social. Toutefois, ce dispositif risque de provoquer une forte baisse des apports d'eaux dans le barrage El Houwareb. Or la durabilité de l'exploitation de la nappe dans la plaine de Kairouan dépend largement de la recharge à partir de ce barrage, il y aura donc des conflits d'intérêt entre les différents partenaires impliqués dans ce projet. Pour résoudre les objectifs conflictuels, il faut disposer d'un cadre d'analyse appropriée et recourir à des techniques de planification multicritères qui permettent de dériver les fonctions de *Trade-off* entre les objectifs et de mesurer les coûts d'opportunité. Ainsi, nous montrons l'intérêt de la gestion intégrée des ressources naturelles dans le bassin versant. Ce cadre permet d'internaliser les externalités qui pèsent sur le système du bassin et de tenir compte des interactions entre les milieux physique, social et économique. L'utilisation d'un modèle multicritères, le modèle Target MOTAD modifiée, est intéressante pour analyser la gestion des ressources naturelles à l'échelle d'un bassin versant en prenant en compte les considérations économiques, sociales et environnementales. Cet outil sera mis à la disposition des planificateurs d'indicateurs pour concevoir des politiques d'aménagement et d'allocation des ressources en eau économiquement efficaces, socialement acceptables et conservatrices de l'environnement.

Mots clés : allocation de l'eau, modèle multicritères, bassin versant

## 1 Introduction

### 1.1 Planification et transfert d'eau

En Tunisie, la planification des ressources en eau a été fondée pendant longtemps sur le transfert des ressources en eau des bassins versants producteurs vers les points d'usage qui la

valorise. D'après la théorie économique, le transfert d'eau doit remplir certaines conditions pour être considéré comme efficace (Donnel et Howé, 1986 in Aguilera ; 1992).

La première condition exige que le transfert constitue l'option la moins coûteuse. La deuxième exige que les avantages tirés par les bénéficiaires du transfert soient supérieurs aux pertes causées dans la région d'origine. La troisième exige que ce transfert ne dégrade la situation de personne. Ces conditions répondent aux principes de l'allocation optimale des ressources dans le sens de Paréto.

Toutefois, comme le souligne Weber (1997), toute politique publique se traduit presque inévitablement par une diminution du bien-être d'un certain nombre d'individus sans qu'ils bénéficient d'une compensation. C'est le cas du bassin de l'Oued Merguellil en Tunisie, où le drainage de ses ressources s'est traduit par un faible développement économique et social et le maintien d'une agriculture pluviale extensive (Dridi, 2000).

## **1.2 Cas du bassin de l'Oued Merguellil**

### **1.2.1 Faible développement économique**

En l'absence de possibilités d'activités économiques hormis l'agriculture, une forte pression s'est exercée sur les très faibles potentialités agricoles de la région, provoquant la dégradation des versants et l'érosion généralisée dans tout le bassin qui a atteint des degrés avancés dans certains endroits.

L'érosion est responsable de la diminution de la fertilité des terres, de la chute des rendements des cultures et du revenu agricole et aboutit, à terme, à la perte du capital productif fondamental. En raison de la pollution des eaux par les sédiments, elle est aussi à l'origine du colmatage rapide des infrastructures hydrauliques en aval (barrages et canaux d'irrigation) ce qui diminue leur durée de vie et engage des coûts supplémentaires d'entretien pour la collectivité. Les mesures effectuées au barrage El Houwareb montrent que celui-ci s'envase à raison de 2,1 millions de tonnes de sédiments par an en moyenne (Raspic, 2000).

### **1.2.2 Considérer le bassin versant et distinguer deux entités ressource-usage**

Dans la perspective d'une gestion intégrée, rationnelle et plus équitable des ressources naturelles, il serait indispensable pour les planificateurs de respecter trois contraintes : la première est de garantir le meilleur usage de la ressource mobilisée ; la deuxième est d'assurer une allocation plus équitable et la troisième est de la préserver.

Beaucoup d'analystes s'accordent pour dire que le bassin versant est considéré comme le cadre approprié pour la gestion intégrée des ressources naturelles (Kerr , 2001). Cette approche permet aux planificateurs d'internaliser toutes les externalités qui pèsent sur le système et d'intégrer toutes les interactions entre les milieux physique, social et économique (Fulcher et al ; 1999). Le bassin versant est considéré comme l'échelle de gestion appropriée des ressources en eau, car toutes les sources d'eau et tous les usages à l'intérieur du bassin sont reliés.

Dans le cadre d'une gestion intégrée, le bassin de Merguellil est choisi car il réunit pratiquement tous les éléments de la problématique de l'eau en Tunisie, et celle des zones arides en général. Le bassin de Merguellil est assimilé à deux entités ressource-usage reliées (Albouchi *et al.*, 2003).

La première entité ressource-usage correspond à l'aval du bassin (35 532 ha), où un large périmètre puise l'eau dans un grand réservoir d'eau souterrain peu profond. Dans cette unité, la nappe est une propriété commune à accès libre ; elle est l'objet d'une compétition intense et son niveau s'abaisse de façon constante. L'alimentation de cette nappe est assurée par le drainage des eaux de montagne de l'amont et se trouve donc tributaire de la quantité d'eau libérée par les aménagements de cette zone.

La deuxième entité ressource-usage correspond à l'amont du bassin et couvre une superficie de 118 000 ha. Dans cette entité, les conditions édaphiques défavorables, l'agressivité des pluies, la surexploitation des parcours et les techniques culturales non appropriées ont provoqué une forte érosion, ainsi toutes les formes d'érosion sont observées. C'est l'une des régions les plus érodées de Tunisie centrale (Ben Mansour, 2000). La population, en majorité rurale, vit essentiellement de l'agriculture (Dridi, 2000). En l'absence d'autres activités économiques, prévaut une agriculture pluviale sur des sols érodés qui procure des rendements faibles, donc des revenus économiques bas.

### **1.2.3 Aménagement intégré anti-érosif du bassin**

Le bassin a fait l'objet de plusieurs interventions d'aménagement ponctuel depuis les années 1960. Depuis les années 1990, une nouvelle méthodologie d'aménagement a été adoptée. Le traitement ponctuel a été abandonné au profit d'un aménagement anti-érosif intégré du bassin qui comporte un ensemble cohérent de techniques et de mesures de protection contre l'érosion et d'augmentation de la production agricole.

Cet aménagement, en diminuant l'envasement du barrage grâce à la réduction de l'érosion des sols à l'amont, semble rendre un service environnemental certain. Egalement, il semble rendre un service social pertinent pour les pouvoirs publics en améliorant le bien-être de la population de l'amont en conséquence de la réduction de l'érosion et de la fixation d'une partie de l'eau de ruissellement. Toutefois, cet aménagement entraînerait une réduction sérieuse des apports d'eau au barrage El Houwareb. Or, la durabilité de l'exploitation de la nappe dans la plaine de Kairouan, déjà surexploitée, se trouve largement tributaire de la recharge de ce barrage.

## **1.3 Comment concevoir la politique d'aménagement**

Tenant compte de ces interactions, quels seraient les scénarios d'aménagement qui concilient les différents objectifs conflictuels ? Quel serait l'impact de chaque scénario sur chaque objectif ?

Une méthodologie a été proposée pour aider les décideurs à concevoir des politiques d'aménagement et d'allocation des ressources en eau économiquement efficaces, socialement acceptables et conservatrices de l'environnement.

## **2 Approche méthodologique**

Nous présentons l'approche méthodologique qui permet de répondre aux interrogations posées. Au préalable, sont expliquées certaines notions sur l'allocation durable des ressources naturelles en présence d'objectifs conflictuels et sur l'analyse de *Trade-off*.

## 2.1 Les conflits d'intérêts

La conservation des ressources naturelles se traduit souvent par des conflits d'intérêts, car les partenaires sociaux impliqués poursuivent des objectifs incompatibles (Kerr, 2001). Différents types de conflits peuvent exister entre les objectifs économique, social et environnemental. L'objectif économique cherche à tirer le meilleur revenu monétaire d'une unité de ressource naturelle donnée, l'objectif social cherche quant à lui une répartition plus équitable de ces ressources en permettant aux populations les plus défavorisées d'y accéder en vue d'améliorer leur bien-être, l'objectif environnemental cherche, en revanche, la protection et la préservation de ce capital de production de base.

Dans la suite de ce travail nous qualifions d'objectif économique le revenu agricole dégagé par l'irrigation dans la plaine. Nous supposons qu'il existe un différentiel d'efficacité économique de l'usage de l'eau entre les deux entités ressource-usage et que la collectivité gagne mieux en allouant l'eau vers la plaine.

Nous qualifions d'objectif social le minimum de revenu qui améliore le bien-être de la population de l'amont et nous supposons que ce minimum ne peut être atteint que par la fixation d'une partie des eaux de ruissellement et la réduction de l'érosion.

L'objectif environnemental correspond à la réduction de l'érosion des sols de l'amont et de l'envasement du barrage.

L'aménagement intégré du bassin versant de Merguellil a entraîné des conflits de trois types :

- entre l'objectif économique et l'objectif environnemental ;
- entre objectif d'équité sociale et l'objectif économique ;
- entre l'objectif économique et l'objectif de préservation de la nappe.

## 2.2 Une approche multicritères pour analyser des objectifs conflictuels

La réalisation de ces objectifs implique des *Trade-off* et l'analyse économique apporte des indicateurs importants pour les décideurs pour la résolution de ce conflit. Plusieurs auteurs montrent que l'analyse d'objectifs conflictuels nécessite le recours à des techniques multicritères pour déterminer la combinaison optimale d'objectifs et l'usage durable des ressources naturelles limitées.

### 2.2.1 L'allocation efficiente entre deux objectifs

Dans le cas d'objectifs conflictuels, par exemple économique et environnemental, et pour une quantité de ressources X limitée, l'allocation supplémentaire de ressources X pour la satisfaction de l'objectif économique (environnemental) réduit la satisfaction de l'objectif environnemental (économique).

La relation entre les objectifs est la suivante :

$$X_{EC} + X_{EV} = X$$

avec :

$X_{EC}$ , ressources allouées pour satisfaire l'objectif économique

$X_{EV}$ , ressources allouées pour satisfaire l'objectif social.

Prato (1998) montre que compte tenu de cette relation conflictuelle, les techniques d'optimisation mathématique peuvent être utilisées pour déterminer l'allocation efficiente entre les deux objectifs. La combinaison entre les objectifs se situe au niveau de la courbe d'efficience, appelée aussi courbe de *Trade-off* (figure 1).

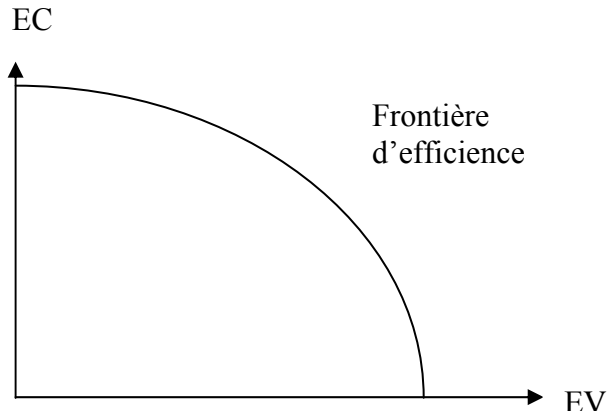


Figure 1. Frontière d'efficience pour l'objectif économique (EC) et l'objectif environnemental (EV).

### 2.2.2 Point d'équilibre des objectifs entre différents agents

La combinaison d'objectifs choisie par un agent économique (agriculteur, groupement d'intérêt collectif, Etat, etc.) dépend de ses préférences pour les deux objectifs. Supposons que l'agriculteur (agent i) favorise l'objectif économique et l'Etat (agent j) favorise l'objectif environnemental, la préservation de la nappe par exemple, le point d'équilibre, c'est-à-dire la combinaison optimale, est donné pour chaque agent par le point de tangence entre la courbe d'indifférence de chaque agent avec la courbe d'efficience (figure 2).

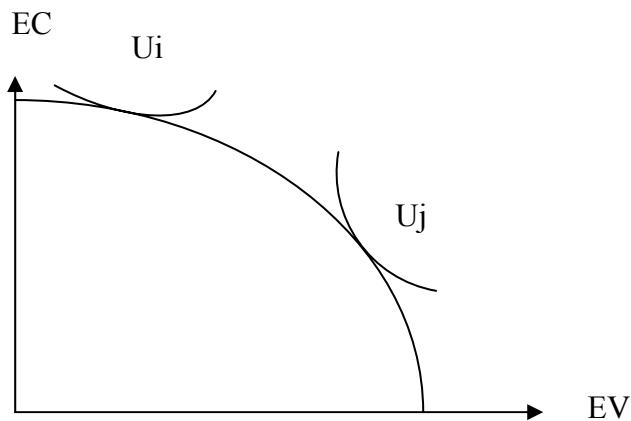
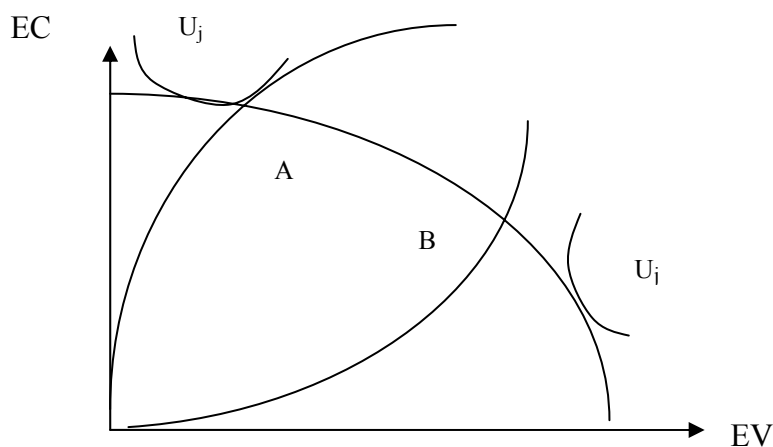


Figure 2. Points d'équilibre pour le choix des objectifs relatifs aux agents i et j.  
 EC, objectif économique ; EV, objectif environnemental ;  $U_i$ , utilité de l'agent i ;  $U_j$ , utilité de l'agent j.

Mais le point d'équilibre de chaque agent sur la courbe d'efficience n'implique pas un usage durable des ressources naturelles. Par exemple les combinaisons d'objectifs et les allocations de ressources correspondantes qui permettent une réalisation élevée (ou faible) de l'objectif économique et une réalisation faible (ou élevée) de l'objectif de préservation de la nappe sont considérées comme non durables.

Dans une perspective de développement durable, cette démarche nécessite, comme l'indique Prato (1998), de déterminer des contours maximum ( $C_{max}$ ) et minimum ( $C_{min}$ ) d'usage durable des ressources naturelles et d'éliminer toutes les combinaisons efficaces d'objectifs situées de part et d'autre de ces contours (figure 3).



**Figure 3. Les combinaisons efficaces et durables de l'objectif économique et environnemental.**

La combinaison efficace des objectifs situés entre ces deux contours maximum et minimum (segment AB) correspond à l'exploitation durable des ressources naturelles. La détermination de ce segment ne constitue pas une tâche facile, car elle concerne tous les acteurs, les scientifiques, les gestionnaires, les producteurs et les pouvoirs publics. Il s'agit, à titre d'exemple, de déterminer un *Target* (objectif) de rabattement admissible, un taux d'érosion par hectare acceptable, etc.

A l'exception du cas où le segment est très court, il sera toujours nécessaire de résoudre le conflit des objectifs en matière d'affectation des ressources naturelles. En l'absence de connaissances sur les préférences des agents économiques, le choix de la stratégie d'aménagement appropriée est orienté par les informations générées par l'analyse de *Trade-off*.

### 2.2.3 L'analyse de *Trade-off*

L'analyse de *Trade-off* s'effectue par paire d'objectifs. Elle indique :

- la nature de la relation entre les objectifs (complémentaire, supplémentaire ou conflictuelle) ;
- La magnitude de conflits entre deux objectifs, mesurée par le coût d'opportunité. Le coût d'opportunité d'un objectif en un point donné de la courbe de *Trade-off* mesure le sacrifice d'un objectif pour accroître d'une unité un autre objectif.

Dans le cas de notre étude, les objectifs environnementaux de la réduction de l'érosion des sols et de la préservation de la nappe et l'objectif d'équité sociale sont traités au niveau des contraintes par la fixation de niveaux seuils appelés *Target*. Pour chaque niveau de *Target*, différents niveaux de risque associé sont simulés et une analyse de *Trade-off* avec l'objectif économique est effectuée.

### 3 Le modèle d'allocation : analyse par la technique Target MOTAD modifié

#### 3.1 Approche adoptée

L'allocation des ressources en eau du bassin versant de Merguellil est analysée par l'approche Target MOTAD modifiée sous des considérations économiques, sociales et environnementales. Cette technique a été utilisée dans plusieurs travaux empiriques incluant une composante environnementale, telle que l'érosion des sols, la pollution de l'eau par les nitrates, les herbicides, etc. (Teague *et al.*, 1995 ; Qiu *et al.*, 1998). Pour rendre le modèle plus souple et pour mieux saisir les interactions à l'échelle du bassin entre les processus physiques (ruissellement et érosion), économiques et agronomiques, le bassin versant a été subdivisé en sous-bassins, en versants et en panneaux.

##### 3.1.1 1<sup>ère</sup> étape. Découpage parallèle du bassin versant en « n » sous-bassins versants

Ce découpage est justifié par les hétérogénéités observées dans les valeurs des paramètres physiques du bassin influant sur le ruissellement et l'érosion: topographie, pluviométrie, érosivité des pluies, nature des sols, couverture végétale et spéculations pratiquées, régime hydrologique de l'oued. Le critère utilisé pour le découpage est l'importance des affluents de l'Oued Merguellil. Le découpage est appliqué au point de confluence.

##### 3.1.2 2<sup>e</sup> étape. Découpage parallèle du sous-bassin versant en « m » versants

Chaque sous-bassin est découpé en « m » versants. L'estimation de la réponse du sous-bassin à un événement pluviométrique est obtenue par la sommation des contributions des versants latéraux. Ces contributions latérales s'ajoutent le long de l'oued affluent pour former à l'exutoire la réponse du sous bassin  $S_i$  à l'événement pluviométrique, soit  $Q_{s_i}$ .

##### 3.1.3 3<sup>e</sup> étape. Découpage en série du versant en « k » panneaux emboîtés

Les versants sont découpés transversalement en différents panneaux. Dans chaque panneau, les terres ont relativement la même pente et on y trouve généralement les mêmes types d'aménagements anti-érosifs. Les panneaux sont modélisés, emboîtés : le panneau « k » subit le bilan des eaux de ruissellement du panneau « k-1 » localisé en amont et peut capter par ses propres aménagements une partie de l'eau du panneau « k-1 » pour améliorer les rendements

(externalité positive). En revanche cette eau risque aussi d'amplifier l'érosion (externalité négative) et l'aménagement des panneaux amont rendra un service environnemental au panneau « k ».

### 3.1.4 Définition des exploitations et des mailles

Les exploitations de chaque panneau sont groupées en « groupes d'exploitations ». L'objectif de cette typologie est de minimiser à tous les niveaux d'agrégation les disparités dans les dotations structurelles des exploitations afin d'assurer un certain degré de proportionnalité. La modélisation de chaque exploitation type est effectuée, puis elle est pondérée par le nombre des exploitations dans chaque groupe.

Dans la plaine, pour modéliser les interactions entre l'aménagement du bassin, la recherche du maximum de profit et le rabattement de la nappe, la nappe a été découpée en « h » mailles interconnectées. Le prélèvement dans une maille donnée a un effet sur le rabattement dans cette maille et sur les autres mailles. Chaque maille est définie par un taux de recharge naturel déterminé et un niveau *Target* de rabattement admissible. Nous supposons que dans la zone de l'étude l'essentiel de la recharge de la nappe est assurée par les infiltrations souterraines du barrage El Houwareb.

## 3.2 Le modèle

### 3.2.1 La fonction Objectif

On se met à la place du gestionnaire des ressources naturelles (pouvoir public) qui cherche à maximiser le revenu agrégé certain des deux entités du bassin (amont et plaine) sous deux contraintes :

- les contraintes sociales, c'est-à-dire garantir un minimum de revenu pour la population de l'amont ;
- les contraintes environnementales, c'est-à-dire réduire l'apport de sédiments dans le barrage El Houwareb et préserver la nappe en aval.

Le raisonnement s'effectue en statique comparative par rapport à un état initial d'équilibre.

La fonction objectif peut être formulée comme la somme des revenus agrégés de l'amont (Z1) et de la plaine (Z2), selon l'équation (1) :

$$\text{Max } E(Z) = \underbrace{\left( \sum_{f=1}^h \sum_{p=1}^k \sum_{v=1}^m \sum_{s=1}^n \sum_{j=1}^j n_{f p v s} C_{j f p v s} X_{j f p v s} \right)}_{Z1} + \underbrace{\left( \sum_{f'=1}^{p'} \sum_{z=1}^h \sum_{j=1}^j n_{f' z} C'_{j f' z} Y_{j f' z} \right)}_{Z2} \quad (1)$$

avec :

j, indice de l'activité j à l'amont, j = 1 à J

j', indice de l'activité à la plaine, j' = 1 à J'

f, indice du groupe d'exploitations du bassin, f = 1 à h

p, indice des panneaux d'un versant donné, p = 1 à k

$v$ , indice des versants,  $v = 1$  à  $m$

$s$ , indice des sous-bassins,  $s = 1$  à  $n$

$n_{fpvs}$ , nombre d'exploitations dans le groupe  $f$  du panneau  $p$  du versant  $v$  du sous-bassin  $s$

$C_{jfpvs}$ , contribution de l'activité  $j$  au revenu de l'exploitation type du groupe  $f$  du panneau  $p$  du versant  $v$  du sous-bassin  $s$

$X_{jcvvs}$ , niveau de l'activité  $j$  dans l'exploitation type du groupe  $f$  du panneau  $p$  du versant  $v$  du sous-bassin  $s$

$C'_{jfvz}$ , la contribution de l'activité  $j$  au revenu de l'exploitation type du groupe  $f'$  dans la maille  $z$  (niveau plaine)

$n_{f'z}$ , nombre d'exploitations dans le groupe d'exploitations  $f'$  dans la maille  $z$

$Y_{jfvz}$ , niveau de l'activité  $j$  dans l'exploitation type du groupe  $f'$  de la maille  $z$

$Z_1$ , niveau agrégé du revenu du bassin

$Z_2$ , niveau agrégé du revenu de la plaine

$Z$ , niveau du revenu agrégé de la plaine et du bassin.

### 3.2.2 Contraintes traduisant le ruissellement

Les équations traduisant le ruissellement sont formulées à trois niveaux : le versant, le sous-bassin et le bassin versant.

#### 3.2.2.1 Echelle du versant

Le versant est un ensemble de panneaux emboîtés. L'eau ruisselée à l'exutoire du panneau situé en aval représente l'eau libérée par tout le versant, elle est fonction de toutes les pratiques agricoles et des aménagements effectués en amont. La formulation du ruissellement au panneau «  $k$  » situé en aval s'écrit selon l'équation (2) :

$$\sum_{f=1}^h \sum_{j=1}^J n_{fk} \alpha_{jfkvs} (c, a) (P_t + Q_t(k-1)) X_{jfkvs} - Q_{tk} = 0 \quad \forall v, s, t \quad (2)$$

avec :

$t$ , indice indiquant l'événement pluvieux

$\alpha_{jpvvs}$ , coefficient de ruissellement relatif aux parcelles  $j$  du groupe  $f$  du panneau  $p$  du versant  $v$  du sous-bassin  $s$ , il varie en fonction du couvert végétal ( $c$ ) et les aménagements ( $a$ ) entrepris sur les parcelles

$P_t$ , pluviométrie relative à l'événement  $t$ , elle est supposée homogène sur tout le versant

$Q_{t(p-1)vs}$ , eau de ruissellement relative à l'événement  $t$ , libérée par le panneau  $p-1$  du versant  $v$  du sous-bassin  $s$

$Q_{tvs}$ , eau de ruissellement relative à l'événement  $t$ , libérée par le versant  $v$  du sous-bassin  $s$

#### 3.2.2.2 Echelle du sous-bassin

Le système hydrologique est supposé linéaire. La propriété additive peut alors s'appliquer (Olivera and Maidment, 1996). Ainsi, le flux de ruissellement passant à l'exutoire d'un sous-

bassin s est calculé comme la somme des eaux libérées par chacun des m versants qui le constituent, selon l'équation (3) :

$$Q_{ts} = \sum_{v=1}^m Q_{tv} ; \quad \forall s, t \quad (3)$$

avec :

$Q_{ts}$ , eau ruisselée à l'exutoire du sous-bassin

$Q_{tv}$ , eau libérée par un versant v du sous-bassin s.

### 3.2.2.3 Echelle du bassin versant

Dans un bassin versant, les sous-bassins sont de tailles différentes, la quantité d'eau ruisselée à l'exutoire du bassin est obtenue alors en sommant les quantités d'eau ruisselées de chaque sous-bassin versant  $Q_{ts}$ . La quantité d'eau drainée par le bassin à son exutoire  $Q_{tb}$  correspond à celle reçue au barrage après déduction des pertes, elle est traduite par l'équation (4) :

$$Q_{tb} = \sum_{s=1}^n Q_{ts} ; \quad t \quad (4)$$

avec

$Q_{tb}$ , quantité d'eau ruisselée à l'exutoire du bassin versant

n, nombre de versants dans le sous-bassin.

### 3.2.3 Contrainte du risque environnemental

Les quantités de terres arrachées par les événements pluvieux à l'amont du bassin finiront par se déposer dans la retenue d'El Houwareb diminuant davantage sa durée de vie et sa finalité économique. Réduire la sédimentation du barrage passe par l'aménagement de l'amont et la réduction de l'érosion. Dans cette étude, on suppose que le gestionnaire du barrage fixe un niveau de sédimentation annuelle acceptable, appelé *Target*. L'équation traduisant cet objectif est la suivante (5) :

$$T_s - \sum_{f=1}^h \sum_{p=1}^k \sum_{v=1}^m \sum_{s=1}^n \sum_{j=1}^j n_{fjpv} \alpha_{jfjpv} (k, l, s, c, a) (P_t + Q_{t(p-1)vs}) X_{jfjpv} - d_t \geq 0 \quad (5)$$

$$\sum_t p_t d_t = \lambda e$$

avec :

$\alpha_{jfjpv}$ , coefficient d'érosion des sols dans les exploitations du groupe f du panneau p du versant v du sous bassin s. Il varie en fonction des caractéristiques physiques de la parcelle, en particulier de l'érodibilité des sols k, de l'indice de pente s et de la longueur l, du couvert végétal (c) et les aménagements anti-érosifs (a)

$T_s$ , le *Target* identifié pour l'indicateur de l'environnement, l'apport de sédiments au barrage. Cet indicateur est le même que l'érosion des sols dan le bassin

$D_t$ , la déviation en dessous de T sous l'état de nature t

$P_t$ , probabilité d'occurrence de l'état de nature  $t$

$\lambda_e$ , valeur attendue de la déviation négative en dessous du cible environnemental.

Pour chaque scénario d'aménagement nous fixons différents niveaux de *Target* d'érosion. Pour chaque niveau de *Target* nous définissons différents niveaux de risque d'érosion et de sédimentation, qui correspondent au risque environnemental.

### 3.2.4 Contrainte de l'équité sociale

La population du bassin pratique une agriculture pluviale qui obtient des rendements bas et irréguliers ; le revenu dégagé est faible et aléatoire. L'aménagement du bassin a pour but d'augmenter les rendements et de réduire la variabilité des revenus.

La variabilité des revenus a été intégrée dans une équation annuelle de revenu qui exige que le revenu minimum de chaque année doit au moins dépasser un certain seuil de revenu appelé *Target*. L'équation de *Target* revenu est formulée pour l'exploitation représentative de chaque groupe et agrégée dans le bassin par le nombre d'exploitations qui s'y trouve, équation (6) :

$$\sum_{f=1}^h \sum_{p=1}^k \sum_{v=1}^m \sum_{s=1}^n n_{fpvs} R_{fpvs} - \sum_{f=1}^h \sum_{p=1}^k \sum_{v=1}^m \sum_{s=1}^n \sum_{j=1}^J n_{fpvs} C_{tj} X_{jfpvs} - d_t \leq 0 \quad (6)$$

$$\sum_t p_t d_t = \lambda_b$$

avec:

- $R_{fpvs}$ , le *Target* identifié pour le revenu économique relatif à l'exploitation type du groupe  $f$  du panneau  $p$  du versant  $v$  du sous-bassin  $s$
- $d_t$ , la déviation en dessous du *Target* de revenu sous l'état de nature  $t$
- $P_t$ , probabilité d'occurrence de l'état de nature  $t$
- $\lambda_b$ , valeur attendue de la déviation négative en dessous de la cible économique dans le bassin. C'est le risque économique.

### 3.2.5 Contrainte de rabattement de la nappe

Nous définissons pour chaque maille  $z$  un niveau maximal de rabattement acceptable, appelé *Target* ( $T_{rz}$ ). Ainsi, nous déterminons la matrice des coefficients d'influence qui traduit l'effet du pompage dans une zone donnée sur son propre rabattement ainsi que sur celui des autres. Des travaux empiriques ont montré que l'influence d'une zone sur elle-même est toujours la plus importante. L'influence d'une zone sur une autre décroît au fur et à mesure que celle-ci est éloignée (Chebbi, 2003).

L'équation relative au *Target* rabattement est la suivante. Elle est relative à chaque maille et elle est exprimée en  $m$ , c'est l'équation (7) :

$$T_{rz} - \sum_{f=1}^P \sum_{j=1}^J n_{fzz} a_{zz} (a_{ijz} X_{jfr}) - \sum_{r \neq z=1}^h \sum_{j=1}^J n_r a_{rz} (a_{ijr} X_{jfr}) + \beta \cdot \varphi \cdot \alpha_z Q_{bt} - d_t \geq 0 \quad (7)$$

$$\sum_t p_t d_t = \lambda_{rz}$$

avec :

$j$ , indice de l'activité  $j$ ,  $j = 1$  à  $J$

$f'$ , indice indiquant le groupe d'exploitations,  $f' = 1$  à  $P'$

$z$ , indice indiquant une maille  $z$  donnée

$r$ , indice indiquant les autres mailles ( $r \neq z = 1$  à  $h$ )

$n'_{f'zz}$ , nombre d'exploitations dans le groupe  $f'$  de la maille  $z$

$n'_{f'rz}$ , nombre d'exploitations dans le groupe  $f'$  de la maille  $r$

$a_{zz}$ , coefficient de l'influence de la maille  $z$  sur elle même, exprimé en  $m^{-2s}$

$a_{rz}$ , coefficient indiquant l'influence du prélèvement de la maille  $r$  sur la maille  $z$ , exprimé en  $m^{-2s}$  (ce coefficient va être recalculé pour une période d'une année)

$a_{jz}$ , consommation en eau de l'activité  $X_j$  dans la zone  $z$  durant une période donnée (année dans notre cas), exprimé en  $m^3/ha/an$

$X_{jz}$ , niveau de l'activité  $j$  pratiquée dans la maille  $z$

$Q_{bt}$ , apport au niveau du barrage relatif à la période  $t$  (année), exprimé en  $m$  d'eau/an

$\beta$ , coefficient de conversion de mètres cubes infiltrés à partir du barrage en recharge de la nappe exprimée en  $m$

$\phi$ , coefficient indiquant la part des infiltrations dans l'apport total au barrage

$\alpha_z$ , coefficient indiquant la part de la maille  $z$  dans la recharge

$T_{rz}$ , *Target* de rabattement dans la maille  $z$ , c'est le niveau maximum de rabattement admissible dans la maille  $z$ , il est fixé par le gestionnaire de la ressource et il est exprimé en  $m$

$P_t$ , probabilité d'occurrence de l'état de nature  $t$

$\lambda_{rz}$ , Valeur attendue de la déviation négative en dessous du *Target* environnemental. C'est le risque de dégradation de la nappe.

### 3.2.6 Contrainte économique

Contrairement aux exploitations pluviales vivrières de l'amont qui cherchent plutôt la sécurité du revenu, celles de la plaine produisent pour vendre et cherchent la maximisation du profit. L'aménagement du bassin peut, par le biais de la diminution du taux de recharge de la nappe, réduire ce profit. L'objectif économique consiste à garantir le revenu actuel ; il est formulé à travers une équation appelée *Target* revenu et se présente comme suit :

$$\sum_{f'=1}^{P'} \sum_{z=1}^h n_{f'z} R_{f'z} - \sum_{j=1}^J \sum_{f'=1}^{P'} \sum_{z=1}^h n_{f'z} \cdot C'_{tjz} Y_{j f'z} - d_t \leq 0 \quad (8)$$

$$\sum_t p_t d_t = \lambda$$

avec :

$C'_{jtz}$ , la contribution de l'activité j au revenu de l'exploitation type du groupe f' dans la maille z

$Y_{jFz}$ , le niveau de l'activité j de l'exploitation type du groupe f' dans la maille z

$n_{Fz}$ , nombre d'exploitations dans le groupe f de la maille z

$R_{Fz}$ , le *target* identifié pour le revenu économique relatif à l'exploitation type du groupe f' dans la maille z

$D_t$ , la déviation en dessous du Target sous l'état de nature t

$P_t$ , probabilité d'occurrence de l'état de nature t

$\lambda$ , valeur attendue de la déviation négative en dessous du cible économique. C'est le risque économique.

### 3.3 Les scénarios d'aménagement et les analyses nécessaires

Trois scénarios d'aménagement du bassin sont envisagés :

- aucun aménagement, ce scénario sert de situation de référence ;
- tout le bassin est aménagé ;
- seules les régions les plus érodées sont aménagées.

Pour chaque scénario d'aménagement, quatre types d'analyse doivent être effectuées :

- *trade-off* objectif économique et objectif environnemental ;
- *trade-off* objectif économique et équité sociale ;
- *trade-off* objectif économique et rabattement de la nappe ;
- *trade-off* objectif environnemental et objectif de préservation de la nappe.

Les résultats de ces analyses fournissent des indicateurs importants pour les décideurs pour la résolution de ce conflit et indiquent la direction et les adaptations à effectuer en fonction des situations, au niveau des politiques d'aménagement afin de garantir un développement durable.

## 4 Conclusion

Dans ce travail nous avons présenté les conflits d'intérêt entre les différents partenaires sociaux concernés par l'aménagement intégré du bassin versant de l'Oued Merguellil. Dans un pareil contexte, le bassin versant représente l'échelle d'analyse appropriée pour la gestion des ressources naturelles car toutes les ressources et les usages à l'intérieur du bassin sont reliés. Nous avons présenté l'intérêt de l'emploi d'une approche multicritères (Target MOTAD) pour analyser l'allocation des ressources naturelles sous des contraintes économiques, sociales et environnementales. Ces approches sont de plus en plus utilisées dans les analyses économiques intégrant une composante environnementale. Leur intérêt est de permettre de simuler plusieurs scénarios d'aménagement et d'analyser le *trade-off* entre les différents objectifs du projet, conflictuels le plus souvent (économique, social et

environnemental), générant ainsi des indicateurs importants pour les décideurs et les gestionnaires de ces ressources.

### Références bibliographiques

Aguilera F., 1992. Economía del Agua, Ministerio de Agricultura, Serie Estudios N° 69 – Madrid, Espagne.

Albouchi L., Bachta M.S., Le Grusse P., 2003. Pour une meilleure valorisation globale de l'eau d'irrigation : Une alternative de réallocation de la ressource sur des bases économiques. Cas du bassin de Merguellil en Tunisie centrale. Séminaire PCSI, décembre 2003, Montpellier, France.

Ben Mansour. H., 2000. Apport de la télédétection pour l'étude de la dynamique des aménagements de conservation des eaux et des sols (banquettes) et impact sur les apports de Merguellil en Tunisie centrale. Mémoire DAA, ENSA Rennes, France.

Chebbi A., 2004. Optimisation de la gestion de l'usage combiné d'un système Barrage-Aquifère : étude du cas de la nappe de la plaine de Kairouan et les deux barrages El Houwareb et Sidi-Sâad. DEA ENIT, Tunisie.

Dridi B., 2000. Impact des aménagements sur la disponibilité des eaux de surface dans le bassin versant de Oued Merguellil (Tunisie Centrale), Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur Strasbourg I – France.

Fulcher C; Prato T and Zhou Y., Economic and environmental impact assessment using watershed management decision support tool. Proceedings: 32nd annual Hawaii international conferences on systems sciences, Maui –Hawaii January 5-8, 1999.

Kerr J., 2001. Watershed project performance in India : conservation, productivity and equity. American Journal of Agricultural Economics 83 (5): 1223-1230.

Lu C.H., Ittersum M.K., 2004. A trade-off analysis of policy objectives for Ansai, the Loess Plateau of China. Agriculture Ecosystems and Environment 102: 235-246.

Olivera F., Maidment D.R, 1996. Storm Runoff computation using spatially distributed terrain parameters. Presented at the ASCE North American water and environment congress'96, Anaheim, California.

Prato T., 1998. Natural resource and environmental economics. Iowa State University Press. First Edition.

Qiu. Z, Prato. T, Kaylen. M., 1998. Watershed scale Economic and Environmental Trade-off incorporating Risks: A Target MOTAD approach. Agricultural and Resource Economics Review, Volume 27 (2): 231-240.

Raspic V., 2000. Synthèse du transport solide et de l'érosion hydrique sur le bassin versant de Merguellil. Rapport scientifique. IRD - Tunis

Teague M.L, Bernardo D.J., Mapp H.P., 1995. Farm-Level Economic Analysis Incorporating Stochastic Environmental Risk Assessment. American Journal of Agricultural Economics 77.

Thampapillai D.J., Sinden J.D., 1979. Trade-Offs for multiple objective planning through linear programming. Water Resources Research 15(5).

Weber L., 1997. L'Etat, acteur économique. 3e édition, Economica.