

SHADOC : un Systeme Multi-Agent représentant les modes d'organisation dans un système irrigué

*Olivier Barreteau, François Bousquet
CIRAD GREEN, Campus International de Baillarguet
BP 5035. 34032 Montpellier Cedex
tél. : 04 67 61 58 00 p. 4156
fax : 04 67 59 38 27
Email : <barreteau, bousquet>@cirad.fr*

Résumé

L'importance des modes d'organisation dans l'évolution des systèmes irrigués a été mise en évidence par de nombreux auteurs. Pour mieux la comprendre, en tenant compte des différents niveaux d'organisation en présence, nous avons constitué un simulateur de système irrigué permettant d'explorer des scénarios constitués de règles collectives et de population de comportements individuels, à partir de terrains situés dans la moyenne vallée du Fleuve Sénégal. Ce simulateur, basé sur un système multi-agent, est pertinent pour discuter de la viabilité des systèmes irrigués en fonction de scénarios de règles collectives et individuelles. Utilisé pour la question de la nécessité de lier groupements propres à un système irrigué et structures sociales préexistantes, il indique de nouvelles voies de recherche sur le terrain.

Introduction

La moyenne vallée du Fleuve Sénégal a connu un développement rapide de l'irrigation à partir du milieu des années 70. Cependant la majorité des aménagements encore mis en œuvre aujourd'hui ont été réhabilités une fois voire plusieurs (Lericollais et Sarr, 1995). Les experts et chercheurs appelés à leur chevet, dans la moyenne vallée du Sénégal mais aussi ailleurs dans le monde ont soulevé des questions relatives au niveau des rendements aux taux de mise en culture, ou encore à l'évolution des sols et des infrastructures ou aussi des questions relatives à l'accès et au paiement des crédits. Toutes ces questions posent en fait le problème de la viabilité des systèmes irrigués. C'est dans le contexte de cette problématique que se situe le travail de modélisation présenté dans la suite.

Les systèmes irrigués, de la moyenne vallée du Fleuve Sénégal en particulier, sont caractérisés par l'existence de biens en propriété commune : réseaux de canaux, station de pompage et par des cadres collectifs de gestion pour ces équipements communs mais aussi pour l'accès au crédit. Or ces cadres collectifs de gestion se révèlent particulièrement importants pour l'évolution des systèmes irrigués (Legal, 1995). Des travaux sur la gestion des ressources en propriété commune ont également montré l'importance des institutions en œuvre pour la viabilité de l'usage de ces ressources (Ostrom, 1990 ; Weber, 1996).

C'est pourquoi nous nous sommes orientés vers la constitution d'un modèle permettant d'explorer des scénarios de gestion dans différents cadres d'hypothèses de population de systèmes irrigués, qui prennent en compte la représentation des différents modes d'organisation.

Après avoir présenté différentes approches sur la représentation de modes d'organisation dans les systèmes irrigués, nous décrivons les modes d'organisation observés dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal, ainsi que leur dynamique, puis la représentation qui en a été faite. Enfin quelques expériences relatives à l'effet de ces modes de coordination sur la viabilité des systèmes irrigués sont présentées.

Représentation des modes d'organisation dans les systèmes irrigués

Importance des modes d'organisation

De nombreux travaux font l'hypothèse que c'est dans les modes d'organisation que se trouvent actuellement les problèmes de gestion des systèmes irrigués (Manig, 1994). Ces approches des organisations se font à partir des fonctions : quelles sont les tâches à accomplir dans un système irrigué, spécifiques ou non à l'irrigation¹ (Coward, 1991). La viabilité du système irrigué est alors vue dans une bonne affectation des rôles ainsi définis. Les modes d'organisation sont présentés comme fortement dépendant de l'extérieur, *via* des organisations ayant des intérêts dans le système irrigué, ou *via* les objectifs des différents acteurs (Manig, 1994).

Des approches issues de la gestion des entreprises

Pour appréhender cette question de l'importance des modes d'organisation pour l'évolution des systèmes irrigués, certaines approches résultent de démarches utilisées pour l'étude des systèmes agraires et des recherches en gestion des petites entreprises. Elles s'appuient sur le concept de "modèle d'action" selon lequel chaque acteur possède un ensemble d'indicateurs, un corps de règles de décision et un mode d'évaluation du résultat, qui évoluent avec le temps et l'acquisition d'expérience (Sebillote et Soler, 1990). L'utilisation de ce concept nécessite l'hypothèse d'existence de décideurs bien identifiés, ce qui pose problème dans le cas des systèmes irrigués (Legal, 1995).

A partir de là, une solution retenue a été de prendre comme point d'ancrage le système de pilotage du système irrigué et son action sur la production "d'eau maîtrisée" (Rey, 1996). Ceci permet bien de prendre en compte la diversité diffuse des centres décisionnels au sein du système irrigué en considérant comme support des interactions entre les acteurs la ressource à l'origine de la contrainte partagée entre eux-ci. Si cette approche apparaît comme relativement opérationnelle pour ce qui concerne les aspects relatifs à la gestion de l'eau au sein du système irrigué, les autres ressources et biens utilisés en commun ne sont pas pris en compte dans cette représentation. Les aspects relatifs à la production de biens agricoles paraissent plus difficiles à appréhender par une telle démarche dans un contexte "fortement multi-acteurs et multi-objectifs" (Rey, 1996). Cette démarche s'applique bien aussi pour l'étude de la coordination entre exploitants agricoles et gestionnaire, c'est-à-dire entre producteurs et clients d'eau maîtrisée, dans des cas où les décisions au jour le jour sont le fait d'acteurs bien déterminés (Lamacq, 1997).

Des approches institutionnelles

Elargissant les travaux sur les modes d'organisation à l'étude des différentes institutions² en présence et se basant sur de nombreuses études de cas, des travaux récents s'intéressent aux périmètres irrigués en tant que bien commun (Sengupta, 1991). Ils se placent dans une perspective plus formelle, certains cherchent à proposer des cadres pour des démarches de conception des systèmes irrigués sous forme de principes à respecter pour la conception de systèmes viables (Ostrom, 1992). Ces travaux s'intéressent plus à la phase de conception car il s'agit d'un moment clé d'initialisation des règles collectives de gestion du système irrigué : un des principes de conception de systèmes irrigués viables est la nécessité

¹ Coward mentionne ainsi 5 types de tâches : acquisition de l'eau, allocation de l'eau, maintenance du réseau, mobilisation des ressources et gestion des conflits.

² Au sens de "a set of rules in use" (Ostrom, 1990).

d'établir des règles claires et acceptées avant la mise en route. La littérature des études de cas montre qu'il existe un grand nombre de règles endogènes, identifiées comme des institutions limitant les coûts de transaction et mettant en place des contraintes qui facilitent la coopération entre les usagers. La manière dont ces jeux de règles peuvent être modifiés constitue un autre corpus de règles qui doit être stable pour permettre la confiance des usagers et la viabilité du système (Tang, 1992). Cette démarche a été appliquée pour expliquer les résultats d'intervention de l'Etat en vue de l'amélioration de la performance de petits périmètres irrigués au Népal qui souvent n'ont pas atteint leur objectif pour ne pas avoir tenu compte des institutions existant préalablement. Ceci amène à chercher comment concevoir l'intervention du gouvernement, ou d'un bailleur de fonds dans d'autres cas, pour se placer en connivence avec les relations entre les paysans (Lam, 1996).

Vers d'autres représentations du collectif

Ces approches montrent par leur complémentarité la nécessité de prendre en compte à la fois les acteurs individuels et les acteurs collectifs, qu'ils soient formels ou non. Ces différents niveaux d'organisation co-évoluent au sein des mêmes systèmes irrigués : chacun avec sa dynamique propre en interaction avec les autres (Rouchier et al., 1998).

Pour comprendre les interactions entre ces différentes dynamiques au sein de différents modes d'organisation, il est donc nécessaire d'observer l'évolution de systèmes irrigués dans différents cadres d'hypothèses de règles collectives et de comportements individuels. Ceci n'étant pas possible sur des systèmes réels, nous nous sommes orientés vers la constitution d'un simulateur de système irrigué permettant de spécifier ces différentes règles, c'est-à-dire de représenter différents modes d'organisation avec leur dynamique, et d'explorer leurs conséquences. La réalisation de ce simulateur s'est faite selon une modélisation d'accompagnement (Bousquet et al., 1998), permettant chemin faisant d'améliorer à la fois la pertinence du modèle et la connaissance des terrains.

Les modes d'organisation rencontrés dans la moyenne vallée du Sénégal

Des modes d'organisation propres aux systèmes irrigués

L'aménagement de systèmes irrigués dans la moyenne vallée du Fleuve Sénégal s'est accompagnée de la création d'organisations propres à ceux-ci aux rôles et aux statuts divers. Ces organisations peuvent avoir une influence limitée au système irrigué ou dans certains cas le dépasser. Elles ont des rôles relatifs à l'accès à l'eau, à sa distribution aux différentes échelles des périmètres et à la reproduction des moyens nécessaires à son contrôle via la maintenance et le prélèvement d'une redevance hydraulique. D'autres ont un rôle relatif à l'accès au crédit auprès de la banque, à laquelle n'ont pas accès directement les paysans. Elles le redistribuent ensuite selon des règles qui leur sont propres auprès de leurs membres. Il ne s'agit pour ces organisations que de crédits utilisés officiellement pour la mise en œuvre du système irrigué. Certains groupements s'occupent également de l'accès au matériel agricole et aux intrants et à la distribution de ces derniers entre leurs membres et d'autres de la commercialisation de la production.

Il ne s'agit pas nécessairement dans tous les systèmes irrigués de groupements distincts et bien identifiés. Les différentes modes d'aménagement ont donné lieu à des regroupements de certains rôles au sein de mêmes groupements, à la mise en commun de structures à plusieurs systèmes irrigués, à la subdivision en plusieurs groupements de certains, à l'inexistence de groupements propres à certaines fonctions. De nombreux cas de structures hiérarchisées existent également.

Des modes d'organisation extérieurs aux systèmes irrigués

Toutes ces différentes structures propres aux systèmes irrigués et posées depuis les recommandations des aménagistes sont venues se superposer à d'autres modes d'organisation existant auparavant ou apparaissant en même temps de manière indépendante.

La société actuellement en place au Fuuta Tooro s'est installée dans la deuxième moitié du 19^{ème} siècle. Le *Fuuta Tooro* connaît en effet jusqu'à aujourd'hui une société hiérarchisée associant différents niveaux de statuts sociaux spécifiant des rôles particuliers dans la société ainsi que dans les relations de celle-ci avec le milieu. Ainsi les *TooroBe* ou les *FulBe* nobles ou encore parfois les *subalBe*³ ont dans un village donné le pouvoir politique et la maîtrise de l'accès aux terres. Cette relation entre statut social et rôle parmi les activités politiques et de production d'une communauté est variable d'un village à un autre selon son histoire et l'activité principale pratiquée : agriculture, pêche ou élevage. Ici les chefs de village sont choisis parmi une famille de *TooroBe*, là parmi une famille de pêcheurs. A côté de cette hiérarchie foncière, il existe d'autres statuts d'hommes libres, de castés et de descendants d'esclaves dont l'accès à la terre dépend des précédents mais qui pour certains d'entre eux ont des droits d'usage de la terre⁴. *In fine* la répartition des récoltes est assez égalitaire au sein de la population via un mécanisme de redistribution et de paiement de redevances foncières (Magistro et al, 1994). Cette société très hiérarchisée est aussi le lieu d'une importante solidarité, dont le noyau est la classe d'âge (Nuttal, 1989). Enfin chaque village a une assez grande autonomie et est considéré parfois comme une véritable république (Schmitz, 1994).

Des mouvements migratoires importants et de longue durée ont établi des ressortissants des villages du Fuuta Tooro à Dakar, dans d'autres pays d'Afrique de l'Ouest ou en Europe. Des associations villageoises regroupent les ressortissants d'un même village et collectent des fonds parfois importants auprès des migrants. Apparues durant les années 80, ces associations constituent un nouveau lieu de coordination entre les villageois. Elles constituent un moyen efficace de relations avec l'extérieur du village (Tarrière, 1995). Depuis cette même époque des organisations non gouvernementales sont intervenues et se sont établies dans la région. Elles ont suscité elles-mêmes la création de différentes organisations dont par exemple des caisses villageoise. Mais elles ont également induit des divisions : ainsi deux ONG établies près de Podor se disputent le monopole de l'aide auprès des paysans et ont chacune leur groupe de supporters dans chaque village. Un autre facteur de division au sein des villages réside dans les tendances politiques internes au parti au pouvoir réactivées au moment de la désignation des candidats, sûrs d'être élus.

Interactions de ces modes d'organisation dans les systèmes irrigués

Ces modes d'organisation extérieurs au système irrigué se projettent en leur sein et influent sur leur dynamique et ainsi interagissent avec les modes d'organisation qui leur sont propres. Par exemple deux membres d'un même groupement de paysans ayant leur parcelle le long d'un même irrigateur m'ont prétendu ne pas se connaître alors que leurs irrigations dépendaient d'un même tour d'eau et qu'ils étaient du même village. Ces organisations extérieures interviennent aussi en tant que lieu de coordination permettant de résoudre des problèmes propres aux systèmes irrigués. Ainsi dans un village, toutes les

³ *TooroBe* (sing. *Toorodo*) : lettrés coraniques ; *FulBe* (sing. *Pullo*) : éleveurs ; *subalBe* (sing. *Cuballo*) : pêcheurs. Tous les termes pulaar sont repris dans un index en fin de thèse.

⁴ Deux termes différents en pulaar désignent la maîtrise de l'accès à la terre d'une part et la maîtrise de l'usage d'autre part : *jom leydi* d'une part et *jom ngesa* d'autre part. Le terme *leydi* fait référence à un territoire dont il peut être fait usage le temps d'une campagne sous forme de champ, le *ngesa*.

questions relatives aux systèmes irrigués dans lesquels étaient situées les parcelles des paysans de ce village étaient traitées après la prière du vendredi.

Lors de l'attribution des parcelles et de la constitution des différents groupements propres aux systèmes irrigués, les aménagistes ont parfois essayé de prendre en compte ces organisations extérieures afin d'assurer une plus grande cohésion de ces nouveaux groupements en les superposant à des lieux de coordination préexistant. Dans d'autres cas observés ailleurs dans le monde, cette prise en compte des modes d'organisation extérieurs se fait au contraire en mélangeant dans les groupements des systèmes irrigués des paysans venant de groupes différents à l'extérieur du système irrigué afin d'assurer la cohésion de l'ensemble du système.

Représentation de ces modes d'organisation

Le modèle SHADOC

Ces différents modes d'interaction ont été représentés dans un modèle appelé SHADOC (Simulateur Hydro-Agricole Décivant les modes d'Organisation et de Coordination) afin d'explorer la viabilité des systèmes irrigués (Barreteau et Bousquet, 1998). Ce modèle est basé sur une méthode de simulation issue des techniques de l'intelligence artificielle et utilisant des systèmes multi-agents. Ces derniers constituent une méthode de représentation à base de règles mettant en œuvre des entités informatiques autonomes en interaction appelées "agent" (Ferber, 1995). Un agent est décrit par des attributs donnant ses caractéristiques et des méthodes explicitant comment il évolue et interagit avec les autres agents et l'environnement. Les agents peuvent représenter aussi bien des paysans, des groupes que des canaux ou des parcelles. Tous les agents agissent et communiquent dans un environnement selon leurs propres méthodes en fonction des messages qu'ils reçoivent des autres agents, de leur perception locale de l'environnement et de la représentation qu'ils se font de l'environnement et des autres agents. Les agents peuvent en particulier constituer aussi bien des représentations de groupes que d'individus. Il est donc ainsi possible de constituer un outil d'exploration de divers scénarios de règles collectives et de comportements individuels en prenant en compte les interactions entre les niveaux d'organisation individuel et collectif.

Suite à plusieurs étapes d'aller et retour du terrain au modèle (Bousquet et al., 1997), nous faisons l'hypothèse de représenter le système irrigué comme le lieu de la maîtrise et de la répartition de deux ressources : le crédit et l'eau (Barreteau, 1998). Au niveau de la succession des activités, la campagne agricole est alors divisée en trois phases :

- recherche de crédit et préparation de la campagne
- entretien de l'irrigation des parcelles
- bilan de la campagne

La représentation de l'aménagement met en œuvre des agents *station de pompage*, *parcelle*, *bief* et *irrigateur*. L'agent station de pompage pompe une quantité d'eau fonction de son attribut #etatFonctionnement et de la règle de mise en œuvre du gestionnaire. L'eau pompée s'écoule dans le bief dans la limite de sa capacité : ce qui déborde est considéré comme perdu. Celui-ci distribue ensuite l'eau aux irrigateurs dont l'attribut #etatModule a la valeur #ouvert, dans l'ordre de l'amont vers l'aval, en fonction de son attribut #taille et de l'eau disponible. Chaque irrigateur répartit ensuite l'eau qu'il a éventuellement reçue aux parcelles qui lui sont connectées dont la buse est ouverte. Cette répartition se fait de manière à reproduire un avantage pour les parcelles situées à l'amont de l'irrigateur⁵.

⁵ Cette répartition se fait de la manière suivante : la parcelle de rang r au sein de la liste des parcelles dont la buse est ouverte le long d'un irrigateur reçoit la quantité $V_r = T_r * (1/2^r) / (1/\sum_k (1/2^k))$, T_r est la taille de l'irrigateur et la somme se fait sur l'ensemble des parcelles ouvertes le long de l'irrigateur.

Chaque pas de temps les parcelles s'assèchent d'une hauteur d'eau identique durant toute la campagne et pour toutes les parcelles. Cet assèchement est diminué de moitié quand la hauteur de lame d'eau est négative. Lors du semis de la parcelle un rendement potentiel est initialisé en fonction de la variété de riz choisie par l'agent paysan auquel fait référence l'attribut #paysan de la parcelle et du niveau d'investissement en intrants, ce rendement potentiel décroît durant la phase "entretien de la lame d'eau" à chaque événement de stress hydrique selon la relation proposée par la FAO⁶ (Doorenbos et Kassam, 1979). En fin de campagne la résultante est multipliée par un coefficient aléatoire pris dans une distribution uniforme [0,2 ; 1] représentant les autres sources de chute de rendement possibles.

Représentation de la société et des interactions

La représentation de la société met en œuvre des agents *paysan* et des agents *groupe*. Chaque agent agit selon une base de règles qui lui est propre. Chaque paysan agit aussi en fonction d'un objectif qui lui est propre parmi l'ensemble {#production, #nourriture, #fauteDeMieux, #foncier} qui reprend les différents types d'objectifs observés sur le terrain et qui commande le montant de crédit recherché par le paysan et la fréquence de ses passages sur sa parcelle.

Chaque paysan fait partie de trois groupes : un groupe s'occupant de l'attribution de l'eau entre les parcelles situées le long d'un même irrigateur, un groupe d'accès au crédit dont la constitution est *a priori* indépendante de la structure de l'aménagement et un groupe s'occupant de la gestion de la station de pompage et du réseau principal. L'utilisateur du modèle peut choisir de superposer les groupes d'accès au crédit et les groupes d'allocation de l'eau s'il le désire.

Il existe aussi une partition de l'ensemble de la population des paysans en "réseaux d'affinité sociale", dont l'origine est extérieure au système irrigué mais constituant des lieux de coordination entre les paysans. Ce réseau social constitue une partie de la représentation que chaque agent se fait du monde, avec les règles mises en œuvre par les agents avec qui il est en relation notamment. Là encore l'utilisateur du modèle peut choisir de superposer cette partition à celles que constituent les groupements d'allocation de l'eau et les groupements d'accès au crédit. Ceci a pour objectif de simuler l'action d'un aménagiste qui impose une prise en compte des modes d'organisation d'origine externe pour la constitution des groupements propres aux systèmes irrigués.

La population des paysans est également hiérarchisée selon quatre statuts sociaux commandant en particulier les échanges financiers entre les paysans : les prêts sont obligatoires à des paysans de statut social moins élevé. L'utilisateur du modèle choisit la proportion de paysans dans chaque statut.

Dynamique du simulateur

Au niveau dynamique, en début de campagne, tous les paysans sont en attente et passent un à un en phase #crédit selon un tirage aléatoire. Cette phase se passe en trois étapes : évaluation du besoin pour être autorisé à faire la campagne, recherche du crédit correspondant à ce besoin, demande d'autorisation pour faire la campagne. Pour un paysan donné, la réussite de cette phase, concrétisée par l'obtention du crédit pour les intrants et l'autorisation de faire la campagne, le fait passer en phase #irrigation. Un échec le conduit à abandonner la campagne et à passer en phase #repos. Ceux qui sont passés en phase #irrigation, tentent de démarrer la campagne, c'est-à-dire de semer, puis de la mener à bien en fonction de leur objectif qui règle la fréquence de leur passage sur leur parcelle et leur

⁶ Soit θ la teneur en eau minimale de la parcelle lors d'un événement de stress hydrique. Si $\theta \geq 0.75$, le rendement potentiel est inchangé. Si $0.33 < \theta < 0.75$, le rendement potentiel est multiplié par $0.8 * (3\theta - 1)$. Si $\theta \leq 0.33$, le rendement potentiel devient nul.

niveau d'investissement. S'ils y arrivent, ils passent en phase #bilan sinon ils passent en phase #repos. Les paysans en phase #bilan ainsi que les paysans en phase #repos n'ayant pas fait la campagne procèdent ensuite au bilan de la campagne, c'est-à-dire à une évaluation de leurs résultats et à un changement éventuel de leurs règles. Ils sont alors prêts pour une nouvelle campagne éventuelle.

Le temps du bilan de campagne est particulièrement important pour les interactions entre les différents modes d'organisation : les imitations se font au sein du réseau d'affinité sociale et, selon le choix de l'utilisateur du modèle, des groupements dont font partie les paysans. Les résultats évalués dépendent des règles collectives de chaque groupement.

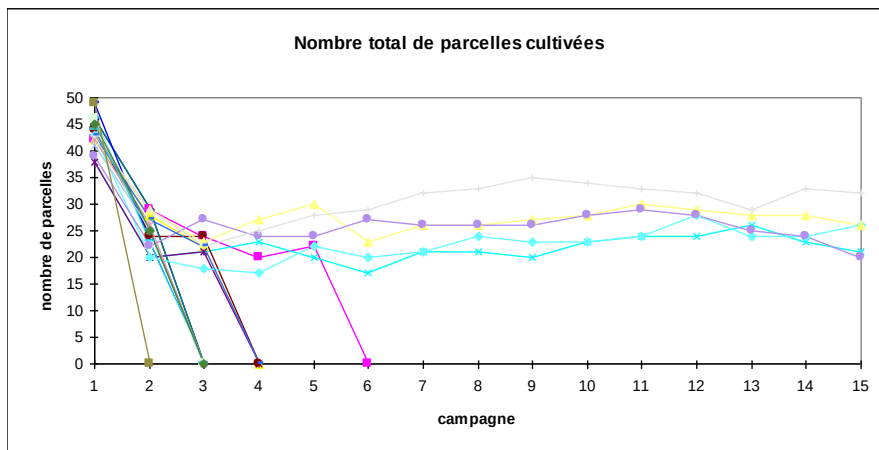
Pour chaque règle collective ou comportement individuel, plusieurs modalités sont possibles. L'ensemble des valeurs initiales des règles est au choix de l'utilisateur du modèle. Ensuite elles évoluent en fonction de la dynamique des interactions. Par exemple la règle d'attribution de l'eau peut être de type libre service ou avec un tour d'eau. Le comportement des paysans relatif au remboursement peut être de ne rien rembourser *a priori* ou de rembourser seulement aux paysans ou seulement aux groupes ou encore de rembourser dès que possible tous les crédits. L'ensemble des modalités initiales de toutes ces règles collectives et individuelles constituent, avec quelques paramètres relatifs à la structure du système comme le nombre de parcelles, un scénario de simulation.

Résultats et discussion

Pertinence de l'usage du modèle

Des simulations répétées sur un échantillon de scénarios tirés au hasard parmi l'ensemble des possibles ont permis de définir dans un premier temps la viabilité d'une simulation puis une partition de l'ensemble des scénarios en fonction de la proportion de simulations viables au sein d'un ensemble d'au moins 20 simulations d'un scénario donné (Barreteau, 1998).

La figure ci-dessous donne un exemple d'un ensemble de 20 simulations d'un scénario donné.



Pour le modèle, une simulation est considérée comme viable si elle enchaîne au moins 6 campagnes avec au moins un quart des parcelles cultivées sans intervention extérieure non prévue. Nous avons ainsi défini trois classes :

- des scénarios non viables avec moins de 5 % de simulations viables
- des scénarios un peu viables avec plus de 5 % et moins de 50 % de simulations viables
- des scénarios viables avec plus de 50 % de simulations viables

Ce simulateur est ainsi pertinent pour tenir un discours sur la viabilité des systèmes irrigués en fonction de scénarios de règles collectives et individuelles (Barreteau, 1998). Il doit être

utilisé en appui à la formalisation de théories ou pour tester des hypothèses sur le fonctionnement des systèmes irrigués, comme l'intérêt de caler ou de ne pas caler les groupements propres à un système irrigué sur les organisations d'origine externe.

Effet de la constitution des groupements

La littérature sur la gestion des systèmes irrigués, en particulier l'approche "gestion sociale", insiste souvent sur le manque de prise en compte des structures sociales existantes, dans la conception des systèmes irrigués. Le débat porte alors sur la nécessité de caler les associations ou groupements d'utilisateurs mis en place sur des structures sociales existantes pour faciliter la coordination entre les agents (Hecht, 1990 ; Tang, 1992) ou au contraire sur la division de groupes sociaux existant entre plusieurs associations d'utilisateurs pour limiter les conflits entre celles-ci (Coward, 1979).

Dans la représentation utilisée dans SHADOC, le paramètre "homogénéité" des scénarios peut représenter une démarche volontariste de prise en compte des réseaux d'affinité sociale existant lors de la conception d'un système irrigué. Il s'agit de faire correspondre les compositions des réseaux d'affinité sociale et des groupes au sein desquels doit se faire la coordination pour l'attribution de l'eau et / ou pour l'accès au crédit. Une valeur *#true* de ce paramètre revient à se mettre dans les conditions de la première hypothèse du paragraphe précédent en la poussant à l'extrême dans une adéquation totale entre associations d'utilisateurs et structures sociales existantes. Une valeur *#false* rapproche des conditions de la seconde.

Or une analyse statistique réalisée sur un échantillon de 100 scénarios montre qu'il n'y a ni corrélation entre ce paramètre et la classe de viabilité du scénario ni effet particulier d'un changement de ce paramètre pour des scénarios donnés (Barreteau, 1998). Il n'y a ni avantage ni désavantage à superposer les groupes liés à des tâches particulières au sein du système irrigué aux réseaux sociaux locaux. La deuxième hypothèse, à savoir qu'il est préférable d'avoir une division des réseaux sociaux existant entre les différents groupes pour la résolution des conflits entre ces derniers, n'est pas réellement testée dans ces simulations. Cependant on peut considérer qu'une valeur *#false* du paramètre *#homogénéité* en constitue une version dérivée. Cette dernière implique en effet la possibilité d'intersections entre les différents réseaux permettant ainsi aux informations de diffuser plus largement même si c'est en plusieurs étapes : la division des réseaux d'affinité sociale ne permet pas dans ce cas d'éviter les conflits mais de favoriser les échanges entre les paysans de l'ensemble du système, ce qui peut être considéré comme équivalent si l'on fait l'hypothèse que une des conséquences des conflits à l'intérieur des systèmes irrigués est de freiner la diffusion de l'information. Dans ce cas l'absence de corrélation entre ce paramètre *#homogénéité* et la viabilité d'un scénario peut être interprétée de différentes manières :

- les deux hypothèses sont fausses.
- les deux hypothèses sont vraies et se compensent.
- selon le contexte des autres paramètres d'un scénario donné, c'est une hypothèse ou l'autre qui est vérifiée.

L'explication fondée sur une compensation des deux hypothèses aussi vraies l'une que l'autre peut être testée par de nouvelles simulations faisant varier ce paramètre *#homogénéité* dans différents contextes de la même manière que les effets des réseaux sociaux et des règles d'apprentissage ont été étudiés. Une nouvelle série de simulations correspondante serait aussi l'occasion de différencier ce paramètre d'homogénéité en fonction des différents types de groupements pour ensuite s'intéresser aux processus spécifiques pour lesquels la coordination entre les paysans se fait au sein de groupements homogènes avec les structures sociales extérieures au système irrigué. Il y a là un réel travail de conception de nouveaux scénarios afin d'affiner la compréhension du fonctionnement du modèle.

Perspectives

Nous avons donc réalisé un modèle permettant de représenter des modes d'organisation dans des systèmes irrigués et de simuler leurs effets et leurs évolutions. Il permet en particulier de discuter sur la nécessité de lier groupements de gestion d'un périmètre avec des structures sociales préexistantes.

Les résultats présentés ouvrent la voie vers de nouvelles enquêtes spécifiques sur le terrain ou de nouvelles simulations. Ils permettent d'apporter des éléments dans la discussion des deux hypothèses et d'identifier de nouvelles voies de recherche sur le terrain.

Références

Barreteau O. (1998). Un Système Multi-Agent pour explorer la viabilité des systèmes irrigués : dynamique des interactions et modes d'organisation. Thèse de doctorat en Sciences de l'eau, ENGREF, Montpellier, France.

Barreteau O. et F. Bousquet (1998). SHADOC: a Multi-Agent Model to tackle viability of irrigated systems. *Annals of Operations Research*, à paraître.

Bousquet F., O. Barreteau, C. Mullon et J. Weber (1997). Modélisation d'accompagnement : systèmes multi-agents et gestion des ressources renouvelables. In: *Actes du Colloque international "Quel environnement au 21^{ème} siècle ? Environnement, maîtrise du long terme et démocratie"*, GERMES, Paris, France, sous presse.

Coward E. W. Jr. (1979). Principles of social organization in an indigenous irrigation system, *Human organization*, 38 (1) : 28-36.

Coward E. W. Jr. (1991). Planning technical and social change in irrigated areas. In: *Putting people first*, éd. M.M. Cernea, 2nde édition, Oxford University Press, pp. 46-72.

Doorenbos J. et A.H. Kassam (1979). *Réponse des rendements à l'eau*. FAO, Bulletin d'irrigation et de drainage n°33. Rome, Italie.

J. Ferber. (1995). *Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective*, InterEditions.

Hecht R. (1990). Land and water rights and the design of small scale irrigation projects: the case of Baluchistan. *Irrigation and drainage systems*, 4 : 59-76.

Lam W.F. (1996). Improving the performance of small scale irrigation systems : the effects of technological investments and governance structure on irrigation performance in Nepal. *World development*, 24 (8) : 1301-1315.

Lamacq S. (1997). *Coordination entre l'offre et la demande en eau sur un périmètre irrigué. Des scénarios, des systèmes et des hommes...* Thèse de doctorat en Sciences de l'eau, ENGREF, Montpellier, France.

Le Gal P.-Y. (1995). Gestion collective des systèmes de culture en situation d'incertitude : cas de l'organisation du travail en double culture dans le Delta du Fleuve Sénégal. Thèse de doctorat de l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon.

A. Lericollais and A. Sarr.(1995). Histoires de périmètres, in: *Nianga, laboratoire de l'agriculture irriguée en moyenne vallée du Sénégal*, éd. P. Boivin et al., ORSTOM éditions, Paris, France, pp. 5-36.

Magistro J., M. Niasse et C. Nuttal (1994). Organisation sociale et facteurs de transition. In: *Les barrages de la controverse, le cas de Vallée du Fleuve Sénégal*, éd. M. Salem Murdock et al., pp. 93-113.

Manig W. (1994). Situation specific management in water distribution. *Quarterly journal of international agriculture*, 33 (3) : 243-259.

C. Nuttal (1989). Les associations villageoises de développement dans la moyenne vallée du Fleuve Sénégal : processus d'émergence, situation actuelle et avenir dans l'après-barrages. *Annales de géographie*, 547 : 302-321.

Ostrom E. (1990). *Governing the commons : the evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press.

Ostrom E. (1992). *Crafting institutions for self governing irrigation systems*. ICS press.

Rey J. (1996). *Apports de la gestion industrielle au management des périmètres irrigués : comment mieux piloter la production ?* Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

Rouchier J., O. Barreteau, F. Bousquet et H. Proton (1998). Evolution and co-evolution of individuals and groups in environment. In: *Proceedings of the Third International Conference on Multi-Agent Systems*, AAAI Press, à paraître.

Schmitz J. (1994). Cités noires : les républiques villageoises du Fuuta Tooro. *Cahiers d'études africaines*, 133-135 : 419-460.

Sebillote M. et L.-G. Soler (1990). Les processus de décision des agriculteurs. In: *Modélisation systémique et systèmes agraires*, éd. J. Brossier, B. Vissac et J.-L. Le Moigne, éditions INRA, pp. 93-101.

Sengupta N. (1991). *Managing common property, Irrigation in India and the Philippines*. Sage publication, New Delhi, India.

Tang S.Y. (1992). *Institutions and collective action : self governance in irrigation*. ICS press.

Tarrière-Diop C. (1995). La dynamique sociale des GIE, village de Podor (département de Podor, communauté rurale de Guédé). In: *Nianga, laboratoire de l'agriculture irriguée en moyenne vallée du Sénégal*, éd. P. Boivin et al., ORSTOM éditions, pp. 339-373.

Weber J. (1996). *Conservation, développement et coordination : peut-on gérer biologiquement le social*, Communication au colloque panafricain : Gestion communautaire des ressources naturelles renouvelables et développement durable, Harare, Zimbabwe, 24-27 juin 1996.