

Co-construction d'un outil de gestion intégrée sur le bassin du Merguellil, Tunisie

Articulation et cohérence de modèles

Jean-Christophe POUGET*, Christophe CUDENNEC**, Christian LEDUC***, Patrick LE GOULVEN*, Philippe LE GRUSSE****, Jean-Christophe POUSSIN**

*IRD, US DIVHA, Montpellier, France

**IRD, US DIVHA, Tunis, Tunisie

***IRD, UMR Hydrosociétés Montpellier, France

****IAMM, Montpellier, France

Résumé — Il est proposé de concevoir un environnement de modélisation permettant d'envisager différentes alternatives de gestion du bassin correspondant à divers objectifs : valorisation, équité, durabilité. Cet environnement est fondé sur un système d'information à référence spatiale et temporelle, et propose une interface conviviale pour définir et activer différents modèles. Pour répondre à des questions concrètes de gestion, les thématiciens et acteurs du projet auront à définir les liaisons entre modèles de natures différentes, en assurant la cohérence des échelles d'étude spatiale et temporelle. Par exemple, sur la nappe de Kairouan il est intéressant de tester l'impact de politiques de taxation ou d'évolution du marché sur les dynamiques d'extension des exploitations agricoles privées et publiques en liaison avec l'état des réserves en eau. Afin de capitaliser les travaux effectués, il est proposé de développer un modèle de demande basé sur une représentation technico-économique des exploitations agricoles. Sur le bassin amont, il convient de développer des modèles hydrologiques afin d'évaluer l'impact d'aménagements du territoire comme les banquettes, les lacs collinaires. Des modèles d'allocation, basés sur une représentation de type arcs-noeuds, vont être utilisés afin d'explorer les limites des aménagements. Il est ainsi possible de simuler l'évolution de l'occupation du territoire, en activant le modèle d'allocation couplé au modèle hydrologique et au modèle de demande, et de tester la faisabilité de réallocations de l'eau au sein du bassin, issues d'une modélisation économétrique. Les tests des scénarios d'évolution nécessitent de nombreuses simulations, pertinentes en terme d'évolutions socio-économiques et représentatives de l'aléa hydrologique.

Abstract — **Co-construction of an integrated management tool for the Merguellil basin.** We propose the construction of a modelling environment in order to discuss different basin management alternatives corresponding to various objectives such as valorization, equity, sustainability. This tool is based on an information system with space and temporal references and proposes a user friendly interface to define and activate various models. The work of the thematicians and actors of the project aims at defining the connections between models of different natures, by ensuring the coherence of the space and temporal scales of the studies. For instance, with the Kairouan water table, it is interesting to test the impact of tax policies or market trends on the extension dynamics of private and public farms in relation with the available water stock. We propose to develop the demand model based on a technico-economic representation of the farms. On the upper part of the basin, it is advisable to develop hydrological models in order to evaluate the impact of local projects such as the

erosion banks or the small lakes. Allocation models, based on a arcs-nodes representation, will be used in order to explore the usefulness of these projects. It is possible to simulate the evolution of the land use, by activating the allocation model coupled with the hydrological model and the demand model, and to test the feasibility of water reallocations within the basin, resulting from an econometric modelling. The tests of evolution scenarios require various simulations, relevant in term of socio-economic evolutions and representative of the hydrological risk.

Introduction

Un des objectifs du projet Mergusie est la construction d'un outil de gestion intégrée du bassin de l'oued Merguellil. Cet exposé présente quelques réflexions sur l'intérêt et l'architecture d'un tel outil. L'objectif de cet outil est de pouvoir répondre à des questions multiples concernant les aménagements, leur implantation et leur gestion : l'impact des aménagements sur la répartition des ressources en eau, la valorisation socio-économique des ressources induites par ces aménagements, la durabilité environnementale et sociale des systèmes aménagés. La multiplicité des questions implique le recours à divers types de modèles. Ainsi de nombreux modèles, parfois très complexes, ont été développés ou sont en cours de développement dans le cadre du projet Mergusie. Cette multiplicité des modèles développés pose un problème pour capitaliser, synthétiser ces travaux afin d'envisager leur utilisation par les gestionnaires. D'où l'idée de « co-construire » un environnement d'aide à la décision qui mette en cohérence et facilite l'utilisation de ces modèles. Un outil ne veut pas dire un seul modèle destiné à répondre à une question précise ; l'outil peut faire appel à plusieurs modèles, éventuellement couplés, afin d'explorer et de discuter des solutions de gestion sur le bassin. Il convient d'insister sur le terme co-construction, qui signifie construction à plusieurs avec d'une part des spécialistes de différentes thématiques de recherche et d'autre part les gestionnaires.

Une même interface de modélisation

Dans cette première partie, nous allons présenter les bases de l'environnement de modélisation proposé. Certains composants logiciels de cette interface ont déjà été développés par l'unité DIVHA dans le cadre de la conception du modèle d'allocation HyD2002 (Pouget *et al.*, 2004). Le travail actuel consiste en la généralisation de cet environnement afin de faciliter la construction de modèles de différentes natures et leurs interactions au sein d'une même interface.

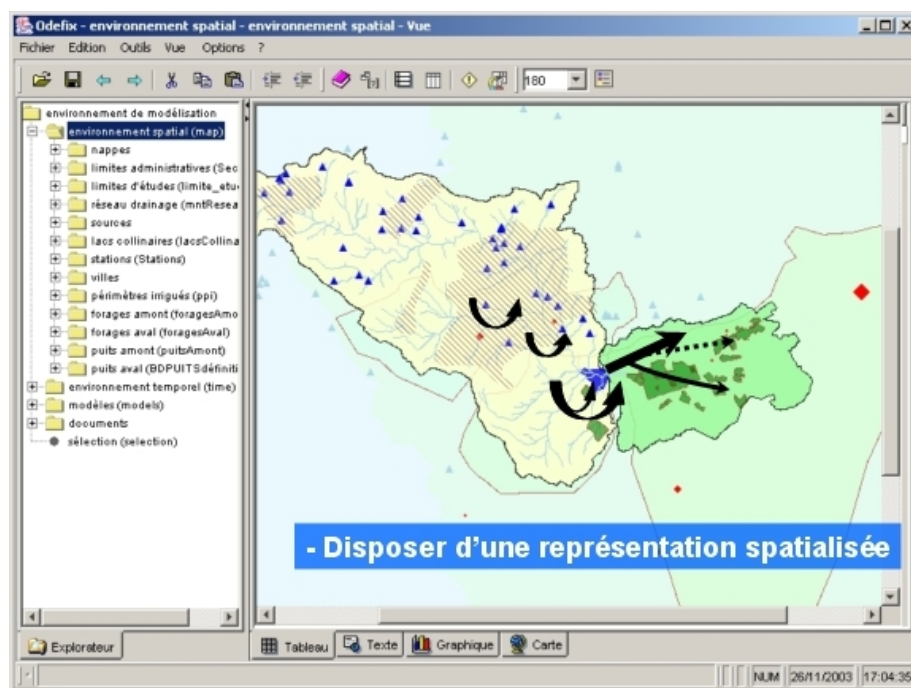


Figure 1. Une représentation spatialisée.

Représenter l'environnement spatio-temporel

La gestion des ressources en eau est caractérisée par la prise en compte de la variabilité spatio-temporelle des processus. D'où l'importance de disposer d'un système d'information à référence spatiale et temporelle.

L'interface permet une représentation spatialisée du bassin, en différentes couches d'information et à différentes échelles (figure 1). C'est la représentation la plus naturelle pour d'une part faciliter les dialogues entre thématiciens et gestionnaires, et d'autre part, synthétiser et schématiser des informations.

Parallèlement, la même interface permet d'accéder aux différentes données temporelles : chroniques historiques (pluies, écoulements, populations, etc.) et chroniques prospectives liées à des scénarios d'évolution qui seront construits. La représentation des données temporelles est faite, soit sous forme de tableau, soit sous forme de graphiques temporels.

Faciliter l'utilisation des modèles

Le but de la plateforme est de pouvoir activer, modifier et éventuellement construire de manière interactive différents modèles. Ainsi, dans le cas d'un modèle d'allocation des ressources en eau, chacun des composants va pouvoir être défini, modifié avec ses propriétés structurales et ses propriétés de gestion (figure 2).

Les systèmes modélisés peuvent être simulés suivant différentes modalités afin de pouvoir évaluer la satisfaction d'objectifs, la durabilité environnementale et sociale de scénarios d'évolution. Les résultats, qui peuvent être distribués dans l'espace et dans le temps, sont fournis sous forme de cartes, de graphiques, de tableaux, de statistiques, etc.

Label	1	2	3	4	5	6
# Reservoir						
nom	Ei Haoureb					
index noeud	1					
localisation	55.30	43.40				
hauteurs	9					
hauteur	18	19	20	21	22	23
surface	0	1.44	3.53	5.99	8.7	11.63
stockage	0	0.006	0.031	0.078		
apport naturel	Ei Haoureb	1				
L evaporation	0.123	0.131	0.162	0.167		
pluie directe	Ei Haoureb	1				
C perte	0.04	0.04	0.04	0.04		
infiltration	0					
stockage objectif	0.55	0.55	0.55	0.55		
zones	2					
volume 0	0	0	0	0		
volume 1	0.05	0.05	0.05	0.05		
volume 2	0.745	0.745	0.745	0.745		
penalites positives 1	0	0	0	0		
penalites negatives 1	1000	1000	1000	1000		
penalites positives 2	1000	1000	1000	1000		
penalites negatives 2	2.95	2.95	2.95	2.95		

- Disposer d'une représentation spatialisée
- Accéder aux données temporelles
- Définir, simuler divers modèles

Figure 2. Exemple de définition d'un réservoir.

Modélisations au sein d'un ensemble ressources-usages (ERU)

Cette partie présente les modélisations à envisager lorsqu'on s'intéresse au fonctionnement d'un ensemble ressources-usages (ERU).

L'exemple de l'ERU aval

Considérons l'exemple des dynamiques ressources-usages à l'aval du barrage d'El Haouareb, (Leduc *et al.*, 2004 ; Attalah *et al.*, 2004 ; Luc *et al.*, 2004).

Il faut d'abord disposer de modèles sur les ressources, constituées dans cet exemple par le réservoir superficiel d'El Haouareb et un aquifère. Le découpage et la discrétisation de l'aquifère en zones sont liés à l'objectif visé, relevant souvent de la gestion stratégique (évolutions sur plusieurs années). Mais il convient de pouvoir simuler des dynamiques plus rapides afin de tester l'impact d'événements exceptionnels, comme la crue de 1969, sur la recharge de la nappe.

Il faut disposer de modèles de demandes pour les divers types d'usages : les PPI (Périmètres publics irrigués), les GIC (Groupements d'intérêt collectif), les prélèvements divers (forages Sonede, privés, etc.), les exploitations privées.

Vu la problématique de la baisse importante de la nappe, il convient de pouvoir simuler les dynamiques d'extension des exploitations privées en liaison avec l'état de la ressource (figure 3). Le modèle *Sinuse* (Feuillette, 2003) permet de telles simulations. Mais, un effort de généralisation s'impose afin de capitaliser cette expérience et de pouvoir reproduire cette dynamique au sein d'un modèle de gestion intégrée.

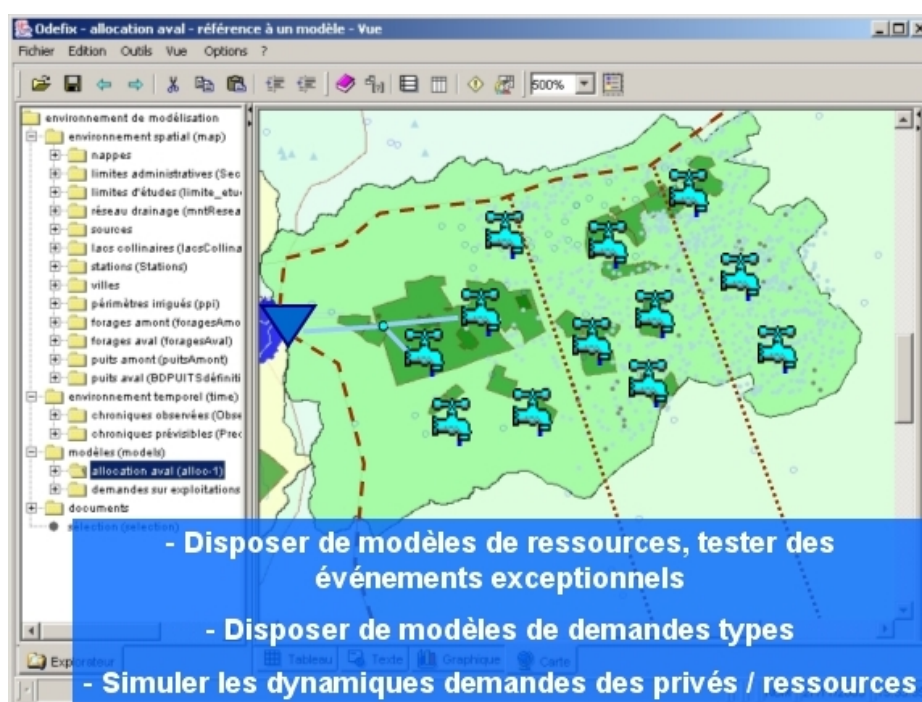


Figure 3. Exemple de modélisation de la zone aval.

Une proposition de modèle de demande

On envisage le développement d'un modèle de demande basé sur une représentation technico-économique du fonctionnement des exploitations agricoles, selon un formalisme issu directement du modèle Olympe (Attalah *et al.*, 2004). Dans ce formalisme, une exploitation agricole est considérée comme une somme pondérée d'ateliers de production, chaque atelier de production étant constitué par des produits, des charges et des externalités. De la même manière, une zone est considérée comme une somme pondérée d'exploitations agricoles types ; les pondérations correspondent aux effectifs des exploitations agricole dans chaque type. Le développement envisagé consiste à reprendre le formalisme Olympe et certaines de ces fonctionnalités, afin de faciliter une analyse régionale avec une représentation spatiale et un traitement explicites des scénarios d'évolution des exploitations agricoles.

Selon les objectifs visés, on peut utiliser ce modèle seul, comme en témoignent les applications d'Olympe sur le bassin (Attalah *et al.*, 2004), ou envisager de le coupler avec un modèle d'allocation des ressources. Il pourrait ainsi servir à tester l'impact des défaillances, de politiques de taxation ou d'évolution du marché, par la simulation de scénarios prenant en compte l'évolution de la nappe. Il s'agit donc de permettre une démarche exploratoire du type *Sinuse*, en s'appuyant sur une représentation générique afin d'étudier plus facilement d'autres ensembles ressources - usages.

Niveau d'agrégation spatiale

Quel niveau d'agrégation spatial considérer ? Le modèle *Sinuse*, par exemple, considère un découpage à l'échelle de la parcelle afin d'étudier l'implantation et les caractéristiques de puits. Il semble plus raisonnable, par rapport aux objectifs visés à l'échelle du bassin aménagé, de considérer des zones homogènes, avec des densités de puits pour les privés, et en identifiant les PPI dont les fonctionnements sont différents.

Répartitions des ressources en eau

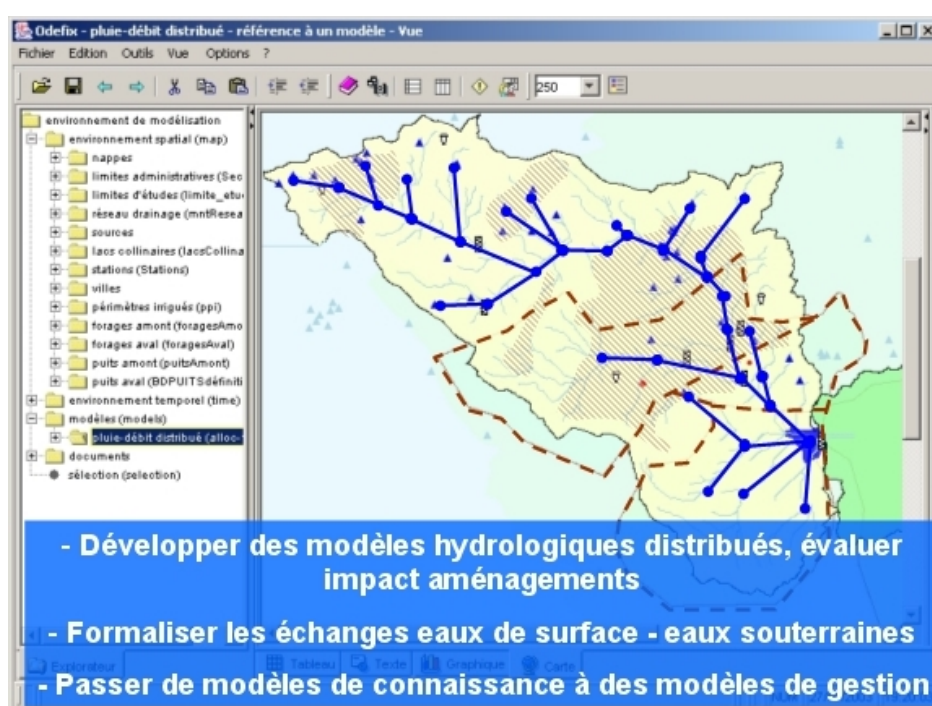


Figure 4. Exemple de découpage du bassin amont.

Raisonnement au niveau de l'ensemble du bassin versant implique de traiter la question de la répartition spatiale des ressources en eau et des flux d'eau entre ces ressources. Il convient de disposer de modèles hydrologiques distribués pour évaluer l'impact d'aménagements du territoire comme les banquettes, mais aussi des lacs et barrages collinaires, et les échanges eaux de surface - eaux souterraines (Cudennec *et al.*, 2004).

Pour les modèles de gestion nous avons besoin de connaître les écoulements en certains points du bassin. Ces points sont plus ou moins espacés selon les objectifs recherchés. La Figure 4 présente un exemple de découpage. L'intérêt est de disposer d'un modèle générique basé sur des entités hydrologiques homogènes, qui permet de réaliser des découpages à la demande en exploitant au mieux l'information disponible.

Allocations des ressources en eau

Utiliser des modèles d'allocation seuls ou couplés

Afin d'étudier des alternatives d'allocation de ressources en eau, d'explorer les limites des aménagements, on va utiliser des modèles d'allocation basés sur une représentation de type arcs-nœuds (Figure 5).

Les nœuds peuvent être des ressources - comme des réservoirs de surface ou des réservoirs souterrains -, mais aussi des demandes en eau, des confluences, etc. Les arcs représentent les connexions hydrauliques, naturelles ou artificielles, entre les composants. Tous ces objets sont décrits par leurs caractéristiques structurales (courbe de remplissage de réservoir, capacité de transit, etc.) et des propriétés de gestion (niveau objectif de réservoir, priorités de demandes, etc.).

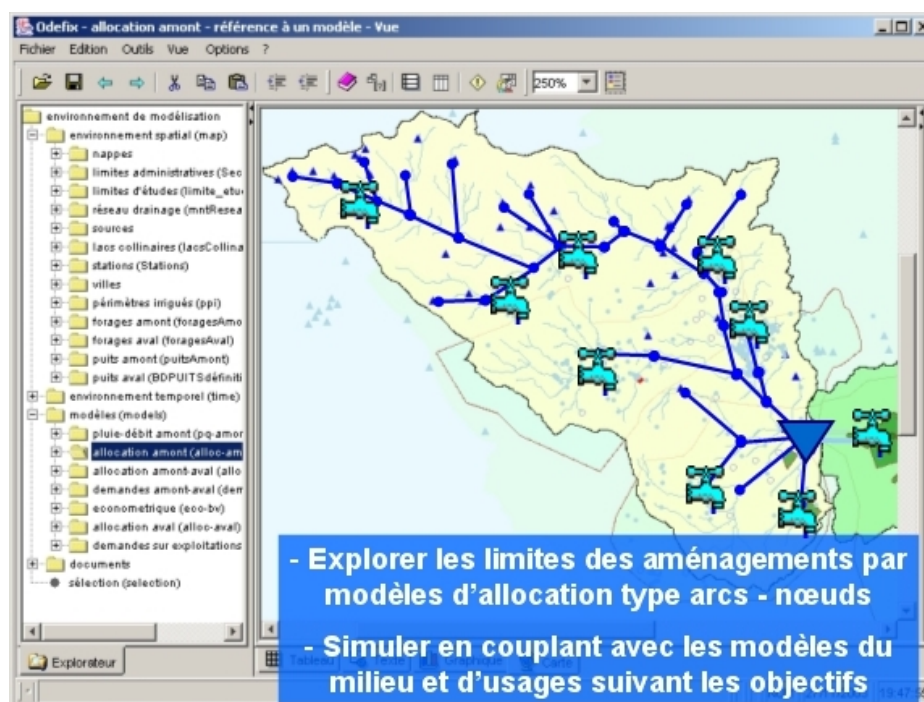


Figure 5. Exemple de modélisation de l'allocation des ressources.

Les modèles pluie-débit vont nous fournir des écoulements, pour un état donné d'occupation du territoire, ou des scénarios d'évolution de ces écoulements en certains points. On peut ainsi envisager de simuler l'évolution de l'occupation du territoire, en activant le modèle d'allocation comme la charnière entre d'une part un (des) modèle(s) hydrologique(s) et d'autre part un (des) modèle(s) d'usage.

Tester des réallocations sur des bases économiques

Une modélisation économétrique peut être utilisée pour définir de nouvelles allocations des ressources aux divers Ensembles Ressources-Usages (Albouchi *et al.*, 2004). L'interface proposée devra permettre de faciliter la représentation matricielle du modèle, à partir de certaines données des ERU, notamment celles concernant des exploitations agricoles issues du formalisme Olympe.

La résolution du problème matriciel sera prise en charge par des algorithmes de calcul externes (MatLab ou autre). En effet, le but n'est pas de développer, ou re-développer, des modèles dans un même environnement, sous un même langage, mais de fournir une interface qui assure un dialogue et une cohérence entre les modèles développés. Les résultats fournis par ce modèle économétrique pourront ainsi être utilisés dans les modèles d'allocation pour tester leur faisabilité (figure 6).

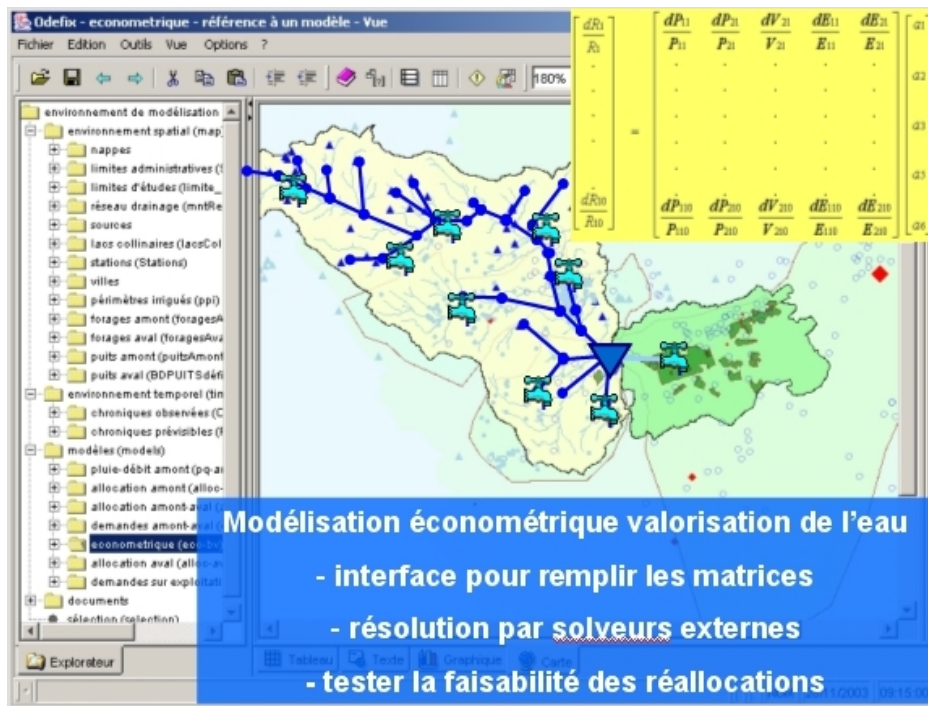


Figure 6. Modélisation économétrique de la valorisation de l'eau.

Discussion

En guise de conclusion, nous proposons quelques réflexions sur la généricité et la transposabilité des développements et des travaux en cours.

Fournir un cadre commun de modélisation

L'objectif général est de fournir un cadre commun de modélisation et de représentation afin de :

- faciliter le développement de modèles ; l'emploi d'une approche de modélisation objets et la mise à disposition de composants logiciels (gestion du temps, de l'espace, etc.) soutiennent la description de la structure, des propriétés et des dynamiques des modèles ;
- favoriser les discussions entre spécialistes et gestionnaires grâce à une interface conviviale (représentations spatiale, graphiques...);
- faciliter le dialogue entre modèles, grâce à une interface commune, pour simuler des dynamiques qui rendent compte d'interactions entre modèles de natures différentes.

Mais la réponse à une question de gestion n'implique pas forcément le recours à plusieurs modèles ou même à un modèle très complexe. "Il faudrait faire en sorte que tout soit aussi simple que possible, mais pas plus simple" (Albert Einstein). Notre souci est bien d'éviter la construction d'une "usine à gaz". Un des grands intérêts est d'endogénéiser la cohérence entre les modèles.

Capitaliser par le développement de « méta-modèles »

Nous avons évoqué à plusieurs reprises notre volonté de développer des modèles génériques, afin de faciliter l'extension et la transposition des modèles construits et de capitaliser l'expérience en cours. La constitution de composants logiciels "métiers", utilisables dans d'autres applications, assure cette capitalisation. Les développements envisagés portent ainsi sur :

- la constitution de composants pour la modélisation technico-économique des activités agricoles, au niveau régional, basée sur le formalisme *Olympe* ;
- une évolution des composants du modèle d'allocation de ressources en eau HyD2002 (Pouget *et al.*, 2004), développé au sein de DIVHA (Dynamiques, Impacts et Valorisation des Hydro Aménagements), dans lequel notamment la représentation des aquifères va être améliorée ;
- la modélisation hydrologique.

Evaluer des systèmes en évolution

Les méthodes d'évaluation des performances des systèmes sont très différentes suivant les modèles.

Par exemple dans les modèles d'allocation des ressources, on se fixe classiquement un état d'aménagement et des règles de gestion. Le fonctionnement des aménagements est simulé sur des chroniques représentant l'aléa hydrologique. La vérification de la satisfaction des objectifs portent sur une analyse de type intensité, durée, fréquence des chroniques générées.

Lorsqu'on s'intéresse à la durabilité environnementale et sociale, on étudie des scénarios d'évolution. Les objets représentés (répartition des ressources et des usages) peuvent donc évoluer. En terme de "gestion intégrée", l'enjeu est de savoir quelles simulations doivent être réalisées pour rendre compte à la fois des évolutions socio-économiques et de l'aléa hydrologique. Quels indicateurs sont pertinents pour synthétiser ces évaluations ?

La validation de ces modèles est un problème à part entière. On peut distinguer 2 sortes de validation. Une première validation porte sur la qualité de représentation des processus dans des modèles de gestion qui correspondent à une dégradation de modèles de connaissance. La seconde validation, peut-être la plus importante par rapport à notre objectif de production d'outil de gestion, est une validation par l'usage : l'outil proposé va-t-il apporter une aide effective et durable aux gestionnaires ?

Bibliographie

ALBOUCHI L., BACHTA M.S., LE GRUSSE P., 2004. Pour une meilleure valorisation globale de l'eau d'irrigation – Une alternative de réallocation de la ressource sur des bases économiques. Cas du bassin du Merguellil en Tunisie centrale. *In Actes du Séminaire PCSI "Gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant"*, Montpellier, France, déc. 2003 ; ce volume.

CUDENNEC C., CALVEZ R., POUGET J.C., KINGUMBI A., LE GOULVEN P., 2004. Constitution et structuration territoriales des ressources, des impacts et des risques hydrologiques au sein du bassin du Merguellil – Perspectives de modélisation hydrologique pour la transposition d'approches de gestion. *In Actes du Séminaire PCSI "Gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant"*, Montpellier, France, déc. 2003 ; ce volume.

FEUILLETTE S., 2003. SINUSE: a multi-agent model to negociate water demand management on a free access water table. *Environmental Modelling and Software*, 18(5) : 413-427.

LEDUC C., BEJI R., CALVEZ R., 2004. Les ressources en eau du barrage d'el Haouareb et des nappes adjacentes (vallée du Merguellil, Tunisie centrale). *In Actes du Séminaire PCSI "Gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant"*, Montpellier, France, déc. 2003 ; ce volume.

ATTALAH K., FEUILLETTE S., LE GOULVEN P., LE GRUSSE P., 2004. Modèles d'exploration des dynamiques entre ressources et usages de l'eau pour une gestion intégrée des nappes souterraines – Application à la nappe de Kairouan en Tunisie. *In Actes du Séminaire PCSI "Gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant"*, Montpellier, France, déc. 2003 ; ce volume.

LUC J.P., ABID KARRAY J., BOURGUIGNON P., CHAMPION J., KOUKOU TCHAMBA A., BEN HAMOUDA N., 2004. Analyse et représentation de relations "ressources-usages" de l'eau au niveau des parcelles et des exploitations agricoles de la plaine de Kairouan. *In Actes du Séminaire PCSI "Gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant"*, Montpellier, France, déc. 2003 ; ce volume.

POUGET J.C., BELLAUBI F., DE SA A., HABIB Z., LE GOULVEN P., 2004. Un environnement de modélisation pour tester l'allocation de ressources en eau - HyD2002 et ses applications. *In Actes du Séminaire PCSI "Gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant"*, Montpellier, France, déc. 2003 ; ce volume.