

Simulation multi-agent pour la gestion de la ressource en eau d'un bassin versant

Marjorie Le Bars ^a, Marie-Hélène Chatelin ^b et Jean-Marie Attonaty ^c

Les négociations entre les différents acteurs gestionnaires et utilisateurs de la ressource en eau sont souvent complexes. Dans cet article consacré à la problématique de l'usage agricole de l'eau, les auteurs expliquent comment ils ont conduit une démarche de modélisation dont l'objectif est un simulateur qui permet de tester des règles de partage de ressources en eau dans le cadre concret d'une structure syndicale coresponsable de la gestion d'un bassin. Les résultats de cette simulation permettent de mieux comprendre le fonctionnement des différents acteurs et d'expérimenter des règles d'interaction entre structure de gestion et agriculteurs.

En France, l'utilisation de la ressource en eau est soumise au respect de directives européennes et de textes réglementaires nationaux. C'est ainsi que la loi sur l'eau de 1992 consacre l'eau en tant que « patrimoine commun de la nation ». La déclinaison de cette orientation générale repose actuellement sur 7 grands principes : (i) une approche intégrée tenant compte des équilibres physiques, chimiques et biologiques des écosystèmes – eaux superficielles et souterraines, quantité et qualité – et de l'ensemble des usages ; (ii) un territoire adapté à la gestion des ressources en eau : le bassin hydrographique ; (iii) une gestion décentralisée et des décisions locales (collectivités, industriels, agriculteurs) ; (iv) une concertation et une participation des diverses catégories d'utilisateurs ; (v) des instruments économiques d'incitation : principe du « pollueur-payeur » et « usager-payeur » ; (vi) une cohérence entre politique de l'eau et d'aménagement du territoire ; (vii) une politique intégrée de prévention des risques.

Le respect de ces textes fait l'objet de délégations auprès d'instances régionales et locales au niveau d'un bassin hydrologique. Leur mise en œuvre concrète passe au niveau régional et local par la création de règles ou procédures. Ces règles plus ou moins explicites résultent de négociations entre les différents acteurs concernés dont les intérêts sont par essence divergents. Or, ces négociations s'opèrent bien souvent sans vision des conséquences de l'adoption de ces règles tant au niveau global qu'individuel. Ainsi, on

constate dans de nombreux cas qu'elles sont fortement tributaires des rapports de force entre les différents partenaires.

En visant la dimension agricole du problème, l'objectif du simulateur présenté ici est de fournir un moyen de tester des règles de partage de ressources en eau dans le cadre concret d'une association syndicale autorisée (ASA) coresponsable de la gestion d'un bassin. À ce niveau, deux types d'acteurs sont concernés : les agriculteurs consommateurs et le président de l'ASA fournisseur d'eau (instance responsable au niveau local). Ce dernier est lui-même en relation avec les autres acteurs du système que sont les communes, les associations de protection de la nature, les pêcheurs, les professionnels du tourisme, les industries et la puissance publique. Ce simulateur vise ainsi à fournir une aide à la négociation, d'une part entre agriculteurs et gestionnaire de l'ASA, et d'autre part entre gestionnaire de l'ASA et les différentes instances impliquées au niveau local et régional.

Ce simulateur est conçu comme un système dynamique animé par des agents qui interagissent entre eux et avec leur environnement. À ce titre, il s'agit d'un simulateur multi-agent (SMA). Dans une perspective de modélisation interactive et incrémentale¹ (Attonaty *et al.*, 1999), la situation concrète de la gestion d'un bassin versant réel fut choisie, nous permettant ainsi de rester en relation forte avec des acteurs en prise avec ce type de négociation.

Nous n'avons pas voulu internaliser la négociation ; l'instrument proposé offre la possibilité de

1. On entend par modélisation interactive et incrémentale une modélisation qui repose sur des allers-retours nombreux avec les acteurs de terrains et qui de ce fait se construit progressivement.

Les contacts

a. Cemagref, UMR G-EAU, équipe Irrigation, 361, rue Jean-François Breton, BP 5095, 34196 Montpellier Cedex 5

b. INRA, station d'économie et de sociologie rurales, 94205 Ivry-sur-Seine Cedex

c. INRA, station d'économie rurale, BP 01, 78850 Grignon

tester des règles de confrontation de l'offre et de la demande. L'objectif est alors de les mettre en œuvre et d'exhiber leurs conséquences tant au niveau individuel que collectif selon différents critères : économique, environnemental et éthique (Le Bars, 2003). Ce faisant, il s'agit alors de représenter pour les agriculteurs les règles de demande en eau et pour le(s) fournisseur(s), la réponse à ces demandes en fonction des règles de gestion des conflits entre les volumes demandés et le volume d'eau disponible. Cette contractualisation entre agriculteurs et fournisseurs d'eau est mise en place avant la campagne d'irrigation ; le climat et ses conséquences (donc le volume disponible de la ressource) ne sont alors pas connus (Le Bars *et al.*, 2004).

Problématique du bassin versant choisi

Le choix du bassin versant résulte d'un projet mis en place à l'instigation du conseil général du Tarn-et-Garonne dans le cadre de la gestion du bassin de la Lère, affluent de l'Aveyron (France). Les enjeux principaux mis en avant étaient (i) les crues d'automne et de printemps de l'Aveyron, (ii) les besoins en eau croissants d'une agriculture vitale pour le département, (iii) les problèmes de pollution engendrés par les débits d'étiage trop faibles et leurs conséquences sur la faune et la flore aquatique, (iv) la qualité des eaux pour l'alimentation en eau potable (Carmona, 2004). Un groupe de travail a été constitué. Il rassemble des agriculteurs de la région, des responsables de l'administration, la chambre d'agriculture, le fournisseur d'eau (président de l'ASA), le centre de gestion. Les données collectées et les grandes lignes du modèle sont discutées régulièrement dans un processus alliant des phases de modélisation et de restitution aux acteurs de terrain.

L'ASA a deux types de ressources à gérer :

- un cours d'eau : la rivière La Lère ;
- trois retenues : Gouyre, Tordre et Gagnol.

L'eau est fournie différemment selon le type de ressource : rivière ou retenues.

La distribution de l'eau de la rivière

L'eau de la rivière est distribuée en fonction de son débit instantané, de son débit objectif d'étiage (DOE) et de son débit de crise (DCR). Lorsque le débit de la rivière est compris entre le DOE et le DCR, un coefficient de restriction est appliqué aux débits individuels. En dessous du DCR,

l'irrigation est interdite. Ces informations sont connues de la rivière qui les tient à la disposition du président de l'ASA.

La distribution de l'eau des retenues

Pour les retenues, le niveau d'eau en début de campagne (généralement avril) détermine les volumes d'eau attribués à chaque agriculteur. Le volume d'eau utilisable pour l'irrigation tient compte des autres fonctions remplies par ces retenues :

- le soutien d'étiage ;
- les activités touristiques ;
- les contraintes écologiques (nidification par exemple) ;
- des contraintes imposées par EDF ;
- une des trois retenues (Gagnol) est également un réservoir en eau potable et l'ASA peut être amenée, en cours de campagne, à l'alimenter à partir d'une autre retenue (Tordre) si la qualité de l'eau de celle-ci est satisfaisante ;
- enfin, l'ASA maintient un équilibre entre les niveaux des trois réservoirs et peut être conduite à alimenter un lac à partir d'un autre.

La négociation entre l'ASA et les agriculteurs

Elle vise à contractualiser la fourniture d'eau aux agriculteurs. Elle comporte plusieurs phases :

- en début de campagne, un contrat initial fixe un volume maximum d'eau accessible au niveau de chaque exploitation. Le volume disponible de la ressource n'est alors pas connu ;
- en cours de campagne, en fonction du climat et de l'état de la ressource en eau, agriculteurs et ASA peuvent être amenés à réviser les quantités d'eau utilisées dans la limite du volume d'eau contracté initialement. Ces révisions se font sans processus de renégociation.

La négociation initiale se fait par échange de messages successifs.

La modélisation

Structure générale du simulateur

Chaque année se décompose en plusieurs phases (figure 1) :

- initialisation de la simulation,
- une phase de décision d'assolement,

- une phase de contractualisation,
- une phase de jeu de la nature,
- une phase de synthèse des résultats.

L'INITIALISATION DE LA SIMULATION

Cette initialisation détermine la séquence des types d'années climatiques, la population initiale d'agriculteurs.

LA PHASE DE DÉCISION D'ASSOLEMENT

Les agriculteurs décident alors sans connaître le climat de l'année.

LA PHASE DE CONTRACTUALISATION

Elle se construit au travers d'une négociation itérative d'échange entre les deux types de protagonistes :

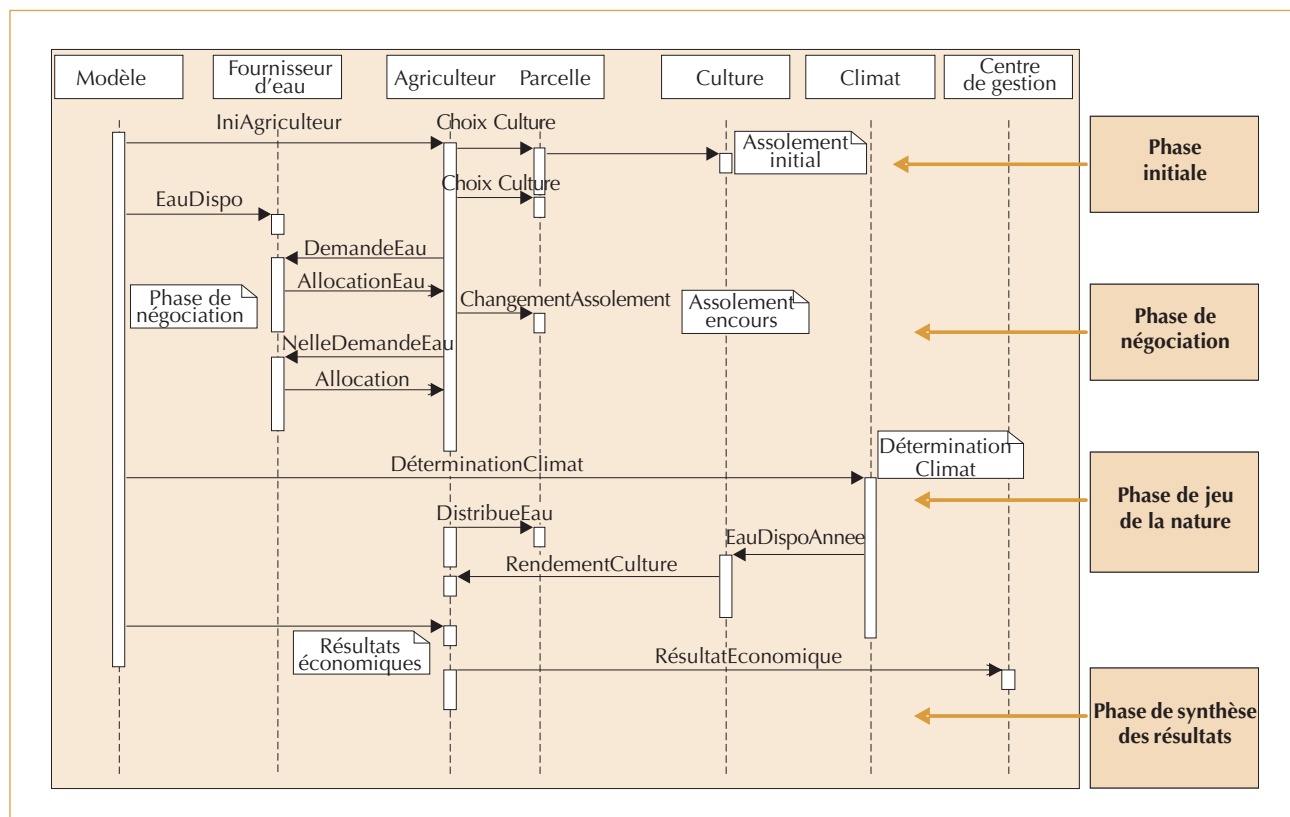
- les agents « Agriculteurs » déterminent en fonction de leur assolement et de leur comportement, la quantité initiale d'eau d'irrigation à négocier auprès du fournisseur d'eau sans connaître, à l'évidence, le climat à venir. Ils envoient cette demande au fournisseur d'eau ;

– l'agent « Fournisseur d'eau » récapitule l'ensemble des demandes, les traite de façon égalitaire sans tenir compte de leur ordre d'arrivée, et adresse à chaque agriculteur le volume d'eau proposé. Ce volume satisfait la demande si la capacité à fournir est supérieure à l'ensemble des demandes, sinon le fournisseur d'eau propose à chacun un volume en fonction des règles d'affectation testées. Il s'en suit un processus de négociation itératif : les agriculteurs acceptent ou non la proposition, envoient ou non au fournisseur d'eau une nouvelle demande qui pourra être identique à la précédente. Le fournisseur d'eau traite ces demandes comme précédemment. Le processus s'arrête quand toute l'eau a été attribuée ou lorsqu'il n'y a plus de nouvelles demandes de la part des agriculteurs.

LA PHASE DE JEU DE LA NATURE

Le climat est tiré au hasard. Les cultures déterminent la méthode à utiliser pour calculer les rendements en fonction du climat et de l'eau apportée. Le choix de la méthode dépend du niveau de satisfaction des cultures au regard du climat de l'année et de l'irrigation effectivement simulée.

▼ Figure 1 – Les différentes phases du modèle.



2. *Unified Modeling Language*, en français « langage de modélisation objet unifié ».

3. *The Foundation for Intelligent Physical Agents*.

LA PHASE DE SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

En fin de campagne, les agriculteurs récoltent leurs cultures et établissent leur revenu de l'année : (i) les rendements des cultures sont fonction du climat de l'année et de l'eau apportée ; (ii) les informations concernant cultures, rendement, consommation d'eau et résultats économiques sont collectées par le centre de gestion qui fait alors la synthèse et la renvoie à chaque agriculteur ; (iii) chaque agriculteur peut alors modifier l'ordre de préférence de ses cultures et décider d'augmenter ou non sa surface irrigable pour la campagne à suivre.

Les interactions entre agents

Une interaction « est une mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques. Les interactions s'expriment ainsi à partir d'une série d'actions dont les conséquences exercent en retour une influence sur le comportement futur des agents » (Ferber, 1995).

ORGANISATION GÉNÉRALE DES AGENTS

Le modèle général est représenté par le diagramme de classes simplifié UML² (figure 2).

On distingue les classes principales : la classe « Agriculteur », la classe « Fournisseur d'eau » (ASA), la classe « Retenue d'eau » (barrages et lacs collinaires) et classe « Cours d'eau ». Elles héritent d'une classe générique « Agent » qui est définie par :

- un type (agriculteur ou fournisseur d'eau) ;
- des plans, des objectifs, des croyances, des intentions ;
- les boîtes aux lettres contenant l'historique des messages reçus et envoyés. Cet historique permettra, par exemple, aux agents agriculteurs de faire une demande en eau en ayant en mémoire la demande précédente et l'eau accordée par l'agent fournisseur d'eau.

Les classes **Plan**, **Objectif**, **Croyances**, **Message**, pointent vers un objet de la classe *Compilateur*. Celle-ci contient un analyseur lexical, un analyseur syntaxique, une méthode de stockage sous forme d'arbre binaire et un évaluateur d'arbre.

La classe **Agriculteur** est définie par un type (céréalière, maïsiculture) ; il est irriguable ou non ; il possède des parcelles, une surface à irriguer totale. Différentes méthodes importantes pour la demande en eau lui sont spécifiques.

La classe **Fournisseur d'eau** contient tous les éléments concernant l'eau à attribuer et les méthodes correspondantes.

Chacune de ces deux classes précédemment définies possède une boîte aux lettres. Celle-ci pointe sur des objets de type message (*classe Message*). Chaque agent dispose en outre d'une méthode de mémorisation des messages qu'il a envoyés. Il dispose également d'une méthode lui permettant d'effectuer une réponse. Par exemple, un protocole possible pour le fournisseur d'eau est celui « de l'attribution de l'eau en fonction de la surface en maïs irriguée ».

L'**environnement** est représenté par trois classes : les classes *Cultures*, *Retenues* et *Cours d'eau*. La présence des autres types d'acteurs du bassin de la Lère est prise en compte directement dans le comportement du fournisseur d'eau qui les intègre comme contraintes.

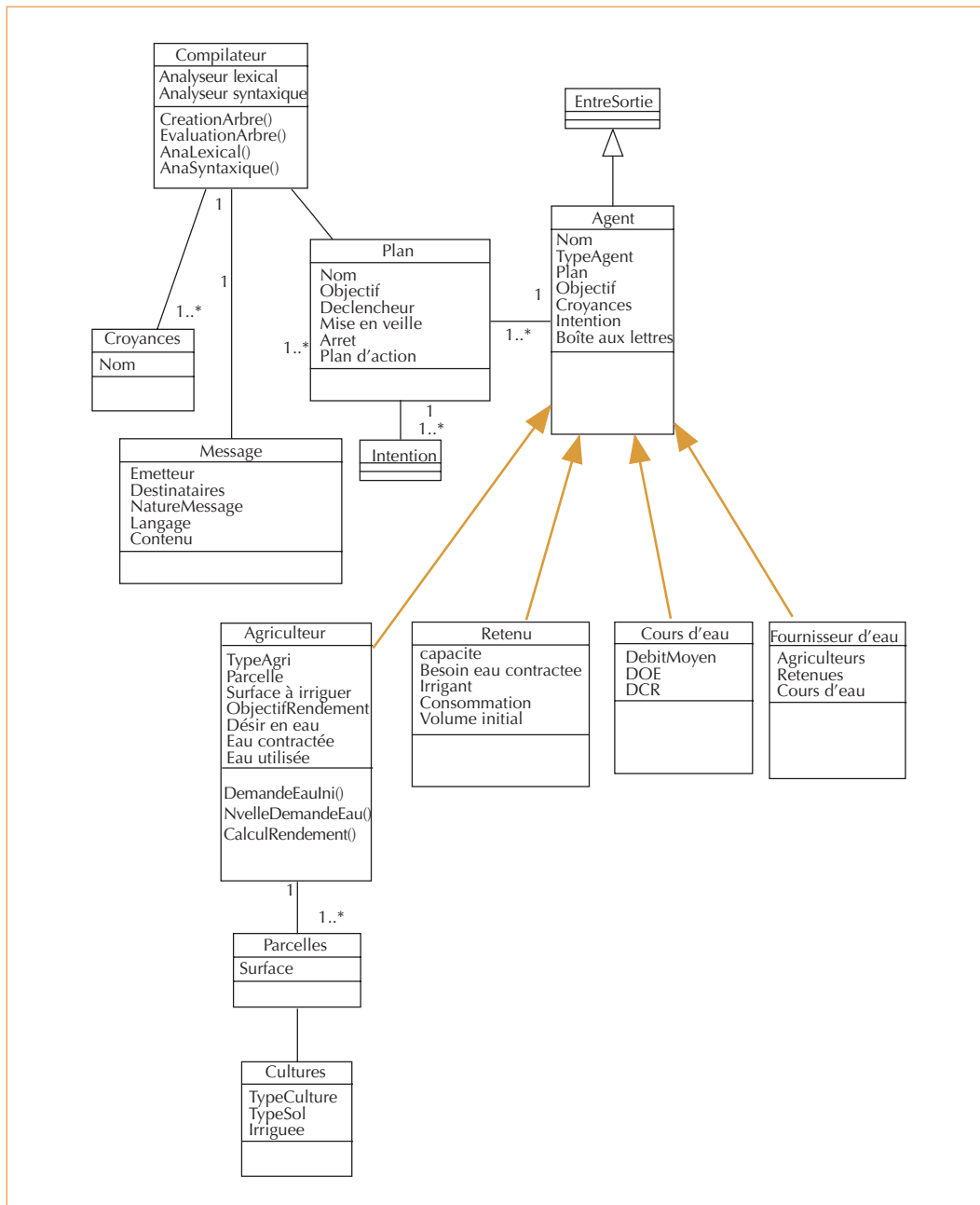
LA COMMUNICATION ENTRE AGENTS

Les interactions entre agents passent par l'émission et la réception de messages. Ces messages se concrétisent dans le cadre d'un langage. La structure d'un message est caractérisée par un émetteur et un destinataire, un performatif (type d'échange : demande, refus, réponse, demande...), un contenu qui met en œuvre des phrases bien construites en fonction d'un langage commun. Elle s'inspire de la structure définie dans les normes FIPA³, mais substitue aux langages généraux un langage dédié au problème posé.

En concevant l'ontologie du problème, il s'agit de se rapprocher au maximum du langage des différents acteurs et de simplifier la compréhension des messages. L'implémentation de cette ontologie et du langage associé passe par l'élaboration de lexiques et de grammaires (Aho *et al.*, 1986), de logiciels interpréteurs ou parseurs ou compilateurs.

LA NÉGOCIATION EN DÉBUT DE CAMPAGNE

Chaque agent qui effectue une demande a son propre objectif à atteindre. Ces agents peuvent être coopératifs ou non avec les autres agents situés dans l'environnement dans le sens où chacun peut informer ou non les autres. L'agent fournisseur d'eau a pour rôle de partager au mieux la ressource en tenant compte de l'ensemble des demandes des agents agriculteurs et des contraintes liées à la satisfaction des objectifs portés par les acteurs non modélisés dans le sys-



◀ Figure 2 – Diagramme de classes UML (simplifié).

tème. Il connaît les contraintes liées aux autres acteurs non modélisés et possède une vision centralisée pour résoudre les conflits. Il reçoit les informations provenant de l'ensemble des agents agriculteurs. Il possède ainsi une vision centralisée pour résoudre les conflits et peut, le cas échéant, adapter ces propositions au comportement des agriculteurs (par exemple en relation avec leur niveau d'exigence).

ADAPTATION DU CONTRAT INITIAL EN COURS DE CAMPAGNE

Le contrat initial peut être adapté en cours de campagne sans que des renégociations soient envisagées. Ces adaptations conduiront à une plus ou moins grande satisfaction des besoins en eau (hors pluviométrie) des agriculteurs. Il est plus ou moins bien couvert par le contrat initial souscrit. Deux cas univoques peuvent se

► Figure 3 – Graphe de transition des états de la négociation.



produire en fonction du climat de l'année : soit les agriculteurs demandent moins d'eau que la quantité contractée, soit le fournisseur d'eau restreint autoritairement la fourniture par manque de disponibilité.

Le processus d'échange (figure 3) distingue deux types d'agents : d'une part, celui qui émet une demande (agent A) et d'autre part, celui qui a rôle de décideur pour l'allocation de la ressource (agent D). Cette négociation se déroule en plusieurs phases indépendantes du temps de la simulation.

Lorsque l'agent A envoie sa demande à l'agent décideur D (état 1, figure 3), celui-ci calcule le total des demandes et évalue en fonction de la

quantité totale disponible ce qu'il peut attribuer à chaque agent qui fait une demande d'allocation de la ressource (état 2). Chaque agent A reçoit une proposition qu'il compare à sa demande initiale (état 3). Cet agent A répond au message de l'agent décideur D. Deux solutions sont possibles : soit l'agent A accepte la proposition (état 4), soit il la refuse (état 5). Si l'agent A accepte la proposition, celui-ci se retire du processus de négociation (état 6). Dans le cas contraire, l'agent A peut soit renvoyer la même demande que celle faite initialement (état 7), soit formuler une nouvelle demande (état 8). L'agent décideur D réévalue l'ensemble des demandes (état 9) et envoie une proposition à chaque agent qui reste dans le pro-

cessus de négociation (état 10). Le processus se termine lorsqu'il n'y a plus de demande ou lorsque la ressource n'est plus disponible (état 11).

Le modèle d'agents

Pour implémenter le processus décisionnel des agents fournisseurs d'eau et agriculteurs, nous nous sommes inspirés du formalisme BDI⁴ (Rao et Georgeff, 1995 ; Georgeff et al, 1999), et plus particulièrement de l'architecture PRS⁵ (Georgeff et Landsky, 1987). Cette architecture est illustrée sur la figure 5 (page 44), qui correspond à l'exemple de l'agent fournisseur d'eau.

Elle comporte :

- **une base de croyances** contenant les croyances et les faits courants sur l'environnement. Ces données peuvent être des données factuelles (surface, nombre de parcelles...) ou des perceptions (croyances) que l'agent a du monde à un moment donné (par exemple, les anticipations pour la campagne d'irrigation). Cette base est mise à jour à la suite de changements de l'environnement (niveau d'une ressource, événements climatiques, interdiction préfectorale...) ou de messages provenant des autres agents ;

4. *Belief, Desire, Intention.*
5. *Procedural Reasoning System.*

▼ Figure 4
– Caractéristiques, historique et définition d'un plan.

The screenshot displays three windows from a software application:

- FenReservoirFrm:** Shows characteristics for the 'Gouyre' reservoir. A table lists: Capacité (3 300 000), Besoin Irrigation (2 000 000), Besoin Eau Potable (0), Evaporation (300 000), and Besoin APN (650 000). A callout box points to this table: "Caractéristiques d'un des réservoirs : capacité, besoin pour l'irrigation, besoin eau potable...".
- FenResHistof m:** Shows a historical table for 'Gouyre' from 1991 to 1997. A callout box points to the table: "Historique sur le réservoir : consommation, volume disponible en début de campagne, volume prélevé sur l'année...".
- FenResPlanFrm:** Shows a plan named 'Remplissage'. It includes documentation, triggers (PrixKw < 30, ET Volume < 3 000 000, ET Date > 1503), and a program (Pomper(Aveyron) 3000, PomperVers(Tordre) 1000). A callout box points to this window: "Définition d'un plan".
- Lexique Ré...:** A lexicon window for 'Lexique Réservoir' containing terms like Date, PrixKw, Niveau(...), Volume, and PomperVers(...). A callout box points to it: "Lexique propre à la ressource réservoir".

6. Raisonnement des moyens sur les bases d'une fin.

– **un ensemble d'objectifs courants** (*Desires*). Ils sont constitués d'objectifs initiaux qui vont s'enrichir de sous-objectifs au cours de la simulation ;

– **une bibliothèque de plans**. L'ensemble de ces plans correspond à l'ensemble des stratégies dont l'agent dispose pour atteindre ses objectifs et sous-objectifs et faire face aux aléas. Ces plans peuvent être partiels et ils seront complétés dynamiquement en cours de simulation. La formulation d'un plan fait appel à un langage fondé sur une ontologie. Un plan exprime les conditions à vérifier pour son déclenchement, sa mise en veille, son abandon et son plan d'action. Ce plan peut modifier la liste des objectifs courants (ajout, suppression, mise en veille), envoyer des messages, décider d'action telle que l'irrigation et faire évoluer la base de croyances. Ce plan d'action est exprimé sous forme de règles de décision *Si... alors* (logique des propositions). Un exemple de plan est présenté sur la figure 4 (page 43) ;

– **les intentions** qui correspondent aux sous-ensembles de plans (et sous-plans) en attente d'exécution à un moment donné. Ce sont des plans provenant de la bibliothèque de plans et instanciés au regard de la situation en cours. Ils sont poursuivis jusqu'à ce qu'ils soient atteints,

abandonnés prématurément si l'agent les juge hors d'atteinte ou incompatibles avec un objectif supérieur ;

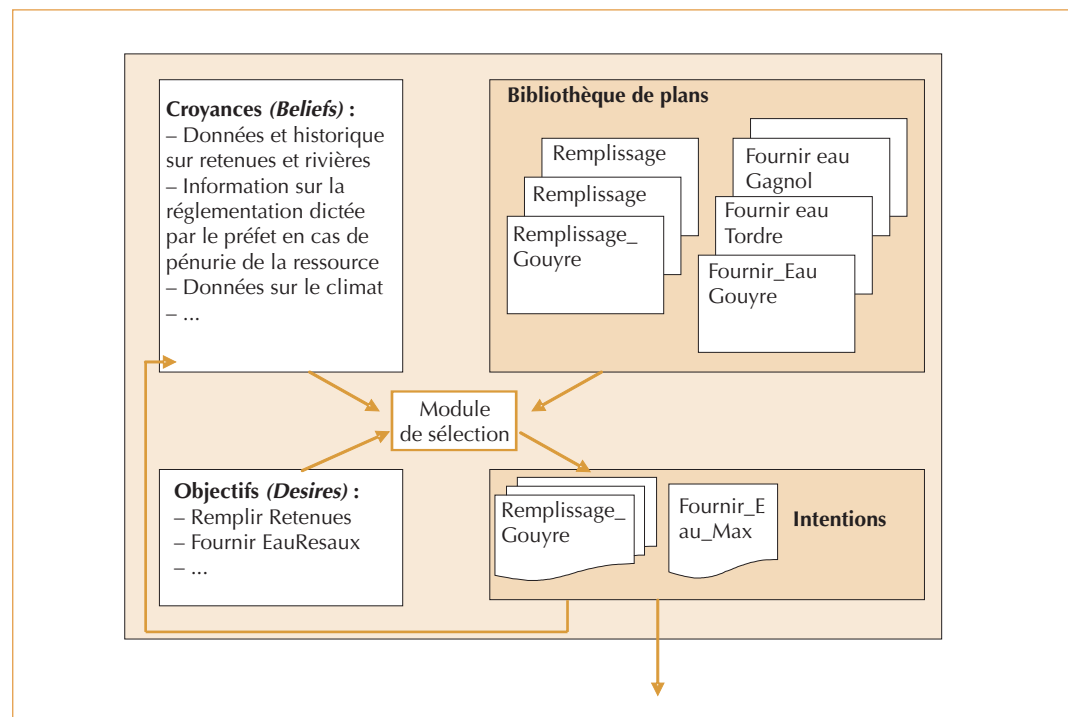
– **le module de sélection**. En fonction des objectifs et des croyances en cours, il recherche éventuellement les plans aptes à satisfaire de nouveaux objectifs en les plaçant dans la liste des intentions. Il gère l'exécution des plans qui satisfont leurs conditions de déclenchement. Il peut être amené à gérer les conflits entre différents objectifs en observant une hiérarchie d'objectifs.

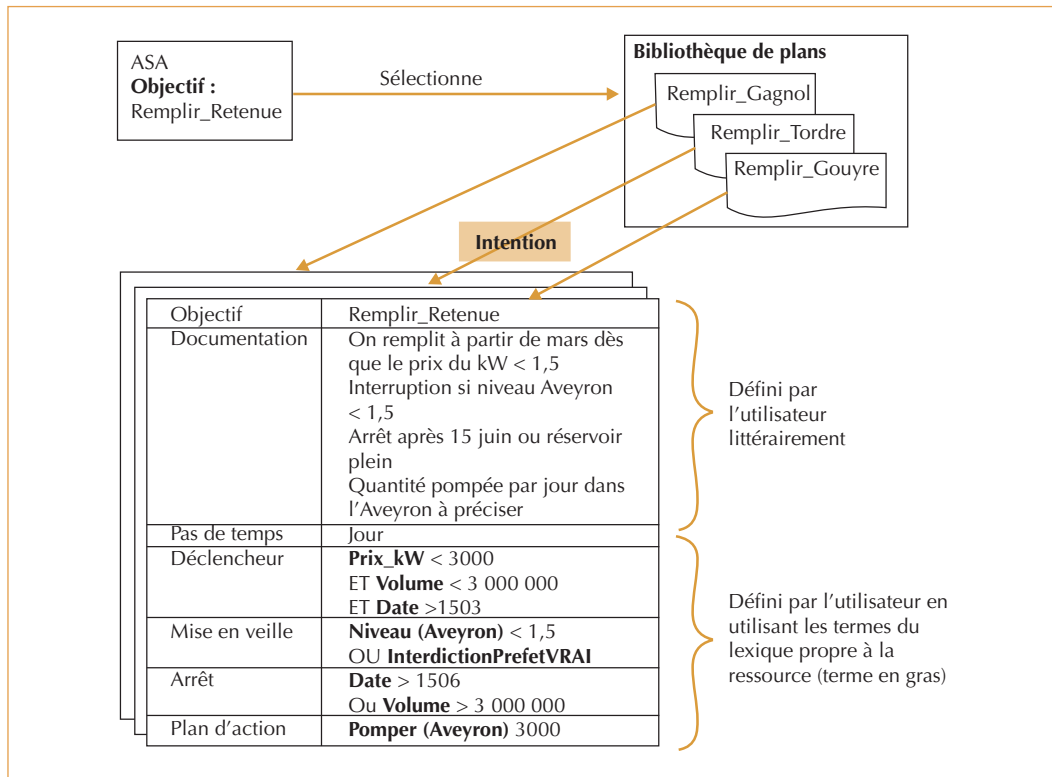
Le concept de plan de type « *means end reasoning* »⁶ est au centre de notre approche. En illustration, nous présentons l'exemple du déclenchement d'un ensemble de plans qui alimentent les intentions (figure 6).

L'ASA peut avoir un certain nombre d'objectifs. Ces objectifs peuvent être par exemple « Remplir_Retenues » et « Fournir_Eau_Adhérent ». Chacun de ces objectifs va déclencher des plans soit en parallèle, soit de manière successive.

Pour l'objectif « Remplir_Retenu », les plans dont l'objectif est « Remplir_Gouyre », « Remplir_Tordre », « Remplir_Gagnol » peuvent être déclenchés en parallèle (figure 6), mais doivent respecter des conditions propres à chacun de

► Figure 5 – Architecture de l'agent fournisseur d'eau (ASA).



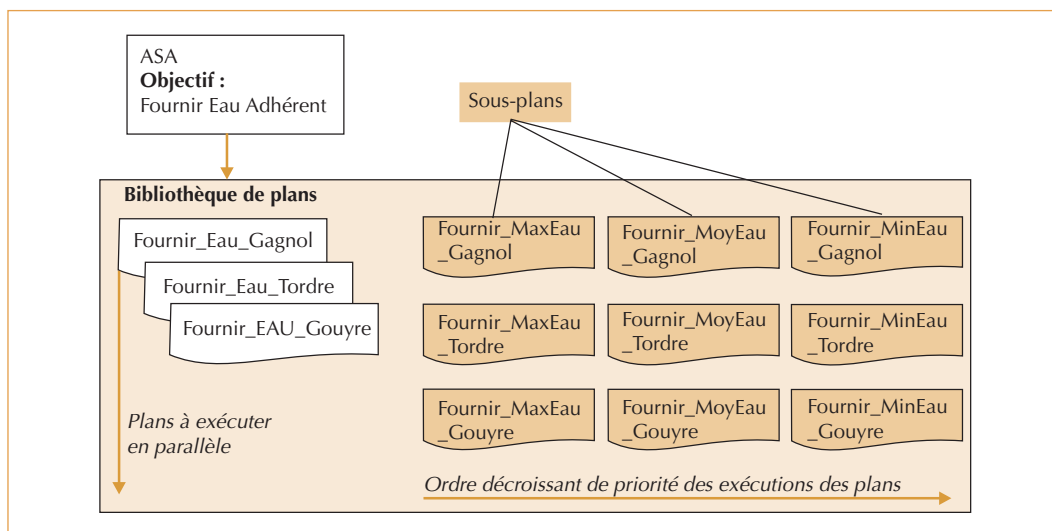


◀ Figure 6 – Plans exécutés en parallèle.

ces plans. Ici (figure 6), le plan d'action consiste à pomper dans l'Aveyron 3 000 litres par jour tant que la condition d'arrêt ou de mise en veille n'est pas atteinte.

Le deuxième exemple (figure 7) présente le déclenchement de plans concurrents en réponse à

l'objectif « Fournir_Eau_Agriculteur ». Cet objectif principal est décomposé en trois sous-objectifs à conduire en parallèle « Fournir_Eau_Gouyre », « Fournir_Eau_Tordre », « Fournir_Eau_Gagnol ». Chacun de ces objectifs peut être couvert par trois plans élémentaires qui correspondent à trois niveaux de fourniture par rapport à la satisfaction



◀ Figure 7 – Plans exécutés en parallèle et en séquentielle.

du contrat initial. Le choix du plan à exécuter répondra aux règles de déclenchement les plus restrictives.

Résultats

Cette expérimentation sur modèle a consisté à comparer les conséquences de différentes règles d'attribution plus ou moins myopes (un extrême étant une attribution au prorata de la demande). Cette comparaison s'est appuyée sur différents points de vue : économique (marges individuelles et collectives), éthique (critères de disparités entre les différents agriculteurs), environnemental (eau attribuée, restante, consommée – Le Bars, 2003).

De ces premiers tests réalisés à partir de ce prototype simplificateur ont émergé des premiers résultats pertinents. Ainsi, la diminution de l'asymétrie de l'information entre différentes classes d'agriculteurs s'est accompagnée d'une diminution de la disparité et d'une efficacité plus grande de la ressource en terme de marge globale (Le Bars, 2003).

Le système MangaLère propose une modélisation des stratégies des différents acteurs, principalement les agriculteurs et le fournisseur d'eau. Cette approche nous a permis de structurer la connaissance sous forme de plans. Ce formalisme a servi de base de discussion avec les décideurs locaux (représentants de l'État, fournisseurs d'eau...).

Discussion – Conclusions

Deux types de résultats sont à mettre à l'actif de ce travail réalisé avec le groupe de travail du bassin de la Lère : la formalisation du fonctionnement des différents acteurs au travers des trois concepts *Belief-Desire-Intention* (BDI) et l'expérimentation sur modèle de règles d'interaction ASA/agriculteurs.

Concernant le premier point, les concepts initiés par Bratman *et al.* (1988) nous ont paru être un support pertinent aux paradigmes de rationalité limitée, adaptative et procédurale (Simon, 1947 ; 1958 ; 1969 – encadré 1).

Nous avons essentiellement adopté le concept de planification au sens du terme en usage en intelligence artificielle, c'est-à-dire (Pollack, 1992) « *the process of formalising a program of action to achieve some specified goal* » (processus de formalisation d'un programme d'action en vue de

Encadré 1

Les paradigmes de rationalité limitée, adaptative et procédurale

Ils s'opposent à celui de la rationalité complète où le décideur dispose d'une connaissance parfaite ou probabilisable des différents états possibles du monde et de capacités de calcul suffisantes pour faire émerger une solution optimale. La rationalité limitée se décline principalement dans un univers incertain et le processus de recherche de solution du décideur tend à limiter cette recherche à celle d'une solution satisfaisante. S'agissant de la rationalité adaptative, elle est fondée sur l'expérience qu'acquiert le décideur au travers d'essais-erreurs obtenus dans une gamme de situations vécues. L'hypothèse de rationalité procédurale suggère que le décideur dispose de procédures préétablies pour répondre à des situations qu'il analyse comme connues. Ces trois hypothèses de rationalité apparaissent comme complémentaires et reposent sur des hypothèses de fonctionnement des décideurs plutôt que sur l'adhésion à l'idée qu'il existe pour tout problème une solution optimale indépendante de la vision des acteurs.

réaliser certains objectifs). Plus particulièrement, au travers des BDI, un plan est un moyen, une « recette » (Bratman *et al.*, 1988 ; van der Hoek et Wooldridge, 2003) utilisable par un agent pour atteindre un état du monde souhaité et pour décider pas à pas des actions à entreprendre (van der Hoek et Wooldridge, 2003).

Au travers de la formalisation des plans, nous nous sommes attachés à initier le processus de choix des intentions au cœur du fonctionnement des agents BDI. C'est ainsi que nous leur avons associé (i) des objectifs et des conditions de déclenchement qui permettent à un plan de s'activer en tant qu'intention, (ii) des conditions de mise en veille et d'arrêt chargées de contrôler l'exécution de l'intention et (iii) un plan d'action défini plus ou moins partiellement. Contrairement à l'usage de la logique multimodale en vigueur dans les modèles BDI pour choisir les règles à déclencher, nous avons opté pour une règle très simple : commencer par tenter de déclencher les règles les plus contraignantes. Nous avons par contre investi dans une ontologie du problème

dans la perspective de doter le groupe de travail d'un langage commun non ambigu. Ce premier point, comme souvent lors d'un processus de modélisation interactive s'est avéré essentiel à la compréhension (l'intelligence) du problème par les acteurs.

En parallèle au processus d'implémentation d'un modèle conceptuel, l'utilisation d'un prototype nous a permis de réfléchir précocement aux types d'enseignement que nous étions en droit d'attendre des expérimentations sur modèle. Des résultats pertinents ont émergé des premiers tests. Pour une règle simple de satisfaction de la demande (ressource accordée proportionnellement au niveau de la demande), nous avons ainsi testé la performance du système en fonction

de différentes populations d'agriculteurs classés selon leur attitude plus ou moins opposée à la prise de risque. Ces premiers résultats ont mis l'accent sur la disparité qu'engendre ce type de contractualisation et ont initié une série de tests portant soit sur les règles d'attribution de l'ASA, soit sur la visibilité de l'information. C'est ainsi que dans le second cas, le fait de rendre visibles les performances des agriculteurs en fonction de leur appartenance à une classe plus ou moins « gourmande » s'est accompagné d'une diminution de cette disparité (performance individuelle) pour une performance globale du système comparable. Bien que triviaux, ces premiers résultats ont permis de préciser le problème dans sa double dimension économique et éthique. □

Résumé

En France, l'utilisation de la ressource en eau est soumise au respect de directives européennes et de textes réglementaires nationaux. L'application de ces textes fait l'objet de délégations auprès d'instances régionales et locales au niveau d'un bassin hydrologique. Ces règles plus ou moins explicites résultent de négociations entre les différents acteurs concernés dont les intérêts sont par essence divergents. Or, ces négociations s'opèrent bien souvent sans vision des conséquences de l'adoption de ces règles tant au niveau global qu'individuel. Privilégiant la dimension agricole du problème, l'objectif du simulateur présenté ici est de fournir un moyen de tester des règles de partage de ressources en eau dans le cadre concret d'une association syndicale autorisée (ASA) coresponsable de la gestion d'un bassin. En nous appuyant sur le cas concret de la gestion de la Lère, nous avons testé l'adéquation du formalisme agent BDI (*Beliefs, Desires, Intentions*) à la représentation des acteurs concernés.

Abstract

In France, the use of the water resource is governed by European directives and national regulations. The application of these regulations is delegated to regional and local authorities for each catchment area. These fairly explicit rules result from negotiations between the different participants concerned, whose interests are essentially divergent. These negotiations very often take place without consideration of the consequences of the adoption of the rules, either at the global or individual level. Emphasising the agricultural dimension of the problem, the objective of the simulator presented here is to provide a way of testing the rules for sharing the water resources for the concrete case of an Authorised Syndicated Association (ASA) partly responsible for the management of the basin. By studying the concrete case of the management of the river Lère, we have tested the adequacy of the BDI (*Beliefs, Desires, Intentions*) formalism for representing the players concerned.

Bibliographie

- AHO, A.-V., SETHI, R., ULLMAN, J.-D., 1986, *Compilers : Principles, Techniques, and Tools*, Addison-Wesley Publishing Company.
- ATTONATY, J.-M., CHATELIN, M.-H., GARCIA, F., 1999, Interactive simulation modelling in farm decision-making, *Computers and Electronics in Agriculture*, n° 22, p. 157-170.
- BRATMAN, M.-E., ISRAEL, D.-J., POLLACK, M., 1988, Plans and resource-bounded practical reasoning, *Computational Intelligence*, n° 4, p. 349-356.
- CARMONA, G., 2004, *Modèles de simulation de l'agriculture d'un bassin versant. Application au bassin Aveyron aval-Lère*, Master professionnel Gestion des exploitations agricoles et environnement, CIHEAM-IAM Montpellier.
- FERBER, J., 1995, *Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective*, Paris.
- GEORGEFF, M., LANDSKY, A.-L., 1987, Reactive reasoning and planning, in *Proceedings of AAAI-87*, Seattle, USA, p. 677-682.
- GEORGEFF, M., PELL, B., POLLACK, M., TAMBE, M., WOOLDRIDGE, M., 1999, The Belief-Desire-Intention Model of Agency, in *Intelligent Agents V* (eds J.-P. MÜLLER, M. SINGH, A. RAO), vol. 1365, Springer-Verlag Lecture notes in AI.
- LE BARS, M., 2003, *Un simulateur multi-agent pour l'aide à la décision d'un collectif : application à la gestion d'une ressource limitée agro-environnementale*, thèse informatique, Paris IX-Dauphine.
- LE BARS, M., ATTONATY, J.-M., FERRAND, N., PINSON, S., 2004, An Agent-Based Simulation testing the impact of water allocation on collective farmers' behaviours. *Simulation. A Special Issue on : Applications of Agent-Based Simulation to Social and Organisational Domains*.
- POLLACK, M.E., 1992, The uses of plans, *Artificial Intelligence*, n° 57, p. 43-68.
- RAO, A. GEORGEFF, M., 1995, BDI Agents : From Theory to Practice, in *International Conference of MultiAgent Systems (ICMAS)*, p. 39-65.
- SIMON, H.-E., ed., 1947, *Administrative Behaviour*, MacMillan, New-York.
- SIMON, H.-E., 1958, *Rational choice and the structure of the environment*, MIT Press, Cambridge.
- SIMON, H.-E., 1969, The Sciences of the Artificial, in MIT Press, Cambridge, VAN DER HOEK, W., WOOLDRIDGE, M., 2003, Towards a Logic of Rational Agency, *Logic Journal of IGPL*, n° 11, p. 133-157.