

---

# Analyse multi-agents de la gestion hydraulique de la Camargue : considérations méthodologiques <sup>1</sup>

**Nathalie Franchesquin — Bernard Espinasse**

*DIAM-IUSPIM, Université Aix-Marseille,  
Domaine Scientifique de Saint Jérôme, 13397, Marseille, Cedex 13, FRANCE,  
tel: ++33 (0)4 91 05 60 30 - fax: ++33 (0)4 91 05 60 33  
e-mail : [franches@cybercable.tm.fr](mailto:franches@cybercable.tm.fr)  
e-mail : [bernard.espinasse@iuspim.u-3mrs.fr](mailto:bernard.espinasse@iuspim.u-3mrs.fr)*

---

*RESUME. Dans un écosystème fortement anthropisé les dynamiques écologiques et sociales interagissent. La gestion de ces écosystèmes consiste généralement à préserver l'équilibre des milieux naturels tout en assurant le maintien des activités auxquelles ces milieux doivent une part de leurs caractéristiques. Dans ce papier nous décrivons la démarche d'analyse multi-agents que nous avons adopté pour appréhender le fonctionnement hydraulique de la Grande Camargue. Cette modélisation est basée sur deux modèles en interaction : un modèle hydrologique, représentant les échanges d'eau sur ce territoire, et un modèle social, où les agents associés aux acteurs intervenant dans la gestion hydraulique.*

*ABSTRACT. In human-influenced ecosystems, ecological and social dynamics interact. In such fields, the natural resource management aims at protecting natural areas while enabling human activities that concur to these area characteristics. We describe here the analysis model of a multiagent system which aims at simulating the hydraulic management of the Camargue. Our model is based on two interacting models, the first one is a hydrologic model reflecting the subsurface water fluxes, while the other, the social model, represents decision processes in the water management.*

*MOTS-CLES: système multi-agents, écosystème, gestion hydraulique, Camargue, méthodologie.*

*KEY WORDS: multiagent system, ecosystem, hydraulic management, Camargue, methodology.*

---

<sup>1</sup> Cette recherche est financée par le Conseil Régional de Provence, Alpes et Côte d'Azur et développée en collaboration avec le laboratoire DESMID-CNRS.

## 1. Introduction

Cette recherche porte sur la modélisation / simulation de la gestion d'un écosystème fortement anthropisé: la grande Camargue. Plus précisément on s'intéresse à la gestion hydraulique de la grande Camargue, espace entièrement endigué compris entre les deux bras du Rhône et à son impact sur l'écosystème. Cette zone humide, mondialement connue pour la variété de sa faune et de sa flore halophiles, est soumise à des pressions anthropiques basées sur une valorisation de l'espace par l'agriculture, la chasse et la pêche. Ces activités nécessitent d'importants apports d'eau douce qui pourraient mettre en péril les caractéristiques de cet écosystème. L'intervention de l'homme sur ce delta, à travers sa gestion hydraulique, conditionne l'existence et le fonctionnement de cet écosystème associé à l'image actuelle de la Camargue [Pic 88].

Dans la perspective d'une gestion intégrée de l'eau en Camargue et du développement durable de cette région, le développement d'un système modélisant et simulant la gestion hydraulique et ses effets sur l'écosystème doit contribuer à une réflexion collective devant permettre d'améliorer cette gestion, c'est l'objet de cette recherche. La distribution des décisions et l'importance de l'organisation sociale associées à la gestion de cet écosystème nous ont conduit à opter pour une modélisation et une simulation orientées agent.

On assiste actuellement à l'émergence d'une "ingénierie agents" qui se traduit par la proposition de méthodologies ou plus modestement d'éléments méthodologiques spécifiques au développement de systèmes multi-agents (SMA). Dans ce papier, après avoir introduit la problématique de notre modélisation multi-agents, nous faisons un point rapide sur les éléments méthodologiques multi-agents actuellement proposés et présentons le cadre de modélisation et la démarche que nous avons retenue pour notre recherche. Les sections suivantes illustrent nos options méthodologiques sur ce cas concret en présentant en détail les modèles d'organisation et d'agents développés pour la gestion hydraulique de la grande Camargue. Enfin nous concluons sur l'état d'avancement de notre recherche et sur un bilan relatif à nos choix méthodologiques.

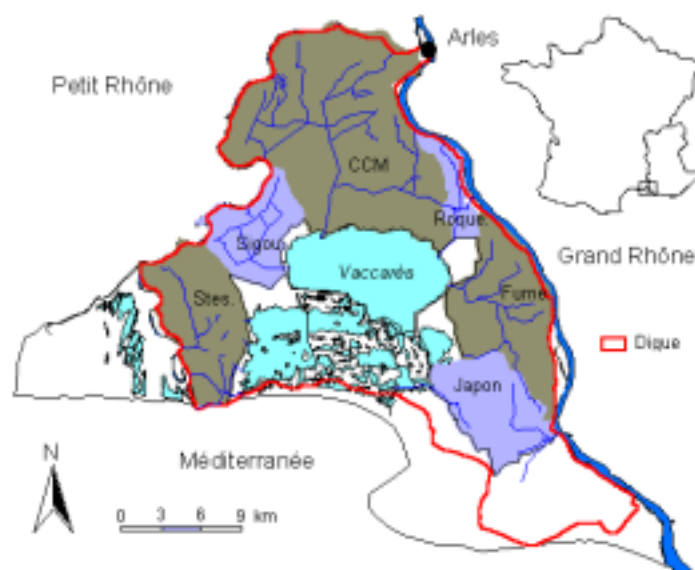
## 2. Problématique de la gestion hydraulique en Camargue

Située dans le delta du Rhône, la Camargue est une plaine alluviale soumise aux influences d'une nappe phréatique salée et affleurante et du climat méditerranéen. Sa mise en valeur résulte de l'introduction massive d'eau douce qui compense le déficit hydrique et lessive les sols de leur sel permettant ainsi le développement d'activités agricoles, salinières, touristiques, de chasse et de protection de la nature.

D'un point de vue hydrologique, ce delta se comporte comme le bassin versant du système des étangs centraux. L'eau s'écoule ainsi du Rhône vers un système d'étangs ou "système Vaccarès". Les importants apports d'eau douce nécessaires à l'agriculture ont conduit à poldériser une partie de ce delta. La gestion des eaux de

drainage est actuellement assurée par des associations hydrauliques d'assainissement qui drainent les excédents d'eau provenant des exploitations vers le Rhône ou vers le système Vaccarès.

L'organisation de la gestion hydraulique sur l'ensemble du territoire, peut être décrite selon deux niveaux : un niveau global concernant l'ensemble du territoire qui définit les orientations en matière de gestion avec notamment la définition d'un objectif décrit par un niveau et une salinité de l'étang du Vaccarès, un niveau de réalisation où les acteurs gèrent les flux d'eau sur leur domaine d'intervention.

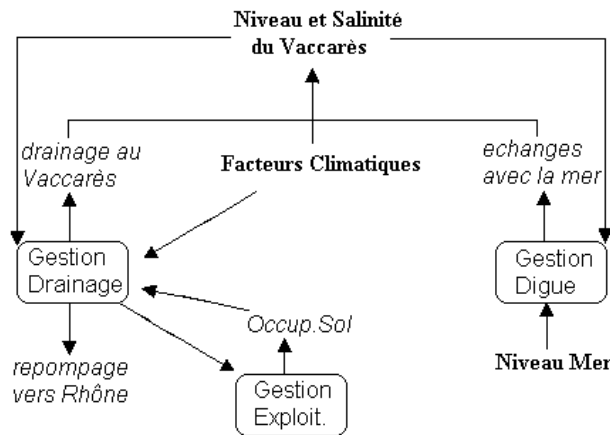


**Figure 1.** Périmètre des associations de drainage en Grande Camargue (source : SIG Camargue).

A la suite des inondations de 1993 et 1994 et dans la perspective d'une gestion intégrée des eaux en Camargue, une commission exécutive de l'eau a été mise en place. Réunie sous l'égide du Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC) ses objectifs sont d'obtenir un consensus entre les représentants des différentes activités et des organismes publics sur l'état hydro-salin et biologique du système Vaccarès, siège de la réserve Nationale de Camargue. Le PNRC doit "*assurer la maîtrise globale de la gestion hydraulique sur son territoire*" (extrait de la charte du PNRC). Ses actions doivent "*contribuer à un contrôle total des apports en eau au Vaccarès*" [DUC 99]. Les décisions de cette commission définissent un état consensuel de ce système qui constitue un objectif de gestion qui doit être respecté par les acteurs directs de la gestion hydraulique. Elles contraignent en tout premier lieu la gestion des ouvertures de la digue à la mer, et éventuellement la modification des volumes

drainés gravitairement dans l'étang du Vaccarès, ce qui signifie une modification de la gestion hydraulique des associations d'assainissement.

Les acteurs participant directement à cette gestion hydraulique sont (i) les exploitants agricoles concernés par la gestion des parcelles agricoles et des marais de chasse, (ii) les associations hydrauliques chargées de drainer les terres situés sur leur périmètre, et enfin (iii) le PNRC dans son rôle de gestionnaire de la digue à la mer. Comme l'illustre la figure 2, leurs choix influencent le comportement hydrosalin du système Vaccarès. Par exemple les choix d'assolement et de techniques culturales des exploitations agricoles modifient les quantités d'eau à drainer.



**Figure 2.** Gestion hydraulique et échanges d'eau en Camargue.

Les associations hydrauliques de drainage doivent gérer les apports d'eau douce en définissant notamment la proportion d'eau qui sera repompée vers le Rhône et par conséquent celle qui pourra être déversée de façon gravitaire dans le Vaccarès. La gestion de la digue à la mer, consiste, quant à elle, à gérer les échanges entre le système Vaccarès et la mer Méditerranée.

### 3. Démarche méthodologique retenue

#### 3.1 Méthodes ou éléments méthodologiques disponibles

Malgré l'expansion des technologies agents, l'apparition de propositions de méthodes adaptées est récente et ne concerne, pour la plupart de ces propositions que le niveau "analyse" [IGL 99]. A ce niveau il s'agit de décrire les spécifications

fonctionnelles du système à développer (le quoi) en identifiant les agents et les services qui leurs sont associés et en représentant les relations et interactions entre ces différents agents. Le niveau "conception", définissant l'architecture logicielle permettant la réalisation du système (le comment), est actuellement encore mal appréhendé, principalement du fait de l'absence de standard aussi bien pour la définition d'un agent que de son architecture interne.

L'approche orientée-agent consiste à décomposer les problèmes en agents autonomes capables d'interactions de haut niveau et organisés. Les propositions de méthodes, dans la phase d'analyse du système, se concentrent sur les concepts organisationnels visant à décrire l'activité du système. L'identification des rôles y est primordiale.

Ainsi dans la méthode Gaia proposée par Wooldridge, Jennings et Kinny [Woo 00], la construction d'un SMA est vue comme « un processus de conception d'organisation ». La phase d'analyse de Gaia a pour objectif de décrire les rôles et leurs interactions afin d'appréhender l'organisation du système. Deux modèles y sont développés (i) le modèle des rôles où chaque rôle est défini par ses responsabilités, services et protocoles associés et (ii) le modèle d'interaction qui décrit l'ensemble des protocoles utilisés. Dans cette méthode la phase de conception est réduite à la décomposition du système en types d'agents caractérisés par leurs rôles et les relations qu'ils entretiennent entre eux. Cette démarche qui peut s'apparenter à une décomposition fonctionnelle reste volontairement indépendante d'une architecture d'agent en s'attachant à décrire le système sans décrire le détail des entités qui le composent. Elle reste en conséquence très éloignée d'une possible implémentation.

Si la méthode AOM proposée par Kinny [KIN 96] commence également par l'identification des rôles nécessaires pour réaliser l'objectif du système, elle se situe au niveau de la conception et de l'implémentation en posant dès le départ son attachement à l'architecture BDI. Comme la méthode orientée objet OMT dont elle utilise certaines représentations graphiques, elle propose une conception par raffinements successifs des modèles d'agent et d'interactions. Les modèles qui en résultent sont répartis selon deux points de vue (externe et interne) sur le système modélisé. Le point de vue externe présente la description du système par un modèle d'agent consistant en une hiérarchie de classes d'agents permettant de prendre en compte plusieurs niveaux d'abstraction et un modèle d'interactions présentant les rôles tenus par les classes d'agents ainsi que les interactions entre ces classes. Notons que ce dernier modèle n'est pas explicitement décrit. Le développement du point de vue interne consiste à définir les plans pour accomplir un objectif et à construire les croyances de chaque classe d'agent.

D'une façon générale l'extension et l'adaptation de méthodologies orientées objet pour la conception de SMA constitue une des bases des méthodologies orientées agent, comme nous l'avons déjà vu pour AOM et aussi pour [BUR 96], [DEL 99]. Les principales adaptations concernent tout d'abord la structure interne des classes d'agents définies en terme de services et de buts et non plus de méthodes et d'attributs, et ensuite la représentation des interactions. Certaines propositions comme AUML [ODE 00] portent essentiellement sur ce dernier point. Ainsi AUML

spécifie les interactions entre agents selon trois niveaux : le premier niveau décrit le protocole d'interaction de façon globale (package UML), le deuxième niveau utilise les modèles dynamiques d'UML pour formaliser les interactions entre agents et enfin le troisième niveau détaille le comportement interne de l'agent dans cette interaction en raffinant les diagrammes d'activités et les diagrammes d'états.

Notons que l'extension de méthodologies objet ne constitue pas la seule base des propositions de méthodologies agents, d'autres éléments méthodologiques s'inspirent des méthodes formelles existantes (Z et B), sont issus de l'ingénierie de la connaissance ou enfin s'inspirent de la spécification des workflows comme dans [KEN 98].

### **3.2 Cadre de modélisation retenu**

Nous nous intéressons ici à la modélisation de la gestion hydraulique en Camargue pour appréhender le fonctionnement global de cet écosystème anthropisé. Dans un SMA, le phénomène à étudier est représenté comme le résultat des interactions entre un ensemble d'agents au sein d'un environnement. La mise en œuvre d'une telle méthode suppose d'identifier, d'une part, les composants de l'écosystème dont on veut étudier la dynamique, d'autre part, les intervenants de la gestion hydraulique. Ceci nous a conduit à proposer un cadre de modélisation basé sur deux modèles complémentaires :

- *Le modèle social* : est un modèle multi-agents dont les agents représentent le comportement des acteurs de la gestion hydraulique. Ils prennent des décisions de gestion concernant les ressources dont ils disposent. Ces ressources sont décrites dans le modèle hydrologique.

- *Le modèle hydrologique* : il représente le modèle de l'environnement physique des agents du modèle social. Il calcule les valeurs mensuelles du niveau et de la salinité du système des étangs centraux en fonction du climat et des échanges d'eau résultant de la gestion hydraulique.

Ces modèles sont en forte interaction. Ainsi le modèle social influe sur le modèle hydrologique par ses choix en matière de cultures, de techniques agricoles et de gestion collective de l'eau de drainage. Le modèle hydrologique quant à lui fournit au modèle social les objets sur lesquels les agents agissent et présente des bilans pouvant remettre en cause les choix de gestion.

### **3.3 Démarche méthodologique retenue**

Le modèle hydrologique repose sur des entités au comportement hydrologique simple répondant aux conditions imposées par le climat et la gestion hydraulique. Pour ce modèle, l'utilisation d'une méthodologie de modélisation objet nous est apparue adaptée. La phase d'analyse a porté sur la définition d'une discrétisation de l'espace permettant de prendre en compte l'action des agents et les processus

naturels. Cette discrétisation permet de définir les instances de classes ce modèle considérées comme ayant un comportement hydraulique homogène.

Pour la formalisation du modèle social, où les agents représentent le comportement des acteurs de la gestion hydraulique, la démarche proposée par AOM nous a paru pertinente, elle nous a conduit à centrer notre modélisation autour des deux modèles suivants :

- Le *modèle d'organisation* présentant un point de vue externe sur le SMA en définissant l'ensemble des rôles et fonctionnalités associées. Il est largement inféré de l'organisation que nous souhaitons représenter. En effet les rôles définis dans ce cadre, essentiellement des rôles de gestion et de coordination, dépendent de interventions humaines pour la gestion hydraulique. Ce modèle est synthétisé dans un diagramme d'agents qui représente les types d'agents et leurs relations.

- Le *modèle d'agent* : associé au point de vue interne, défini pour chaque agent ses connaissances et objectifs ainsi que les plans comportementaux à mettre en œuvre pour les atteindre.

Néanmoins nous avons aussi retenu d'autres éléments méthodologiques, notamment en matière de modèles et de formalismes qui nous sont apparus judicieux. Dans les sections suivantes nous présentons en détail les formalisations associées à la spécification du modèle hydrologique et du modèle social en mettant plus particulièrement l'accent sur ce dernier.

#### 4. Le modèle hydrologique

Le modèle hydrologique constitue le modèle de l'environnement du modèle social modélisé par un SMA. Comme évoqué plus haut, l'élaboration en phase d'analyse de ce modèle suit une approche classique de modélisation orientée objet. Un point majeur de ce modèle est la discrétisation de l'espace qu'il doit nécessairement définir.

La réponse hydrologique d'un bassin versant est de type continu, mais lorsque l'on souhaite connaître l'effet d'une zone particulière sur cette réponse, il est nécessaire de diviser le bassin versant en de plus petites unités ayant des caractéristiques uniformes. Ainsi les HRU (Hydrological Response Units) sont définies comme un groupe de zones d'un bassin versant qui fournissent, par unité de surface, une même quantité de ruissellement pour une même quantité de pluie [BRI 93]. Le bassin versant est alors considéré comme un assemblage d'entités distribuées et hétérogènes ayant des propriétés hydrologiques particulières.

Le modèle hydrologique, environnement du modèle social, fournit à ce dernier les objets sur lesquels il agit. La discrétisation de l'espace étudié doit permettre de prendre en compte d'une part l'action des agents et d'autre part les processus naturels ayant un impact sur l'état hydro-salin du système Vaccarès. Les processus naturels, notamment l'évaporation, dépendent de l'occupation du sol qui influence également l'irrigation et le drainage. L'hydrosystème est géré par l'homme à deux

niveaux d'organisation : les associations hydrauliques de drainage et l'exploitation agricole, dont les unités spatiales élémentaires sont respectivement le bassin versant et la parcelle pour laquelle l'altitude conditionne les systèmes de cultures qu'il est possible d'y pratiquer.

Aussi la discrétisation retenue repose sur le bassin de drainage, l'exploitation, l'occupation du sol, et l'altitude. Ces différents éléments renseignés dans un SIG (Système d'information Géographique) permettent de caractériser un ensemble de cellules régulières ou "mailles" de 100 mètres par 100 mètres (correspondant à la taille moyenne d'une rizière) qui sont ensuite regroupées selon les deux niveaux d'organisation précédemment définis. Cela se traduit dans le diagramme de classe (Figure 3) par des relations entre la classe Maille et les classes CanalDrainage et Exploitation qui regroupent toutes les instances de la classe Maille situées respectivement, sur un même bassin versant, sur une même exploitation.

#### ***4.1. Le modèle de classe du modèle hydrologique***

Le modèle hydrologique a été analysé selon une méthodologie objet et formalisés avec UML (Unified Modeling Language). Celle-ci nous permet de décrire de manière individuelle les entités de l'écosystème sur lesquelles vont intervenir les agents : les mailles, les canaux et la digue à la mer. Les principales classes du modèle sont présentées dans le diagramme de classe de la figure 3. Dans ce diagramme les classes ObjetHydro et ZoneHydro permettent de factoriser des attributs et méthodes communs. Elles ne sont pas instanciées.

Dans notre modèle la discrétisation choisie permet de caractériser les instances de la classe Maille, dont le comportement hydraulique dépend essentiellement de la valeur de l'attribut "couverture végétale" de l'instance. Comme cet attribut est amené à varier au cours des simulations en fonction des décisions individuelles des AgExploitation (choix d'un assolement sur les mailles qu'ils gèrent), nous avons choisi de le représenter comme une classification dynamique c'est-à-dire par une association entre maille et type.

#### ***4.2. Dynamique du modèle hydrologique : le cycle de l'eau***

La dynamique du modèle hydrologique peut être assimilée à un cycle de l'eau simplifié reposant sur les étapes suivantes : prise en compte des conditions climatiques (pluie et évaporation), réalisation de l'irrigation, collecte des demandes en drainage, réalisation du drainage, calcul des échanges avec la mer.

Le déroulement de ce cycle est soumis aux décisions prises par les agents du modèle social. Ainsi en début de période culturale les AgExploitant définissent l'assolement des mailles qui influe sur les demandes de drainage mensuelles. Chaque mois ces demandes sont transmises aux AgDrainage qui, après coordination avec l'AgDigue, définissent la partie de ces eaux qui sera rejetée dans le Système



Vaccarès. L'AgDigue, quant à lui applique les modalités d'ouverture de la digue à la mer. En fonction de ces éléments, le modèle hydrologique affiche un nouvel état hydro-salin du système Vaccarès. Le cycle de l'eau peut reprendre pour le mois suivant.

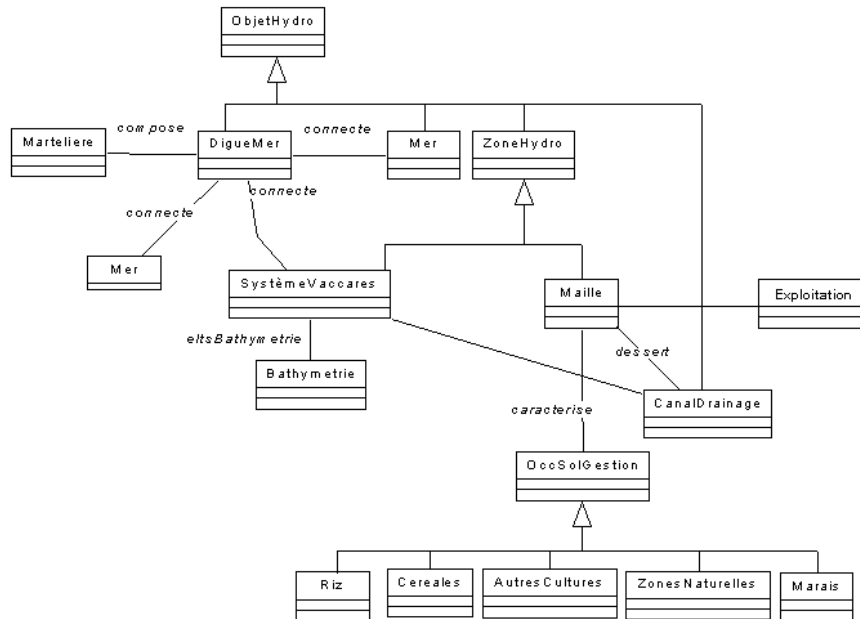


Figure 3. Diagramme de classe du modèle hydrologique.

## 5. Modèle social multi-agents

Rappelons que le modèle social est un modèle multi-agents dont les agents représentent le comportement des acteurs de la gestion hydraulique. Ces agents prennent des décisions de gestion concernant les ressources dont ils disposent et qui sont décrites dans le modèle hydrologique. En nous inspirant de AOM nous avons centré notre modélisation autour d'un modèle d'organisation et d'un modèle d'agent. La formalisation de ces modèles a été réalisée en adoptant d'autres éléments méthodologiques qui nous sont apparus judicieux.

Le SMA que nous devons modéliser correspond à une organisation existante, dont les rôles et les relations entre agents sont prédéfinis. L'approche que nous utilisons est de type top-down pour définir le modèle d'organisation et le modèle d'agent. Pour ce dernier, en cours de formalisation, seuls les plans comportementaux sont présentés.

### 5.1. Modèle d'organisation

Le modèle d'organisation a pour but d'appréhender la dimension sociale des agents, en représentant les relations qu'ils entretiennent entre eux. Ce modèle repose sur la description des rôles de l'organisation sous la forme de schémas de rôles proposés par [KEN 98]. Ces rôles, décrits par leurs responsabilités et leurs collaborations, sont ensuite distribués sur des types d'agents. Les collaborations sont ensuite détaillées dans le modèle d'interaction. Ces deux étapes nous permettent de décrire les relations existant entre les agents, sous la forme d'un schéma similaire au diagramme de classe d'une méthode objet comme proposé par [DEL 99].

#### 5.1.1. Identification des rôles et des types d'agents

Le modèle de l'organisation repose sur la définition des agents à partir des rôles qu'ils peuvent tenir. Ces différents rôles sont présentés sous la forme de schémas de rôle identifiant les responsabilités (services, tâches et buts) et les collaborations associées comme proposé dans [KEN 98]. Le Tableau 1 décrit le rôle d'exploitant agricole.

<b>ROLE</b> : Exploitant Agricole	
<b>Responsabilités</b>	<b>Collaborations</b>
Tenir la liste: - de ses parcelles et des associations hydrauliques dont elles dépendent - des systèmes de cultures possibles/altitude - des volumes drainées par culture - de la rentabilité des cultures	
Envoyer / demande prix eau drainage	> AgDrainage (s)
Recevoir / information prix eau	< AgDrainage (s)
Définir occupation du sol	
Calculer les quantités d'eau et occupation du sol par association	
Envoyer / Information occupation du sol	>AgDrainage (s)
Envoyer / Information besoin drainage	>AgDrainage (s)

**Tableau 1.** Schéma de rôle : exploitant agricole selon [KEN 98].

Ce rôle doit assurer un assolement rentable de son exploitation compte tenu des contraintes liées à l'altitude des parcelles gérées, des quantités d'eau nécessaires aux cultures et du coût de l'eau des associations hydrauliques dont ses parcelles dépendent. Cette description permet d'identifier les entités du modèle hydrologique sur lesquelles intervient ce rôle, ainsi que les collaborations nécessaires à la poursuite de ses objectifs.

Une fois l'ensemble des rôles définis, chacun est affecté à un type d'agent, selon l'organisation sociale réelle. Ainsi l'AgPNRC est un agent associé au Parc Naturel Régional de Camargue pris comme une entité décisionnelle. Une seule instance de

ce type d'agent existera dans le système. De la même façon les types d'agents AgAgriculture, AgPêche, AgProtection ne seront représentés que par une seule instance, ces types d'agents ont pour rôle principal la définition de l'état hydro-salin souhaité du Vaccarès lors de la réunion de la commission exécutive de l'eau. Les agents AgDrainage et AgExploitation sont respectivement associés aux associations hydrauliques d'assainissement et aux exploitations. Notons que ces agents seront instanciés plusieurs fois comme l'illustre le tableau 2.

Type d'agent	Nb	Rôles tenus
AgPNRC	1	réunion de la commission exécutive gestionnaire de la digue à la mer spécialiste Vaccarès spécialiste climat
AgAgriculture	1	représentant de l'activité agricole et de la chasse
AgPêche	1	représentant de l'activité pêche
AgProtection	1	représentant de l'activité de la RNC
AgExploitation	n	gestionnaire d'exploitation client drainage, client irrigation
AgDrainage	6	gestionnaire de canal de drainage fournisseur drainage

**Tableau 2.** Types d'agents, nombre d'instances et rôles.

### 5.1.2. Le modèle d'interaction

Pour assurer la cohérence des interactions au sein des SMA, des protocoles de haut niveau définissant la suite ordonnée des messages échangés sont utilisés [Ros 93]. Le modèle d'interaction recense les conversations intervenant entre les différents agents et les représente sous forme de schéma de conversation.

Le modèle d'interaction présenté ici s'éloigne de celui proposé par AOM, en ne s'intéressant qu'aux protocoles utilisés et messages échangés, alors que le modèle d'interaction pour AOM comprend la description des rôles et des interactions associées et laisse au concepteur le choix d'une représentation appropriée à son domaine d'application. Les protocoles d'interaction proposés par la FIPA [FIP 97] nous fournissent des solutions réutilisables d'échanges de messages entre agents. Pour définir le modèle d'interaction nous nous sommes attachés à utiliser ces protocoles.

Le tableau 3 donne l'ensemble des protocoles utilisés. Pour chacun de ces protocoles il indique son but, les agents impliqués et leur rôle ainsi que le protocole générique utilisé. Ainsi la négociation « defEtat » menée par l'AgPNRC s'achève lorsque les parties (activités) s'accordent sur un état donné ou que leur propositions sont similaires, cette interaction correspond au protocole « iterated CNET » proposé par la FIPA, soit un appel à propositions réitéré fait par l'AgPNRC auprès des AgActivite.

Protocole	Objet	Types d'agent	Rôle	FIPA
defEtat	Définir un état consensuel du Système Vaccares	AgPNRC AgActivité	Méiateur Activité	Iterated CNET
RespectEtat	Coordination pour respecter un état donné du système Vaccarès	AgPNRC AgDrainage AgDrainage AgDrainage	GestDigue GestCanal GestCanal GestCanal	Iterated CNET CNET
DefSouhait	Définition des souhaits de l'agriculture	AgAgriculture AgExploitant	Représentant Membre	Query
PrixEau	Connaître le prix de l'eau	AgExploitant AgDrainage	ClientDrainage FourDrainage	Query
Asselement		AgExploitant AgDrainage	ClientDrainage FourDrainage	Inform

**Tableau 3.** Les interactions dans le cadre de la gestion hydraulique.

### 5.1.3. Le diagramme d'agents

Les étapes précédentes ont permis de définir les types d'agents, leur rôles et leurs interactions. Le diagramme d'agent, présenté en Figure 4, permet de visualiser les relations nécessaires aux agents pour collaborer, son graphisme repose sur la notation UML des diagrammes de classes. Il étend le modèle d'agent proposé dans AOM en prenant en compte les relations entre agents selon le formalisme proposé par [DEL 99].

Dans ce diagramme d'agents, les boîtes représentent les types d'agents et les relations entre les types d'agents sont de deux sortes: (i) les relations *d'héritage*, représentées par des flèches allant de la classe fille vers la classe mère, dont la signification est celle des méthodes objets, (ii) les *associations*, trait reliant deux classes d'agent, qui indiquent des interactions entre ces classes d'agents.

Comme proposé dans [DEL 99], chaque association est nommée et correspond à une conversation entre agents. Par exemple la relation *respectEtat* entre les types d'agent *AgPNRC* et *AgAssocDrain* correspond à une conversation entre ces agents pour définir les modalités permettant de respecter l'état du Vaccarès défini par la commission exécutive de l'eau, soit la conversation *defEtatVaccarès*. Dans cette conversation l'agent de type *AgPNRC* a le rôle de gestionnaire de la digue à la mer, tandis que l'agent de type *AgAssocDrain* tient celui de gestionnaire de canal. Notons que cette représentation présente des limites dans le cas de conversations imbriquées.

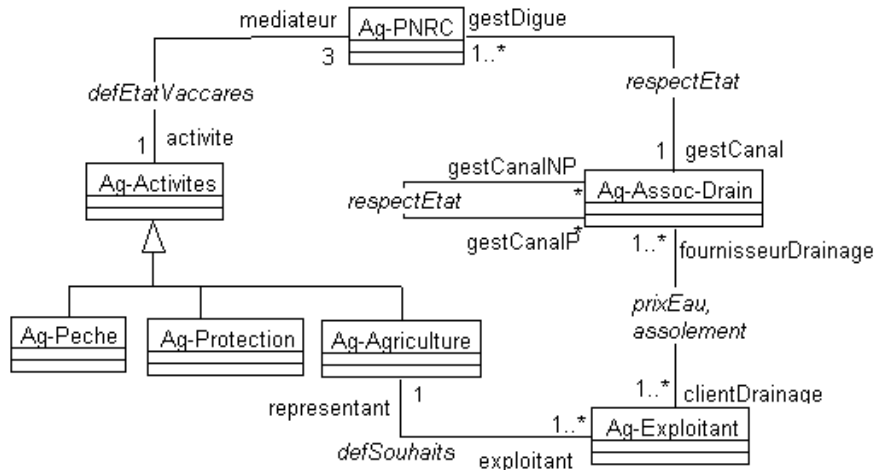


Figure 4. Diagramme d'agents

## 5.2. Modèle d'agent

Le développement du modèle d'agent commence avec l'étude des différents plans nécessaires à l'activité de l'agent. Il s'intéresse notamment au comportement interne des agents au cours de leurs interactions en spécialisant les protocoles de conversations définis précédemment en des protocoles de rôles ou plans comportementaux. Il doit également définir les croyances que l'agent utilise pour exécuter ses plans. Ce dernier point en cours de formalisation ne sera pas présenté.

### 5.2.1. Protocoles de rôles

Le modélisation des interactions entre agents est l'objet de nombreux travaux, citons notamment AUML [ODE 00] et COOL [BAR 95]. Nous avons retenu ici la représentation des protocoles de rôles proposée dans [TRA 98] et adaptée à une démarche de modélisation. Ce formalisme, dont la légende est présentée en figure 5, permet de raffiner progressivement le comportement de l'agent (état d'action composite), et de visualiser les points de coordination des protocoles duaux (état d'attente et de communication). En cela il nous a paru plus adapté à une démarche de modélisation que les diagrammes d'états proposés dans AOM.

### 5.2.2. Application à la coordination des AgDrainage et AgDigue

Pour respecter un état hydro-salin du Vaccarès les agents AgDigue et AgDrainage doivent se coordonner. Cette coordination consiste à établir un plan d'action, défini par les quantités drainées gravitairement par les associations de drainage et les modalités d'ouverture de la digue à la mer. Les agents impliqués dans cette coordination sont les six AgDrainage correspondant aux six associations de drainage, responsable chacune du drainage de leur territoire (soit un ensemble de mailles du modèle hydraulique) et l'AgDigue qui peut manœuvrer les martelières de la digue à la mer et dispose de connaissances sur le fonctionnement hydro-salin du Vaccarès.

Les interactions entre l'AgDigue et les AgDrainage sont formalisées par les protocoles représentés dans les figures 6 et 7. Sur demande de l'AgDigue (état 2 figure 6) les AgDrainage proposent, en fonction des demandes de drainage de ses membres (les AgExploitations), une quantité d'eau à drainer gravitairement (état 2 figure 7). L'AgDigue évalue ces propositions compte tenu des possibilités d'échanges avec la mer (état composite 5). Si les caractéristiques hydro-salines du Vaccarès sont respectées, les propositions d'action des AgDrainage sont retenues. Dans le cas contraire, l'AgDigue demande de nouvelles propositions. Le processus se termine lorsqu'un plan d'action est trouvé ou quand il n'y a plus de nouvelles propositions.

Une version simplifiée de ces protocoles a été mise en œuvre dans un premier ensemble de simulations [FRA 00] destiné à mettre en évidence le rôle essentiel de cette coordination dans le respect des objectifs de gestion définis par la commission exécutive de l'eau.

## 6. Conclusion

Plusieurs méthodologies ou éléments méthodologiques spécifiques au développement de SMA sont actuellement proposés. Dans ce papier, nous avons fait état de notre expérience relative à la mise en œuvre de certains de ces éléments méthodologiques en phase d'analyse, dans le cadre du développement d'une modélisation multi-agents de la gestion hydraulique de l'écosystème de la Grande Camargue.

La modélisation présentée ici a pour objectif de permettre la simulation des effets de la gestion hydraulique sur cet écosystème. Basée sur l'utilisation des systèmes multi-agents comme outil de modélisation, elle repose sur deux modèles en interaction. Le premier modèle, modèle de l'environnement, s'appuie, sur une discrétisation de l'espace en unités de gestion hydraulique homogènes. Le deuxième modèle est celui de la gestion qui décrit l'organisation et les décisions prises par les acteurs sur cet espace.

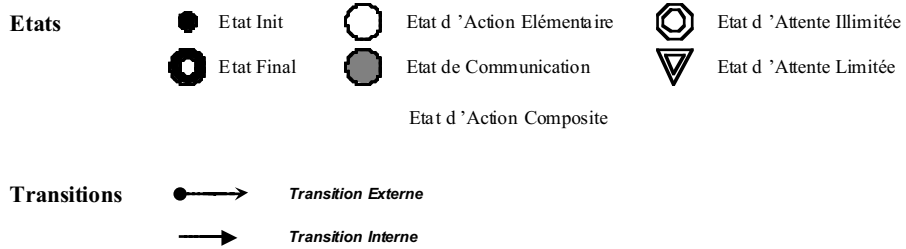


Figure 5. Formalisme de représentation de protocole retenu.

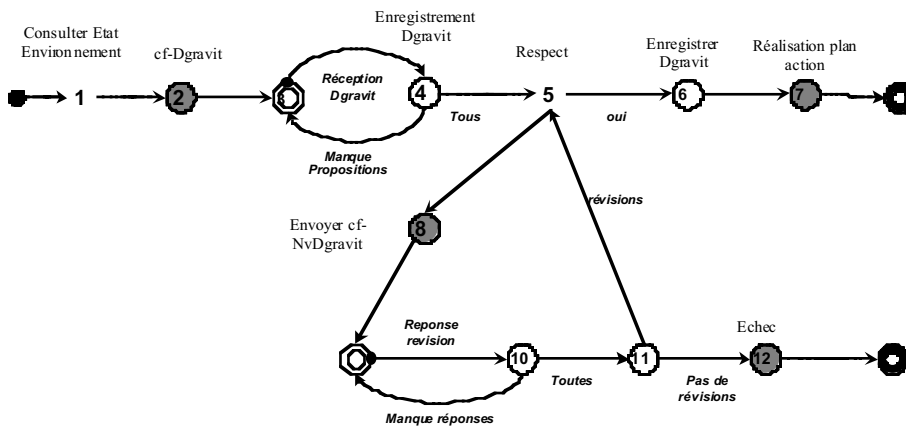


Figure 6. AgDigue: protocole de coopération

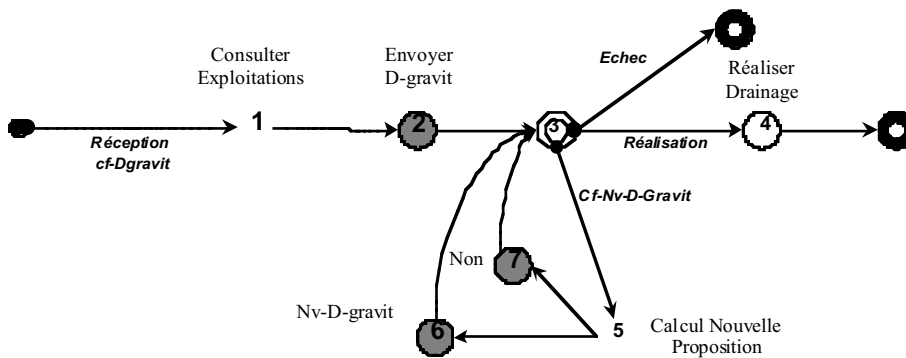


Figure 7. AgDrainage, protocole de coopération

La démarche d'analyse utilisée pour décrire ce dernier modèle est largement inspirée de la méthode AOM proposée par Kinny [KIN 96]. Celle-ci, essentiellement descendante, débute par la description du SMA d'un point de vue externe ou modèle d'organisation. Les rôles et interactions y sont recensés pour construire un diagramme d'agents. Le point de vue interne, ou modèle d'agent consiste ensuite à définir pour chaque type d'agent les plans comportementaux lui permettant de réaliser ses buts. Notons que ce point de vue interne n'a été que partiellement traité dans le cadre de notre projet relatif à la Camargue. Nous sommes actuellement en train de compléter le modèle d'agent, d'une part en définissant de façon exhaustive l'ensemble des plans et d'autre part en élaborant les modèles de croyance et les modèles de buts.

En ce qui concerne les modèles et formalismes retenus pour notre modélisation, certains sont proposés par AOM, pour d'autres nous avons préféré nous inspirer d'autres sources. Ainsi le diagramme d'agent proposé par [DEL 99] enrichit le modèle externe d'agent d'AOM en représentant les relations entre types d'agents. De même, le modèle d'interaction retenu diffère de celui proposé par AOM en se concentrant sur les conversations entre agents. On utilise pour cela les protocoles génériques et la sémantique des messages définis par la FIPA. Ensuite, pour le modèle d'agent, et plus particulièrement la représentation des protocoles de rôles, nous avons retenu le formalisme proposé par [TRA 98] qui nous est apparu plus pertinent en phase d'analyse.

Enfin, cette démarche descendante préconisée par [KIN 96] nous apparaît bien adaptée à la modélisation de systèmes basés sur des entités complexes devant être représentées comme des agents cognitifs aux capacités et à l'organisation relativement figés. La méthode Gaia est également préconisée par ses auteurs pour répondre aux mêmes types de problèmes. Toutes deux mettent l'accent sur la description des rôles, mais, dans leur état actuel, ne prennent pas en compte la structure organisationnelle ce qui, à notre avis, limite leur utilisation pour la modélisation de systèmes plus dynamiques. Le choix d'AOM par contre convient parfaitement à la description de la gestion hydraulique de la Camargue où les acteurs et sont connus et interviennent dans un environnement peu ouvert.

## 7. Bibliographie

- [BAR 95] Barbuceanu M., Fox M., « COOL: A Language for Describing Coordination in MultiAgent Systems », *First International Conference on Multi-Agent Systems, ICMAS 95*, AAAI Press / the MIT Press, 1995.
- [BRI 93] M. Brilly M., Smith M., Vidmar A., « Spatially Oriented Surface Water Hydrological Modelling and GIS », *HydroGIS 93: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Ressources*, IAHS publ. n°211, 1993.
- [BUR 96] Burmeister B., « Models and Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design », *Working Notes of the (KI'96) Workshop on Agent-Oriented Programming and Distributed Systems*, DFKI document D-96-06, 1996.



- [DEL 99] DeLoach S., « Multiagent Systems Engineering: A Methodology and Language for Designing Agent Systems », Workshop on *Agent-Oriented Information Systems at agent'99*.
- [DUC 99] Duciel P., « Camargue: Entre Nature et Artifices », *Usages de L'eau et Équipements Hydrauliques En Camargue, Courrier Du Parc N° 48/49*, Parc Naturel Régional de Camargue, 1999.
- [FIP 97] FIPA. Agent Communication Language, FIPA 97 Specification, Version 2.0, 1997.
- [FRA 00] Franchesquin N., Espinasse B., « Agent-based simulation of human-influenced ecosystem: the hydraulic management of the Camargue », *proceedings of Agent Based Simulations (ABS'2000)*, Passau, Germany, May 2-3, 2000.
- [IGL 99] Iglesias C.A., Garijo M, Gonzalez J. C., « A survey of Agent-Oriented Methodologie », *Intelligent Agent V: Agent theories, architectures and languages (ATAL 98)*, *Lecture notes in AI* vol 1555, Springer Verlag, 1999.
- [KEN 98] Kendall, L. « Agent Roles and Role Models ». *AIP'98 Intelligent Agents for Information and Process Management*, 1998.
- [KIN 96]. Kinny D., Georgeff M., « Modelling and Design of MultiAgent Systems », *Intelligent Agent III: Agent theories, architectures and languages, (ATAL 96)*, *Lecture notes in AI*, Springer Verlag.
- [ODE 00] Odell J, Van Parunak D., Bauer B., « Representing Agent interaction protocols in UML », to appear.
- [PIC 88] Picon B., *L'espace et Le Temps En Camargue*, Actes Sud, 1988.
- [ROS 93] Rosenschein, J. « consenting agents: Negotiation mechanisms for Multi-Agents systems » in proceedings of *the thirteenth international joint conference on AI (IJCAI 93)*, 1993.
- [TRA 98] Tranvouez E., Espinasse B., « Protocoles de coopération pour le réordonnement d'atelier », *Actes des Journées Francophones d'Intelligence Artificielle Distribuée et Systèmes Multi-Agents (JFIADSMA'99)*, Hermes, 1999.
- [WOO. 00] Wooldridge M., Jennings N. R., Kinny D. "The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design" *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* (to appear).
-