

Contribution à une architecture logicielle générique pour le développement de système d'aide à la décision environnementale

Illustration à travers le cas Camarguais

*For a generic software architecture facilitating environmental decision support system development
Illustration with the Camargue ecosystem*

**Serment J.
Espinasse B.
Tranvouez E.**

LSIS (UMR CNRS 6168)
Université Paul CEZANNE

Domaine Universitaire de Saint-Jérôme
Avenue Escadrille Normandie-Niemen
13397 Marseille Cedex 20 - FRANCE
Tel. 33 4 91 05 60 42
Fax 33 4 91 05 60 33

Courriel : {julien.serment, bernard.espinasse, erwan.tranvouez}@lsis.org

Résumé

L'objectif de notre travail est de faciliter la conception de systèmes d'aide à la décision environnementale et de développer la généricité des architectures dans lesquelles ils sont déployés. Nous présentons, dans une première partie, la diversité des formes que peut prendre l'aide à la décision environnementale en soulignant notamment la nature des décisions concernées ainsi que la place de l'utilisateur. Nous étudions ensuite six projets représentatifs des niveaux de décisions. L'analyse comparative des projets fait apparaître, dans une deuxième partie, différents besoins fonctionnels. Nous présentons les modules fonctionnels les supportant et ainsi que les technologies disponibles. Ce travail nous permet ainsi de poser les bases d'une architecture logicielle générique intégrant le ou les utilisateurs. Dans la dernière partie, nous reprenons nos travaux précédents sur la Camargue pour en étudier les forces et lacunes d'un point de vue outil d'aide à la décision. Nous en tirons une spécification fonctionnelle d'un outil complet d'aide à la décision environnementale.

Abstract

Our work aims to facilitate the design of Environmental Decision Support Systems by defining more generic architectures. In the second part, the different factors explaining the diversity of existing EDSS are presented. From these factors, the type of decision and the user(s) integration needs are used to guide the comparative analysis of six representative projects. Different functional needs are then identified for which a modular architecture is proposed to satisfy them. Defining the roles and technologies available for these modules enable us to propose the basis of a generic EDSS architecture. Finally, we apply our propositions on a former EDSS project, based on the Camargue ecosystem, in order to identify the functional needs and means required by a fully operational EDSS.

Mots-clés : aide à la décision environnementale, simulation orientée agent, intégration utilisateur.

Keywords: environmental decision support, agent oriented simulation, user integration

1. Introduction

Les études environnementales, en prenant une dimension politique et économique, ont conduit à un besoin en Systèmes d'Aide à la Décision Environnementale (SADE ou EDSS en anglais). Que l'on évoque le développement durable ou la gestion quotidienne d'un écosystème plus ou moins anthropisé, il s'agit de faciliter la conception d'outils d'aide à la décision environnementale en proposant des architectures logicielles génériques et réutilisable. Dans ce papier, nous étudions un ensemble de projets de développement de SADE en nous intéressant notamment aux objectifs poursuivis ainsi qu'aux modélisations et architectures logicielles spécifiques à chacun de ces systèmes. Nous en proposons une analyse comparative afin de mieux cerner les fonctionnalités majeures que l'on peut attendre d'un SADE. Ces fonctionnalités étant définies, notre objectif est de proposer une architecture logicielle générique les supportant.

Nous présentons, dans la section suivante, la diversité des formes que peut prendre l'aide à la décision environnementale. Nous introduisons également les niveaux de décision sur lesquels s'appuie l'analyse comparative des projets de SADE. A partir de l'étude de six projets représentatifs, nous identifions et caractérisons ensuite les besoins fonctionnels d'un outil d'aide à la décision environnementale. Ceci nous a conduit à définir dans la troisième section les modules fonctionnels majeurs d'un SADE, à présenter les architectures pouvant les supporter, et ainsi poser les bases d'une architecture logicielle générique pour le développement de SADE. Enfin, dans la section quatre, nous reprenons nos travaux précédents sur la Camargue pour en étudier les forces et lacunes d'un point de vue outil d'aide à la décision. Nous en tirons une spécification fonctionnelle d'un outil complet d'aide à la décision environnementale.

2. Aide à la décision environnementale

La complexité des dynamiques environnementales engendre une quantité croissante de données, d'informations et de connaissances de différentes natures et qualités. Les gestionnaires environnementaux ont de plus en plus besoins d'outils d'aide à la décision puissants (Janssen R., 1992). Dans cette section, nous définissons tout d'abord ce que l'on entend par SADE et précisons les différentes formes et natures que peut prendre la décision environnementale. Enfin nous faisons une étude comparative de quelques projets de SADE.

2.1 Définition et variété des SADE

Ces outils se présentent comme des systèmes d'information intelligents améliorant la cohérence, la qualité et réduisant le temps nécessaire aux prises de décisions (Cortès U. et al., 2000). L'outil doit aider à comprendre et supporter la forme et la fonction de l'écosystème, accumuler des informations quantitatives et qualitatives, adapter les modèles conceptuels à la gestion locale, et sélectionner des alternatives de gestion appropriées de manière à optimiser les critères de décision (Mowrer H.T., 1997). Le système doit aider le décideur et non se substituer à lui.

Cette discipline mobilise différents domaines de recherche tels que l'intelligence artificielle, les systèmes d'information géographique (SIG), modélisation et simulation, interface utilisateur, etc.

Définir une architecture générique capable de supporter tout type d'aide à la décision implique de prendre en compte les différents besoins et formulations possibles du problème de décision posé. Cependant, la diversité des points de vue et opinions rend difficile toute classification générale. Ces approches existantes peuvent se distinguer par :

- Les caractéristiques de l'écosystème étudié et le problème auquel les décideurs s'intéressent : *ressources naturelles, parc naturel, incendies...*
- La (ou les) nature(s) de la décision : *écologique, politique, sociale...*
- Les objectifs d'utilisation de l'outil : *anticipation, prédiction, prospection, compréhension, pédagogie ...*
- La (ou les) activité(s) décisionnelle(s) (Denzer D. et al., 1997) : *prédiction, planification à moyen/long terme, supervision et surveillance, gestion de crise d'urgence...*
- Les contraintes temporelles des décisions : *court, moyen, long terme.*
- La portée des décisions : *locale ou globale.*
- Le paradigme de modélisation retenue : *Modèles individu-centré, dont les modèles objet et agent ou modèles de distribution.*

...

Pour faire face à cette diversité, dans l'objectif de définir une architecture générique, il nous est apparu nécessaires de pouvoir définir des ensembles moins restrictifs de SADE.

2.2 Grands types de décisions

Nous proposons pour comparer les SADE de s'appuyer sur une typologie, classique dans la conception de Systèmes d'Information, de décisions en fonction du niveau d'activité de gestion (Anthony R.N., 1966). La nature de ces décisions varie en fonction de l'horizon et du champ qu'elles couvrent :

- La *planification stratégique* conduit à des décisions majeures dont les conséquences sont à long terme. La portée de ces décisions est très globale car elles peuvent engager l'avenir de tout l'écosystème.
- Le *pilotage* conduit en général à des décisions dont les conséquences sont à moyen terme et dont la portée est intermédiaire entre celles de planification stratégique et de régulation.
- La *régulation* : concerne principalement des rythmes inférieurs au mois et conduit à des décisions dont les conséquences sont à court ou très court terme. Leur portée est limitée et peut ne concerner qu'une zone très précise de l'écosystème.

L'application de cette différenciation à la gestion environnementale nous a permis de mieux aborder l'étude des SADE existants.

2.3 Analyse comparative de quelques SADE

Un premier travail d'analyse d'un ensemble de projets a été nécessaire pour dégager des propriétés communes nécessaires pour un SADE générique. Nous avons retenus pour ce papier six projets représentatifs de cette diversité :

- Le projet BIOMAS (Courdier R. et al., 2002) concernant les pratiques de gestion des effluents d'élevage et visant à diminuer les risques de pollution de l'environnement ;
- Le projet CATCHSCAPE (Becu N. et al., 2003) qui s'intéresse à la gestion d'une ressource naturelle commune ;
- Le projet PROBIO (Botequilha Leitão A. et al., 2001) relatif à la prévision et la gestion de la biodiversité en zone protégée ;
- Le projet NED (Nute D. et al., 2003) concernant la gestion d'écosystèmes forestiers ;
- Le projet ALI (Jaber A., 1999) pour la prévention et la lutte contre les incendies de forêts ;
- Et le projet WWTP (Borrell F. et al., 2002) traitant du contrôle et de la gestion des usines de traitement d'eaux usées en Espagne.

Pour faire ressortir les différences et points communs entre ces projets, nous avons effectué une analyse comparative (tableau 1) basée sur les critères présentés dans la sous-section précédente.

Planification stratégique	Pilotage	Régulation
BIOMAS	PROBIO	ALI
CATCHSCAPE	NED	WWTP

Tableau 1 : Classification des projets

Les décisions auxquelles s'intéressent les projets BIOMAS et CATCHSCAPE relèvent de la *planification stratégique*. Dans les deux projets, l'objectif n'est pas de trouver une solution immédiate à un problème précis, mais de mener avec les acteurs concernés une réflexion sur un processus impliquant l'ensemble de l'écosystème. Ce genre de projets vise à faire prendre conscience aux acteurs qu'ils font partie d'un tout et que chacun de leurs actes a des conséquences sur le reste. Ceci peut amener à des décisions collectives ou des changements de comportement progressifs ayant des conséquences à long terme.

Les projets PROBIO et NED concernent des décisions relevant du *pilotage*. Ils traitent de la planification à moyen/long terme et des moyens de gestion pour maintenir les écosystèmes dans un état stable. Ils portent sur des décisions s'appliquant à des parties de l'écosystème.

Les projets ALI et WWTP cherchent à apporter une aide à des décisions relevant de la *régulation*. Il s'agit pour ces deux projets de surveillance et de contrôle. Ces projets concernent des problèmes (incendie, eaux usées) où le décideur doit réagir rapidement et dont les conséquences de ces décisions doivent être immédiates

(court ou très court terme). Les solutions de ces problèmes de décision portent sur des zones précises.

Pour le guider dans son processus de décision, un SADE doit permettre aux décideurs de définir des modèles, définir différents scénarii, de les simuler et de les évaluer. Ce cadre de comparaison nous a permis de mieux appréhender les besoins fonctionnels liés aux objectifs de ces différents projets. Nous nous sommes également intéressé à l'architecture logicielle permettant leur mise en œuvre ainsi que les concepts utilisés.

3. Vers une architecture logicielle générique

Les systèmes d'aide à la décision environnementale ont pour objectif commun de guider au mieux le(s) décideur(s) dans sa prise de décision. Ils se différencient par le type de décision recherchée et les besoins qu'elle nécessite. Ces différences se retrouvent dans les modules fonctionnels de ces SADE.

Les projets présentés dans la section précédente étant représentatifs des différents types de décisions, nous nous appuyons sur une analyse comparative pour la proposition d'une architecture logicielle générique.

3.1 Architecture fonctionnelle

L'étude de ces projets fait apparaître les fonctionnalités majeures nécessaires à l'aide à la décision environnementale ainsi que les modules les supportant. Ces fonctionnalités gravitent autour de la simulation sur laquelle se base l'aide à la décision.

Il faut pouvoir caractériser le problème de décision, au travers d'une multi-modélisation permettant la prise en compte des différents acteurs et de leurs interactions. D'autres, relatives à l'élaboration et l'évaluation de différentes alternatives, doivent permettre à l'utilisateur de définir des scénarii, les tester en simulant les modèles et les évaluer en fonction de différents critères. Pour que ces résultats soient utilisables, leur visualisation doit être conviviale et paramétrable. Pour ces problèmes de décisions environnementales, la prise en compte de la dimension spatiale et de la dimension temporelle est fondamentale. Pour guider au mieux le décideur dans sa prise de décision, l'outil doit être interactif, flexible et adaptable (Turban E., 1993).

Les outils d'aide à la décision environnementale sont composés de modules permettant d'assurer ces fonctionnalités. Des différents modules identifiés dans les projets étudiés ainsi que dans d'autres SADE (Coquillard P. et Hill D.R.C., 1997), six modules (Figure 1) ressortent : un module de *modélisation*, un module de *simulation*, un module de *visualisation*, un module *d'analyse*, un module *utilisateur* et un module de *gestion des données*.

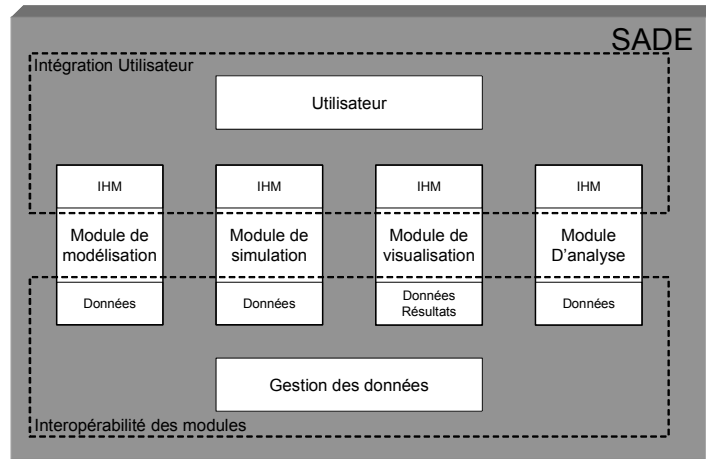


Figure 1 : Architecture et interactions modulaires

Ces modules doivent assurer les fonctionnalités suivantes :

Module de modélisation

Ce module permet la description d'entités, de leur comportement et de leurs interactions. Ces entités peuvent appartenir à des modèles écologiques, biologiques ou sociaux. Ce module doit également permettre la description des interactions de ces modèles ou reposer sur un méta modèle comme dans le projet MIMOSA (Müller J.P., 2004).

Module de simulation

Différents environnements de simulation assurant la simulation des modèles peuvent faire partie de ce module. Il permet de tester différents scénarii et plans d'expériences sur ces modèles. Il est constitué d'une partie de contrôle assurant la conduite de la simulation et la coordination entre les différents modèles. La simulation peut être utilisée de différentes manières (Reynolds K. et al., 1999) : *la prédiction, la compréhension, l'extrapolation ou l'interpolation.*

Module de visualisation

Il permet la visualisation des comportements des modèles et des résultats de simulation. Ce module va permettre de suivre l'évolution de la simulation en visualisant les résultats intermédiaires et finaux de manière graphique. L'interprétation des résultats se trouve ainsi améliorée, ainsi que la communication entre les différents experts. A travers cette visualisation, les décideurs doivent pouvoir se concentrer sur les entités d'un modèle, sur un modèle dans son ensemble et/ou sur les interactions entre les entités et les interactions entre les modèles.

Module d'analyse

Ce module offre la possibilité d'analyser des résultats et de comparer différentes alternatives simulées. Il doit permettre l'utilisateur de faire aussi bien une analyse approfondie des résultats d'une simulation ou d'un plan d'expérience, qu'une

analyse comparative de simulations basée sur des critères de décision. Pour cela l'utilisateur peut s'appuyer sur des méthodes statistiques ou multicritères.

Module utilisateur

Nous considérons le(s) décideur(s) comme faisant partie du système. Ce module permet l'interaction entre l'utilisateur et les différents modules. Il peut-être constitué d'une partie pouvant permettre sa participation au processus de modélisation (jeu de rôle, approche participative...). Une partie paramétrage de la simulation permet à l'utilisateur la définition des plans d'expérience et scénarii. Une autre partie, plus pilotage de la simulation, lui permet d'intervenir en cours de simulation et accorde même pour des simulations de type « steering » la possibilité à l'utilisateur d'interagir avec le modèle durant son exécution pour pouvoir modifier ses paramètres dynamiquement (Campos A.R.C., 2000). Une partie traite du paramétrage de la visualisation permettant aux décideurs de choisir quoi et comment l'afficher. L'utilisateur doit également pouvoir définir le(s) scénario(s) à analyser et comment. Ce module est transversal, il permet l'interaction entre l'utilisateur et ces modules.

Module de gestion des données

Ce module prend en charge le traitement des données. Tout comme le module utilisateur, il s'agit d'un module transversal aux autres modules sur lequel repose généralement leur interopérabilité. Il doit permettre de stocker les données, notamment spatiales et temporelles, relatives aux modèles et de les gérer pour leur utilisation dans la simulation et la coopération entre les différents modules. Il doit également prendre en charge les résultats intermédiaire et finaux. Il est en lien étroit avec le module de visualisation devant permettre l'affichage dans une certaine forme de certaines données. Enfin, il doit pouvoir interagir avec le module d'analyse utilisant les données des résultats de simulation pour les exploiter mais également pour stocker les résultats de ces comparaisons et analyses. Ces deux modules peuvent éventuellement interagir pour la récupération de données issues réelles dans l'optique d'une validation de modèle.

Les caractéristiques de ces modules varient en fonction des objectifs et de l'usage souhaité. Le regroupement de ces projets en fonction du niveau de décision désiré et l'étude des architectures sur lesquels ils s'appuient ont fait ressortir des capacités d'interaction différentes. Tous ces modules généraux se retrouvent dans les SADE étudiés. Mais, comme le montre la figure 2, les besoins d'utilisation de ces modules varient en fonction du type de décision.

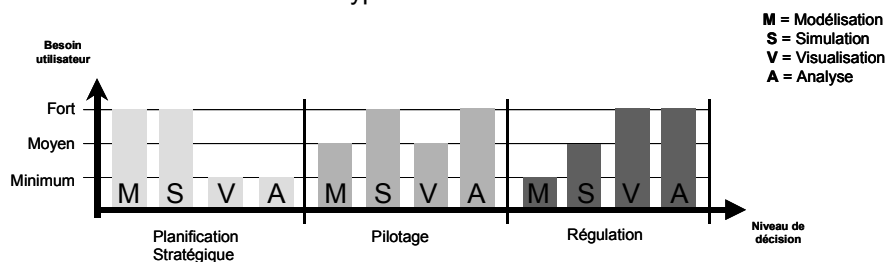


Figure 2 : Décision, besoins utilisateur et modules

Ces différents besoins en fonction du niveau de décision peuvent avoir des conséquences sur les besoins d'intégration de l'utilisateur dans les modules.

Pour les projets BIOMAS et CATCHSCAPE, les décisions relèvent de la *planification stratégique*. Ils sont basés sur la compréhension des modèles et de leurs interactions, l'outil doit permettre aux acteurs (non informaticiens) de *modifier eux-mêmes les modèles* et d'intervenir en cours de *simulation* sur le système pour mieux appréhender ses réactions.

Ces besoins sont utiles à un degré moindre pour une aide à la décision relevant du *pilotage* comme les projets PROBIO et NED où l'utilisateur doit surtout pouvoir élaborer et évaluer un grand nombre d'alternatives. Ce sont les modules de simulation et d'analyse avec lesquels l'utilisateur interagit le plus.

Enfin, pour les projets ALI WWTP les décisions relèvent de la *régulation*. Les modèles ne peuvent pas, ou très peu, être modifiés mais les résultats de simulation doivent être évalués de manière rapide et précise. Les modules de visualisation et d'analyse doivent permettre de suivre la simulation avec un niveau de détails plus fin et fournir une analyse des résultats.

L'utilisateur n'interagit pas directement avec le module de données sur lequel repose l'interopérabilité des modules. Mais ils interagissent beaucoup au travers des autres modules.

Il ressort de cette analyse des « signatures » fonctionnelles différentes d'un point de vue besoins et intégration de l'utilisateur.

3.2 Architecture logicielle des modules

Il existe également une grande diversité en ce qui concerne les architectures logicielles pouvant être retenues pour chacun de ces modules. Notamment dans la manière d'utiliser les technologies objet et agent. Toujours dans le but de caractériser les besoins d'un EDSS générique, nous énumérons les choix possibles d'architecture pour chacun des modules.

Module de modélisation

Dans ce module, différentes approches sont utilisées : Objet, Agent réactifs, agents hybrides, agents cognitifs. Les agents cognitifs sont utilisés pour la représentation de processus sociaux (négociation, coopération...) ou décisionnels. Ils peuvent également servir pour l'approche participative (Bousquet F. et Le Page C., 2004) car ils sont adaptés à la représentation du comportement des acteurs sociaux. Les agents réactifs permettent la représentation de phénomènes émergents et sont particulièrement adaptés à la représentation de comportements animaux. Les agents hybrides peuvent également être utilisés (Andriamasinoro F., 2003) pour permettre la prise en compte du comportement réactif d'agents cognitifs. L'approche Objet est généralement utilisée pour la représentation d'entités au comportement plus simple ou pour des modèles analytiques. Ce module doit également offrir la possibilité à l'utilisateur de s'appuyer sur des formalismes reconnus tels UML, AUML, DEVS (Duboz R. et al., 2004)...

Module de simulation

Les concepts objets et agents sont également présents ici bien qu'ils ne correspondent pas forcément à l'approche utilisée pour la modélisation. Ainsi un modèle multi-agents peut être simulé dans un simulateur utilisant l'approche objet. Ceci est peut-être dû au fait qu'il n'y ait pas de langage de programmation agent encore réellement utilisable. Le simulateur lui-même peut avoir été développé selon une approche agent comme la plate-forme MadKit (Ferber J. et al., 2000) ou Cormas (Becu N. et al., 2003). Des agents peuvent servir au contrôle de la simulation, on parle d'agents service et également à la coordination entre les simulateurs, on parlera alors d'agents logiciels.

Module de visualisation

Ce module peut-être composé d'outils de visualisation graphique adaptés aux données géographiques comme par exemple Geotools (Geotools). La programmation Objet, avancée dans ce domaine, est la plus souvent utilisée bien que l'utilisation d'agents interface soit de plus en plus fréquente. Un des avantages de l'approche agent est que la visualisation peut directement être liée aux entités simulées (Campos A.M.C., 2000), permettant un meilleur suivi de la simulation. Les agents des modèles peuvent également fournir eux-mêmes une interprétation de l'état du système (Servat D. et al. 1998).

Module d'analyse

Des agents cognitifs peuvent être utilisés pour l'analyse des résultats. Il peut exister deux niveaux de décision : des décisions prises par les agents des modèles et des décisions prises après la simulation par des agents logiciels ayant des connaissances du domaine. Les agents peuvent avoir un modèle de décision se raccordant le plus souvent à l'approche multicritère. Des agents interface peuvent également être utilisés pour la comparaison des résultats de simulations différentes.

Module utilisateur

Des agents interfaces et des agents logiciels peuvent être utilisés pour permettre une meilleure intégration utilisateur au sein du système, fournissant des interfaces personnalisés, adaptables et pouvant offrir une harmonisation entre les différents outils utilisés. Les agents des modèles de simulation peuvent également permettre son intégration au sein des modèles.

Module de gestion des données

Les agents logiciels sont également utilisés dans ce module. Ces agents permettent de superviser les systèmes de gestion de base de données et SIG facilitant le couplage et l'interopérabilité modulaire.

Le concept d'agent apparaît sous différentes formes dans ces modules. Les modèles d'agents cognitifs, réactifs ou hybrides sont utilisés dans les modules de modélisation et simulation. Ils peuvent également servir au niveau de la visualisation et de l'intégration utilisateur. Alors que se sont plutôt des agents

logiciels qui sont utilisés dans les autres modules à des fins d'intégration utilisateur et d'interopérabilité.

Cette analyse nous a permis d'énumérer les besoins fonctionnels et logiciels que peut nécessiter le développement d'un SADE. Nous lançons ainsi les bases d'une architecture logicielle générique composée de six principaux modules assurant les grandes fonctionnalités nécessaires à l'aide à la décision environnementale. Il ressort également de cette analyse l'importance de l'intégration de l'utilisateur au sein du système d'aide à la décision environnementale. Ce niveau d'intégration varie au sein des différents modules selon le type de décision. Un SADE générique doit donc offrir la possibilité d'intégrer les modules nécessaires et de pouvoir modifier le niveau d'interaction entre l'utilisateur et les modules en fonction du type de décision.

4. Développement d'un SADE pour la gestion hydraulique de la Camargue

Dans cette partie, nous définissons tout d'abord les objectifs et les fonctionnalités associés à un SADE relatif à la gestion hydraulique de la Camargue afin de valider ensuite nos propositions architecturales. Nous possédons déjà, de part notre participation au projet SimFonHyC (Franchesquin N., 2001), une connaissance significative de cet écosystème. Une collaboration étroite de notre laboratoire avec le Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC) et le DESMID-CNRS nous offre également un accès privilégié aux données ainsi qu'à des expertises sur cet écosystème.

4.1 Types de décisions

Le projet SimFonHyC a conduit au développement d'un simulateur qui a permis la compréhension des processus sociaux de la gestion hydraulique camarguaise. Différentes simulations ont pu être effectuées (Franchesquin N. et al., 2003), mais les possibilités de simulation sont restreintes. Les limites des fonctionnalités actuelles n'en font pas encore un système d'aide à la décision.

La conception d'un véritable SADE soulève de nouveaux besoins décisionnels nécessitant la définition d'une architecture logicielle spécifique intégrant le simulateur déjà développé. Pour cela, nous avons commencé par synthétiser, en collaboration avec le PNRC, un ensemble de problèmes de décisions pouvant être rencontré autour de la gestion hydraulique de cet écosystème. Ce travail a ainsi permis de mieux définir les besoins fonctionnels.

Ainsi les problèmes relatifs à la gestion hydraulique de la Camargue concernent soit l'ensemble des activités camarguaises, soit les possibilités d'anthropisation et les modifications à apporter au niveau des infrastructures, soit enfin les actions anthropiques et la gestion « quotidienne ». Pour ces problèmes, tous les niveaux de décisions énoncés dans la première partie sont concernés.

Des décisions relevant de la planification stratégique

Les conséquences de ce type de décisions ne peuvent être totalement connues et concernent les acteurs camarguais dans leur ensemble. Ce genre de décisions n'est d'ailleurs pas pris par le PNRC seul dont l'objectif est alors de jouer un rôle de médiateur et de faire comprendre aux différents acteurs concernés l'intérêt de modifier, éviter ou garder certains comportements. Elles portent sur la globalité de l'écosystème et ont des conséquences sur le long terme, comme par exemple l'étude de l'impact des décisions de la politique agricole commune européenne sur l'état écologique de la Camargue.

Des décisions relevant du pilotage

Ces décisions concernent généralement les possibilités d'anthropisation. Le décideur s'interroge sur des problèmes que les moyens d'action actuels ne permettent pas de résoudre et sur l'apport éventuel de modifications, suppressions ou ajouts aux niveaux des infrastructures. Elles peuvent concerner une zone plus ou moins délimitée et ont des exemples à moyen terme comme par exemple la poldérisation d'un bassin de drainage.

Des décisions relevant de la régulation

Il s'agit en général pour ce genre de décisions de définir les actions anthropiques à entreprendre. Ces décisions portent soit sur des opérations à effectuer régulièrement par le gestionnaire, soit sur un plan d'actions à suivre en cas d'évènements particuliers. Les actions définies ont un effet direct (à court terme) et s'appliquent à une zone bien délimitée de l'écosystème comme par exemple la définition de quantités minimales d'eau à pomper par une station de pompage pour compenser l'obstruction d'un canal de drainage.

Nous avons vu dans les parties précédentes que pour guider le gestionnaire dans son processus de décision, le SADE doit lui permettre de définir différents scénarii, de les simuler, de les évaluer et de les comparer. Deux modèles ont été définis pour le projet SimFonHyC :

- Le modèle social : modèle agent représentant les acteurs sociaux concernés par la gestion hydraulique.
- Le modèle hydrologique : modèle objet représentant le fonctionnement hydrologique.

Les critères de décisions, permettant d'évaluer les résultats de simulation, sont le niveau et la salinité d'un système d'étangs représentatifs de l'« état écologique » de la Camargue et la satisfaction des acteurs humains. Les besoins utilisateur varient en fonction du type de décision.

4.2 Besoins fonctionnels

Les trois niveaux décisionnels se retrouvant dans les problèmes auxquels nous nous sommes intéressés, les besoins fonctionnels du SADE que nous voulons mettre en œuvre sont les mêmes que ceux décrits dans la deuxième partie de ce document. Nous avons noté toutefois des particularités, liées à la nature

anthropique de cet écosystème, au niveau des interactions entre l'utilisateur et les modèles de simulation. Ces particularités que nous décrivons ci-dessous sont synthétisées dans le tableau 2.

	<i>Objet des décisions</i>	<i>Besoins utilisateur</i>
Planification stratégique	Organisation sociale et comportement des acteurs camarguais	Modification des modèles. Observation des comportements et interactions des agents du modèle social.
Pilotage	Moyens d'action des acteurs sur le système hydrologique	Modification des points d'interaction entre les modèles.
Régulation	Actions à entreprendre par les acteurs sur le système hydrologique	Pas de modification des modèles. Visualisation précise des résultats de simulation du Modèle Hydrologique.

Tableau 2 : Lien entre les décisions et les interactions entre l'utilisateur et les modèles

Nous avons vu, dans la section précédente, que les décisions de type *planification stratégique* les acteurs camarguais dans leur ensemble. L'objectif étant de jouer un rôle de médiateur il va s'intéresser aux comportements des agents du modèle social et tester un grand nombre d'alternative très variée. Il doit donc simuler des plans d'expérience ayant des conséquences à long terme sur l'évolution de l'écosystème. L'utilisateur doit pouvoir modifier les modèles et intervenir en cours de simulation pour mieux étudier les comportements et mieux faire comprendre leurs conséquences.

Les décisions de type *pilotage* concernent, quant à elles, les actions anthropiques. Il est important ici pour l'utilisateur de pouvoir tester et évaluer les possibilités d'action des acteurs sur l'écosystème. Ces possibilités sont représentées au niveau des modèles par les points d'interaction entre le modèle social et le modèle hydrologique. L'utilisateur doit pouvoir modifier les points d'interactions entre le modèle social et le modèle hydrologique.

Enfin pour les décisions de type *régulation*, le décideur cherche à définir les actions anthropiques à entreprendre. La simulation du modèle social représente donc moins d'intérêt ici ou en par contre une évaluation précise des résultats de simulation du modèle hydrologique sur lequel sont appliqués ces actions doit être possible.

La caractérisation des besoins utilisateurs du SADE développé à partir du projet SimFonHyC illustre tout à fait la situation où des besoins d'intégration différents (Figure 2) doivent être possibles dans une plate-forme unique. Une telle adaptabilité des besoins au type de problème de décision posé implique de pouvoir disposer d'une certaine souplesse architecturale. L'état actuel de l'outil développé nous a conduits à caractériser plus précisément les besoins fonctionnels d'un SADE générique.

L'architecture actuelle s'appuie sur la plate-forme Majorca (Tranvouez E., 2001) permettant la simulation de modèle d'agents cognitifs comme celui défini pour le modèle social et sur les outils java pour le modèle hydrologique objet. Nous décrivons ci-dessous l'état actuel des différents modules et les besoins d'interaction et d'intégration auxquels ils doivent répondre pour être plus

génériques.

Module de modélisation

Nous possédons au sein de notre laboratoire des outils offrant la possibilité de décrire de manière graphique le comportement des agents cognitifs. Ils s'appuient sur le formalisme RCA (Tranvouez E. et al., 2001) et génèrent automatiquement une partie du code supporté par la plate-forme Majorca. Le modèle hydrologique suit une approche orienté objet. Aucun outil de modélisation objet n'est couplé à la plate-forme. Ainsi, le passage du modèle de simulation à son exécution n'est pas transparent pour l'utilisateur. L'absence d'outil de modélisation plus formel lié à la plate-forme entrave la modification de ces modèles. Sans notre aide, les gestionnaires du Parc Naturel de Camargue ne peuvent pas modifier les modèles de simulation. Des outils permettant la description des interactions entre les modèles doivent également être apportés.

Module de simulation

Les technologies agent et objet sont utilisées dans ce module. L'utilisateur peut initialiser les paramètres de simulation, mais ne peut pas les modifier en cours de simulation. Un agent interface permet à l'utilisateur de communiquer avec les agents du modèle social. En revanche, il ne peut pas interagir directement avec le modèle hydrologique. Il s'agit d'une simulation de type post-processing (Campos A.M.C., 2000). Pour répondre aux besoins définis précédemment, la simulation devrait être de type steering, une simulation visuelle interactive permettant à l'utilisateur d'intervenir en cours de simulation.

Module de visualisation

L'actuel affichage des résultats de simulation n'est pas graphique, les résultats sont affichés numériquement. Il n'y a pas de visualisation de résultats en cours de simulation pour le modèle hydrologique. Une courbe de comparaison entre les objectifs de départ avec les résultats finaux est affichée en fin de simulation. Cette interface est une interface objet. Les agents du modèle social informent l'utilisateur de certains résultats mais l'environnement demande une plus grande convivialité. Un couplage avec des outils de visualisation graphique de données géographique permettrait un meilleur suivi de l'état des modèles. La visualisation du modèle hydrologique en cours de simulation est nécessaire. Le SADE devrait permettre à l'utilisateur de définir les données et informations à afficher et la manière dont il veut les observer ou étudier.

Module d'analyse

Ce module est quasiment inexistant. L'enregistrement des résultats de simulation dans une base de données permet leur exploitation au travers d'outil spécialisés, mais aucun outil n'est proposé par la plate-forme. Des besoins d'analyse des résultats d'une simulation ou de plusieurs simulations ont été définis dans les parties précédentes.

L'utilisation d'agents logiciels et d'agents interface devraient permettre de régler certains des manques soulevés par cette étude.

Le *Module de gestion des données* n'est pas directement concerné par l'interaction entre le système et l'utilisateur, mais il est en revanche le principal concerné par les besoins d'interopérabilité entre les modules. Il est constitué d'une base de données mais ne contient pas de SIG. Il permet l'interopérabilité entre les modules de simulation et de visualisation.

La gestion hydraulique de la Camargue concerne les trois niveaux décisionnels. Les fonctionnalités définies pour le SADE relatif à cette gestion sont assez représentatives des fonctionnalités majeures d'un SADE introduites dans la section précédente. La forte anthropisation de cet écosystème fait ressortir des besoins caractéristiques liés au type de modèles en fonction du type de décision. Le concept et le développement d'un SADE pour la gestion hydraulique de la Camargue devrait permettre d'illustrer la mise en œuvre d'une architecture logicielle générique.

5. Conclusion

L'étude de quelques systèmes d'aide à la décision environnementale a fait ressortir une grande variété de critères de description. C'est pourquoi il nous a paru nécessaire de définir un critère externe de comparaison basé sur une typologie classique des décisions. Ces décisions varient en fonction de l'horizon et du champ qu'elles couvrent. Nous avons étudié différents projets représentatifs de ces niveaux décisionnels.

Cette analyse a fait ressortir certains besoins fonctionnels et les modules permettant d'assurer ces fonctionnalités. Six modules ressortent de cette analyse : un module de modélisation, un module de simulation, un module de visualisation, un module d'analyse, un module utilisateur et un module de gestion des données. La classification des projets a fait ressortir la variété des besoins d'intégration utilisateur dans les différents modules en fonction du type de décision.

Pour répondre à ces besoins, une architecture générique doit permettre l'intégration des différents modules et offrir à l'utilisateur différents types d'intégration dans ces différents modules en fonction du type de décision qu'il souhaite étudier.

La problématique de la gestion hydraulique de la Camargue illustre bien ce problème de variation de l'intégration utilisateur. En effet, l'inventaire et l'analyse des décisions prises au sein du PNRC ont fait ressortir que les trois types de décisions étaient possibles. Un SADE relatif à cette gestion doit donc répondre aux besoins définis pour une plate-forme générique. Nous nous appuyons pour sa mise en œuvre sur les travaux déjà réalisés au sein de notre laboratoire auxquels nous souhaitons ajouter le maximum de solutions à ces besoins.

6. Bibliographie

Andriamasinoro F., « Proposition d'un modèle d'agents hybrides basé sur la motivation naturelle » *Mémoire de thèse*, IREMIA, Université de La Réunion, 2003.

Anthony R.N., "Planning and Control Systems : a Framework for Analysis", Cambridge, Mass, Harvard University Press, 1966.

Becu N., Perez P., Walker A. Barreteau O., Le Page C., « agent based simulation of a small catchment water management in northern Thailand. Description of the CATCHSCAPE model", Ecological Modelling 170, 2003, p.319-331, Elsevier. <http://cormas.cirad.fr/fr/applica/catchscape.htm>

Bousquet F. et Le Page C., « Multi-agent simulations and ecosystem management : a review », Ecological Modelling 176 pp. 313-332, 2004

Borrell F. Riaño D., Sànchez-Marrè M. et Rodriguez-Roda I., « Implementation of a Multiagent Prototype for WWTP Management », in IEMSS, Integrated Assessment and Decision Support System, Lugano, Suisse, 24-27 juin 2002

Campos A.M.C., « une architecture logicielle pour le développement de simulations visuelles et interactives individus-centrées : application à la simulation d'écosystèmes et à la simulation sur le Web », *Mémoire de thèse, Université Blaise Pascal – Clermont II*, 2000.

Collins, CO : USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.

Coquillard P. et Hill D.R.C., « Modélisation et simulation d'écosystèmes. Des modèles déterministes aux simulations à évènements discrets », Masson, Paris, 1997.

Cortès U., Sanchez-Marrè M. and Ceccaroni L. "Artificial Intelligence and Environmental Decision Support Systems », *Applied Intelligence 13 (1) p.5-6*, July-August 2000.

Courcier R., Guerrin F., Andriamasinoro F.H., Paillat J.M., « agent-based simulation of complex systems : application to collective management of animal wastes", Journal of Artificial Societies and Social Simulation vol. 5, no.3, 2002. <http://www2.univ-reunion.fr/~mas2/>

Denzer D., Swayne A., Schimak G., "Environmental Software Systems", Chapman & Hall, London, 1997

Duboz R., Ramat E. et Giambiasi N., «Utilisation du Formalisme DEVS pour la Spécification de Systèmes d'Agents Réactifs » JFIADSMA, p99-102, Hermès, France, 28-30 octobre 2002.

Ferber J., Gutknecht O., Michel F., « MadKit : une plate-forme multi-agent générique ». Rapport de recherche n°R.R.LIRM 00061, LIRM, mai 2000.

Franchesquin N., « Modélisation et simulation multi-agents d'écosystèmes anthropisés : une application à la gestion hydraulique en Grande Camargue ». *Mémoire de thèse, Université Aix-Marseille III*, 2001.

Franchesquin N., Espinasse B., Serment J., ``Coordination for contract realisation in the hydraulic management of the Camargue", in: *ABS4, Agent Based Simulations, Montpellier, France*, avril 2003.

GeoTools : <http://www.geotools.org/>

Jaber A., « Un système d'agents logiciels intelligents pour favoriser la coopération entre des systèmes d'aide à la décision dédiés à la prévention des risques naturels », *Mémoire de thèse, Eco1e des Mines de Paris, 1999*

Janssen R., « Multiobjective Decision Support for Environmental Management » *Kluwer Academic Publishers, 1992.*

Mowrer, H.T. 1997. "Decision support systems for ecosystem management: an evaluation of existing systems". General Technical Report RM-GTR-296. Fort Botequilha Leitão A., Grueau C., Ferreira H., Muge F., Ahern J., « Decision Support System for Planning and Management of Biodiversity in Protected Areas. The research project PROBIO » in A. Ward, E. Binaghi, P. A. Brivio, G. A. Lanzarone and G. Tosi (Editors), Proceedings of the international Workshop on Geo-Spatial Knowledge Processing for Natural Resource Management. Joint Research Centre, European Commission. June 28-29, 2001, Varese, Italy, pp. 145-151. <http://alfa.ist.utl.pt/~cvrm/projects/probio>

Müller, J. P., "MIMOSA : représentation des connaissances et simulation", 2004. <http://lil.univ-littoral.fr/Mimosa>

Nute D., Potter, W.D., Maier F., Wang J., Twery M., Rauscher H.M., Knopp P., Thomasma S., Dass M., Uchiyama H., Glende A., "NED-2 : an agent-based decision support system for forest ecosystem management", *Environmental Modelling & Software*, 2003, in press, Elsevier. <http://www.fs.fed.us/ne/burlington/ned/>

Reynolds, K., Bjork, J., Rienmann, H.R., Schmoldt, D., Payne, J., King, S., Moer, M., DeCola, L. Twery, M. Cunningham, P., Lessard, G., « Decision Support For Ecosystem Management », In *Ecological Stewardship: A Common Reference for Ecosystem Management*. Elsevier Science Ltd., 1999, Pp. 687-722.

Servat, D., Perrier E., Treuil J-P, Drogoul A., "When Agents Emerge from Agents: Introducing Multi-Scale Viewpoints in Multi-Agent Simulations", Proceedings of MABS'98, 183--198, LNAI n° 1534, Springer-Verlag, Berlin. (1998)

Tranvouez E., "Modélisation Multi-Agents de systèmes d'information distribués et coopératifs : une application à l'ordonnancement", *mémoire de thèse, Université d'Aix-Marseille III, 2001.*

Tranvouez E., Ferrarini A. et Espinasse B., "Multiagent modelling and simulation of workshop disruptions management by cooperative rescheduling strategies", in: *Workshop on Multiagent Based Modelling and Simulation in Industry and Environment, ESS'2001 - 13th European Simulation Symposium and Exhibition, Marseille, 2001.*

Turban E., "Decision Support and Expert Systems" *New York, Macmillan, 1993.*