

Environmental Decision Support System for Hydraulic Management of the Camargue : Functionalities and Software Architecture

Julien Serment - Bernard Espinasse - Erwan Tranvouez
LSIS – UMR CNRS 6168
Université Paul Cézanne
Domaine Universitaire de Saint-Jérôme
Avenue Escadrille Normandie-Niemen
13397 Marseille Cedex 20
FRANCE

Abstract – The Environmental dynamics complexity make more and more difficult the decision-making. Therefore, the environmental managers, in particular in water management, need to use Environmental Decision Support Systems (EDSS). This paper defines the major generic functionalities of EDSS and specific functionalities for an EDSS dedicated to the hydraulic management of the Camargue ecosystem. For this specific EDSS, a software architecture performing these functionalities is also proposed. Composed of functional modules and an integration infrastructure inspired of HLA (High Level Architecture), this architecture would be reusable for development of other specific EDSS.

I. INTRODUCTION

Environmental dynamics complexity overloads decision-makers in quantity of data, information and knowledge of different form and quality. It complicates environmental decision-making, whether involved in sustainable development or ecosystems management more or less human-influenced.

Consequently, managers cannot identify or formulate good decisions without strong computer-based decision support [1]. Environmental Decision Support Systems (EDSS), are information systems that ameliorate the time in which decisions can be made as well as the consistency and the quality of the decisions [2].

These systems must help the decision-makers and not substitute them. EDSS can be used to understand and management an ecosystem, to accumulate qualitative and quantitative information, to adapt conceptual models to a local management, and select appropriate management options to optimize the (often conflicting) decision criteria [3].

This research concerns the definition of functionalities and software architecture of an EDSS for the hydraulic management of the Camargue, a strongly human-influenced ecosystem.

In the section II, to apprehend the environmental decision complexity, different levels of decisions are defined. The study of several relevant EDSS permits to define the major generic functionalities that are required by users of these systems. In the section III, the problematic of the hydraulic management of the Camargue is presented. The decisional levels associated to this management are defined as the functionalities required for this specific EDSS in water management. In the section IV, for this specific EDSS, a software architecture performing these functionalities is proposed. Composed of functional modules and an integration infrastructure inspired of HLA (High Level Architecture), this architecture would be reusable for development of other specific EDSS.

II. MAJOR FUNCTIONALITIES OF EDSS

The environmental decision-making can take different forms, according to the nature of the decision, the decisional context or the characteristics of the problem which are facing the decision-maker.

In order to better define the different forms of the decision support which can be supply by EDSS, and to define the major generic functionalities of such systems, several relevant EDSS are be studied [5]:

- the BIOMAS project [6] deals with practices in collective management of animal wastes,
- the PROBIO project [7] concerns by the biodiversity forecast and management in protected area,
- the CATCHSCAPE project [8] relates shared natural resources management in the north of Thailand,
- the NED project [9] study the forest ecosystem management.
- the projet ALI [10] for the prevention and the struggle against forest fire,
- the projet WWTP [11] concerns control and management of used water traitment plants in Spain,

For each of these projects of EDSS, its objectives, its functionalities and its software architecture are specific. A comparative study of these EDSS projects on these different aspects is not really possible and relevant. Indeed, an EDSS is developed in a specific environmental decisional context, which can be specified according to:

- The characteristics of the problem which are facing the decision-maker (natural resources, natural park management, forest fires, ...).
- The nature of the decision (ecologic, politic, social, ...).
- The decisional context [4] (prediction, medium/long time planning, supervision and control, emergency crisis' management, ...).
- The characteristics of the problem which are facing the decision-maker (natural resources, natural park management, forest fires, ...).
- The temporal constraints of the decision: short, medium or long term.
- The impact of the decisions: local or global.
- The modelling paradigm adopted: analytical models, stochastic models, individual centred models, object models...

...
In front of this diversity, the definition of different use levels or decisional levels appears relevant.

In general, the environmental decision come within the scope of a management activity, for instance of an ecosystem. In the management field, a managerial activities typology has been proposed by Antony [12]. Three types of activity are distinguished: the strategic planning, the managerial planning and control, and finally the operational control. To each type of activity correspond specific types of problems to solve, and consequently specific kind of decisions:

- 1) *Strategic Planning*. It is a managerial activity that leads to major decisions, which the impact is global and the consequences are in the long term. These decisions can, by example, involve the future of a whole ecosystem.
- 2) *Management planning and Control (piloting)*. In general, this managerial activity leads to decisions, which the consequences are in medium term and which the impact intermediary between local and global.
- 3) *Operational control (regulation)*. This activity concerns decision, which the consequences are in the short term, less than the month and the impact is local and limited, by example a small area of an ecosystem.

An EDSS can be use on one or several of these levels, but in general, a level is favoured.

In this way, the BIOMAS and CATCHSCAPE projects mainly concern the strategic planning. In the two projects, the aim is not to find an immediate solution to a specific problem, but to develop with the actors implicated, a reflection on process concerning a whole ecosystem. These projects aim for actors to be aware of, by example, they are part of this ecosystem, and that each of their act have consequences. This can leads to collective decisions or progressive changes of collective behaviours with consequences in the long term.

The PROBIO and NED projects concern mainly piloting decisions. This projects supports planning in medium or long terms and concerns management means to maintain ecosystems in a stable state.

The ALI and WWTP project mainly support regulation decisions, in supervision and control. These two projects concern problems (fires, used water) where the decision makers have to quickly react and which the consequences are immediate (short or very short term). The solutions to these problems concern very limited areas.

The study of these EDSS projects have permit to define the following major functionalities concerning the three decisional levels:

1) *Modelling*. The decision-makers have to set the problem with models. This functionality concerns the description of entities implied in the various models used (ecologic, biologic, social, economic, ...). Some of these models are simulation models and specify the behaviours of such entities. Several supplementary models can be used (multi-modelling), and theirs interactions or couplings have to be specified.

2) *Simulation*. The simulation is often used in EDSS, according different perspectives [13]: prediction, understanding, extrapolation or interpolation. This simulation functionality concerns the design of scenarios and experiment plans related to the simulation models, the

control and the supervision of the simulation execution, and some time the synchronisation of different simulation model executions on different software environments.

3) *Visualisation*. This functionality allows the visualisation of models and results obtained by use of these models especially by simulation. The communication between different decision-makers and results interpretation are easier. In the EDSS, the models are often spatial, and such visualisation is based on a defined spatial referential.

4) *Analyse*. Different alternatives simulated have to be evaluated. For example this functionality permits to the user to analyse results from a simulation, or an experiment plan, or to compare results of different simulations.

5) *Data management*. This functionality concerns the management of **exogen?** or endogen data, which are used to perform the previous functionalities. This functionality permits to store data, especially spatial and temporal data, relative to the different models and manage their use, in particular for simulation. This functionality manage also the data generated by simulation (intermediary and final results). The data management functionality is closely linked with other functionalities.

6) *User integration*. This functionality supports the system-user interaction in the performing of the previous functionalities. The user integration can be extended to his participation to the modelling process (game of roles, participative approaches, ...), or in the simulation execution. This functionality is also closely linked with other functionalities.

The two last functionalities can be considered as auxiliary functionalities. In the studied EDSS projects the importance of the development of the four others functionalities depends of the decisional level concerned. The figure 1 illustrates this importance according the three decision levels for the modelling (M), simulation (S), visualisation (V) and analyse (A) functionalities.

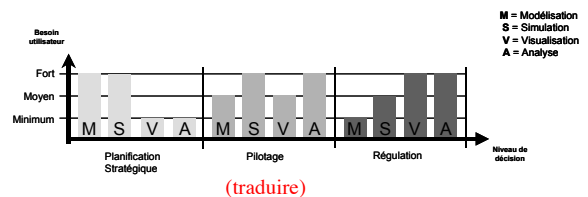


Fig. 1. Functionalities and decision's level

The BIOMAS and CATCHSCAPE projects, which mainly concern the strategic planning level, focus on the understanding and the interaction of models. These tools permit to the decision-maker user to modify himself the models, and to intervenes during the simulation process.

These requirements are also needed for support at the piloting decision level, as in the PROBIO and NED projects. In these systems, the user can elaborate and evaluate numerous of alternatives. The simulation and analyse functionalities are the more used by the decision-maker.

Finally, in the ALI and WWP projects, which mainly concern the regulation decision level, the models have not to be modified, but the simulation results have to be easily and quickly analysed. Analyse and visualisation functionalities are very important for the user to follow and exploit the simulation execution.

***** A JULIEN *****

III. DECISION SUPPORT FOR THE HYDRAULIC MANAGEMENT OF CAMARGUE ECOSYSTEM

The SIMFONHYC project [14, 15, 16] performed by the LSIS in collaboration with the Camargue Natural Regional Park (PNRC) and the DESMID-CNRS laboratory a conduit au développement d'un simulateur pour la compréhension des processus décisionnels impliqués dans la gestion hydraulique de la Camargue. L'objectif maintenant poursuivi est le développement d'un EDSS, basé sur ce simulateur, pour aider les gestionnaires du PNRC jouant un rôle de médiateur entre les différents acteurs de la gestion hydraulique de la Camargue.

Cette section présente tout d'abord la problématique de la gestion hydraulique de la Camargue, puis les différentes décisions associées à cette gestion sont décrites. Enfin, les objectifs et les fonctionnalités associés à un EDSS relatif à la gestion hydraulique de la Camargue sont définis.

Located in the Rhône delta, the Camargue is an alluvial plain exposed to the influences of a salty water table and a Mediterranean climate. The Camargue ecosystem is greatly depending on human activities [17]. These activities necessitate massive introduction of freshwater.

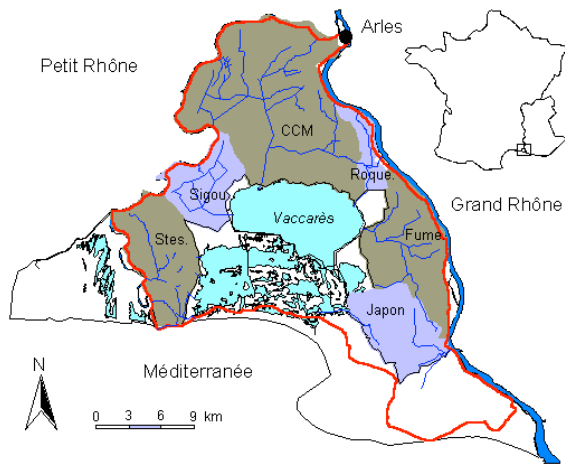


Fig. 2. Drainage associations area (origin : Camargue GIS)

To allow the development of activities such as agriculture, an important network of irrigation and drainage canals has been built. The range and intensity of anthropogenic influences mainly depends on the hydraulic management.

From an hydrologic point of view, this delta behaves as the catchment's basin of the central lagoons system. The water flows from the Rhône river to a lagoons system named "Vaccarès system". Due to the important inputs of freshwater for agriculture a part of this delta has been polderized. Management of drainage waters is currently done by drainage associations (Fig. 2) that drain to the Rhône river or to the Vaccarès system the surplus of water coming from farms.

Actors participating directly to this hydraulic management are the farmers concerned by the agricultural parcels management and marsh of hunting, hydraulic associations which are in charge of draining land situated on their perimeter, and finally the PNRC in its role of administrator of the dike to the sea.

As shown in figure 3, this management modifies the water level and the water salinity of the Vaccarès System, a set of lagoons belonging to the National reserve. For example choices by farms of crop and cropping techniques modify

quantities of water to drain. The level and salinity of this system are essential for the ecological quality of the entire area.

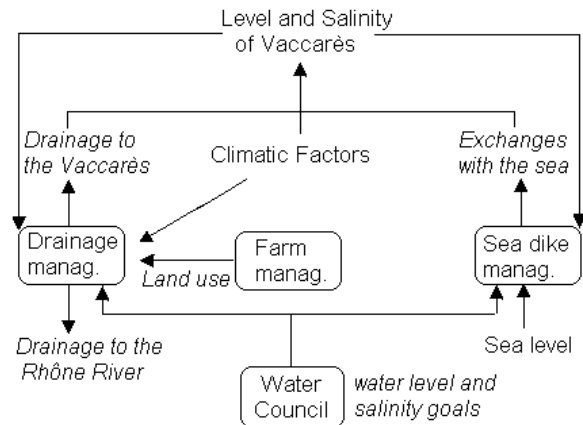


Fig. 3. Hydraulic management and water exchanges in Camargue.

Drainage associations have to manage amounts of drainage water by defining in particular the proportion of water that will be pumped back to the Rhône river and consequently water that will be poured by gravity in the Vaccarès system. Management of the sea dike deals with exchanges between the Vaccarès system and the Mediterranean sea.

Les problèmes relatifs à la gestion hydraulique de la Camargue concernent les trois niveaux de décisions décrits précédemment.

1) *Strategic Planning*. Les décisions de ce type relèvent d'une anthropisation « indirecte ». Elles sont relatives à des choix n'agissant pas directement sur l'écosystème, apportant des petites modifications pouvant à long terme entraîner des modifications plus importantes sur l'écosystème ou influençant les acteurs réalisant ces actions. 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.

2) *Management Control*. Les décisions de ce type, à moyen terme, ont pour objectif l'amélioration des possibilités anthropiques. Les décisions possibles concernent la modification de l'anthropisation et varient par le type de modifications apportées aux infrastructures. Il s'agit ici d'améliorer la gestion « quotidienne » en modifiant les possibilités d'action permettant d'agir directement sur l'écosystème. Les décisions de ce type sont plus rarement prises, elles interviennent généralement pour résoudre un problème que les infrastructures actuelles ne permettent pas de résoudre et s'applique à une partie de l'écosystème. Comme par exemple, augmenter les capacités de pompage d'une station, équiper de pompes les bassins versants non polderisés, travaux de rénovation de pertuis...

3) *Operational control*. Les décisions de ce type concernent la gestion plus ou moins quotidienne de l'écosystème dans les conditions d'infrastructures actuelles. Ces décisions, généralement prises au cours des Water Council, consistent à décider des actions anthropiques à entreprendre par les différents acteurs dans le cadre de la gestion hydraulique de l'écosystème. Ces actions ont un effet

J. Serment, B. Espinasse, E. Tranvouez (2006), « Environmental Decision Support System for Hydraulic Management of the Camargue: Functionalities and Software Architecture », *IEEE-ISEIM 2006*, Corte-Ajaccio, July 10-13, 2006.

direct (à court terme) et concernent une zone précise de l'écosystème. Les décisions de régulation concernent, dans un contexte de prévention ou de rétablissement, le bon état de l'écosystème (niveau et salinité des étangs). Les décideurs doivent tenir compte de certains paramètres exogènes (précipitations, panne...) et essayer de les anticiper. Il s'agit la plupart du temps de trouver le « bon dosage » entre le pompage de drainage vers le Rhône et l'ouverture de la digue à la mer. Le niveau est généralement prioritaire par rapport à la salinité sauf si l'état de la salinité devient critique.

Les décisions de gestion hydraulique de la Camargue concernent soit des actions aux effets indirectes sur l'écosystème, soit les possibilités d'anthropisation et les modifications à apporter au niveau des infrastructures, soit enfin les actions anthropiques et la gestion « quotidienne ».

In order to support the Camargue manager at these three decision levels, an EDSS should help him in defining different scenarios, simulating these scenarios and assess their results. Two models have already been defined in the SIMFONHYC project: a social model specifying human activities (fishing, agriculture and protection) and a hydrological model depicting the hydrological mechanisms. Decisions's criteria, which serve to scenarios evaluation, are level and salinity of a lagoons system and human actors' satisfaction. Decision support needs brought up by the different scenarios vary depending on the decision level. Below are specified the decision support functionalities required for an EDSS dedicated to the Camargue hydraulic management.

1) *Decision support at the strategic planning level.* At this level, les décisions, principalement à long terme, demandent des modifications des modèles. The EDSS doit répondre à des besoins de modélisation fort permettant aux décideurs d'exprimer leurs problèmes de décision. Il doit également permettre de simuler différentes alternatives. Les décisions concernées ayant des conséquences sur le long terme, the EDSS doit permettre de simuler les modèles sur de longues périodes. L'utilisateur doit pouvoir intervenir en cours de simulation pour mieux comprendre et faire comprendre le comportement des différents acteurs et leurs conséquences. La visualisation et l'analyse des résultats restent très globales, il s'agit de voir vers quoi tend l'écosystème en général, des résultats précis ne sont pas nécessaires. L'outil doit en particulier permettre d'explorer les relations et les comportements des acteurs et voir les conséquences à long terme de certains changements.

2) *Decision support at the management control level.* At this level, les décisions, principalement à moyen terme, concernent les possibilités d'action de l'homme. Il s'agit par exemple de trouver des solutions au niveau des infrastructures hydrauliques, permettant de rétablir plus facilement ou plus confortablement le niveau et la salinité du Vaccarès. Le besoin de simulation est important car les conséquences des décisions ne sont pas connues et demandent un investissement important. Les décideurs doivent pouvoir vérifier l'apport des modifications et comparer plusieurs scénarios d'interaction entre le modèle social et le modèle hydrologique. Pour cela, l'utilisateur doit pouvoir définir les modifications nécessaires au niveau des modèles et de leurs interactions. Au niveau de la simulation, l'utilisateur doit pouvoir intervenir pour éprouver la nouvelle solution est vérifier son efficacité. La visualisation des

résultats reste assez globale. L'analyse doit permettre de comparer les différentes simulations variant par un grand nombre de paramètres et sous différents angles (état écosystème, satisfaction des activités...). Pour ce type de décisions, l'EDSS doit permettre de tester, d'argumenter une solution en montrant à l'aide de simulations ce que pourraient apporter des modifications des infrastructures au niveau de l'état de l'écosystème.

3) *Decision support at the operational control level.* At this level, l'aide apporté concerne principalement la détermination des actions à court terme de la gestion hydraulique à exécuter. Ces actions sont connues et effectuées régulièrement par les acteurs (pompage, irrigation et échanges avec la mer). Pour les aider les décideurs, l'EDSS doit permettre la simulation de différentes alternatives. L'objectif étant de trouver un plan d'action (avec des quantités précises) permettant d'obtenir un niveau et une salinité acceptable pour l'ensemble des activités. Ces données sont nombreuses (niveau, salinité, irrigation, drainage, pompage...). Elles doivent être évaluées en fonction des différents points de vue afin de prendre en considération les satisfactions des différents acteurs. L'utilisateur doit pouvoir se concentrer sur une donnée précise ou suivre l'évolution de l'ensemble des paramètres. La visualisation des résultats doit, pour cela, être précise, conviviale et paramétrable. Au même titre, les décideurs doivent pouvoir faire varier la vision de l'analyse des résultats. Un grand nombre de simulations, ne variant parfois que très peu de l'une à l'autre, sont réalisées. Elles doivent pouvoir être analysées et comparées correctement et rapidement afin de mieux les évaluer.

La caractérisation des besoins fonctionnels d'un EDSS pour la gestion hydraulique de la Camargue illustre une situation où des besoins différents 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.

IV. EDSS ARCHITECTURE

Cette section définit l'architecture logicielle d'un EDSS pour la gestion hydraulique de la Camargue. Cette architecture doit assurer les fonctionnalités d'un tel système définies dans la section précédente. Les différents modules de cette architecture sont définis et les solutions logicielles pressenties pour chacun sont présentées. Ces solutions logicielles correspondant aux outils définis dans nos précédents travaux ainsi qu'à des outils déjà existants performants et adaptés, auxquels les décideurs sont habitués, un problème de compatibilité entre ces outils apparaît. Aussi l'architecture de cet EDSS comporte une infrastructure d'intégration inspirée de HLA assurant leur fonctionnement au sein d'un même système.

Chacune des six fonctionnalités de l'EDSS Camarguais définies dans la section II est assurée par un module logiciel spécifique. Un tel module « fonctionnel » se définit comme un ensemble de fonctions ayant un nom par lequel les autres parties du système peuvent l'invoquer. Ces modules manipulent un certain nombre d'informations pouvant être échangées avec les autres modules. Les fonctions et informations manipulées par chacun des modules sont détaillées dans [18]. L'intégration des outils composant ces modules « fonctionnels » est assurée par une infrastructure

J. Serment, B. Espinasse, E. Tranvouez (2006), « Environmental Decision Support System for Hydraulic Management of the Camargue: Functionalities and Software Architecture », *IEEE-ISEIM 2006*, Corte-Ajaccio, July 10-13, 2006. d'intégration présentée en détail dans la sous-section suivante. La figure 4 présente cette architecture générale.

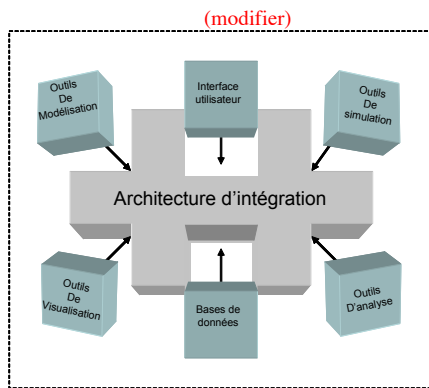


Fig. 4 : Generic architecture of the Camargue EDSS

Les différents modules fonctionnels de l'EDSS Camarguais sont les suivants :

1) *Modelling module*. L'objectif de ce module est la construction des modèles. Au moins deux outils différents doivent être intégrés : un pour le modèle social qui est un modèle multi-agents et un pour le modèle hydrologique qui est un modèle objet. Il est envisagé d'utiliser un outil défini au sein de notre laboratoire (**japha**) pour la description des comportements des agents cognitifs du modèle social. Le second outil à intégrer est un outil de modélisation objet supportant UML¹. Des outils permettant la description des interactions entre les modèles seront peut-être également implémentés.

2) *Simulation module*. Ce module est central pour l'aide à la décision, c'est lui qui permet de tester les différentes solutions possibles. Deux outils de simulation seront intégrés : un outil de simulation à base d'agents et un outil de simulation objet, respectivement associés aux outils de modélisation. L'outil défini dans nos précédents travaux [14, 15, 16], permettant la simulation du modèle social, sera intégré. Pour le modèle hydrologique, un simulateur orienté objet, telle que Anylogic², sera intégré.

3) *Visualisation module*. Il permet la visualisation des comportements des modèles et des résultats de simulation. Des interfaces objet permettant l'affichage numérique des résultats de simulation existent déjà au niveau du simulateur. Des outils de visualisation graphique de données géographiques seront intégrés pour un meilleur suivi de l'état des modèles. Des outils adaptables comme Geotools³ sont envisagés.

4) *Analyse module*. Ce module offre la possibilité d'analyser des résultats et de comparer différentes simulations. Au vu des besoins définis dans les sections précédentes, l'intégration d'outils d'analyse multicritères est pressentie.

5) *User intégration module*. Les décideurs sont considérés, dans ce travail, comme faisant partie du système. Ce module permet à l'utilisateur d'accéder aux différentes fonctions assurées par the EDSS. Des interfaces objet déjà existent au niveau du simulateur. Des agents interface et des agents

logiciels, fournissant des interfaces personnalisés et adaptables, peuvent être également intégrée pour permettre une meilleure intégration de l'utilisateur au sein du système

6) *Data management module*. Ce module prend en charge la gestion des données. Tout comme le module d'intégration de l'utilisateur, il s'agit d'un module transversal, sur lequel peut s'appuyer l'interopérabilité des modules. Pour ce module, le Geographic Information System (GIS) PostGIS⁴ sera intégré à la plateforme. Ce GIS s'appuie sur le système de gestion de base de données PostGreSQL⁵ auquel a été ajouté la gestion de coordonnées géographique.

Les modules « fonctionnels » précédemment introduits sont en forte interaction. Chacun des modules produit et fournit des informations et des services aux autres modules et inversement. Des interactions peuvent avoir lieu au sein d'un même de ces modules comme pour les modèles de simulation couplés. Les modules *intégration utilisateur* et *gestion des données* sont transversaux aux autres modules.

L'infrastructure d'intégration permet l'intégration et l'interopérabilité des divers outils, souvent hétérogènes, choisis pour assurer les fonctionnalités des modules.

Cette infrastructure d'intégration, détaillée dans [18], s'inspire de HLA et se compose des trois composants suivants (fig. 5) :

- *Des adaptateurs* : chaque adaptateur encapsule un outil logiciel et assure son intégration au système.
- *Des interfaces* : les interfaces permettent de faire le lien entre ces adaptateurs et le médiateur.
- *Un médiateur* : il assure l'interopérabilité entre les outils logiciels à intégrer.

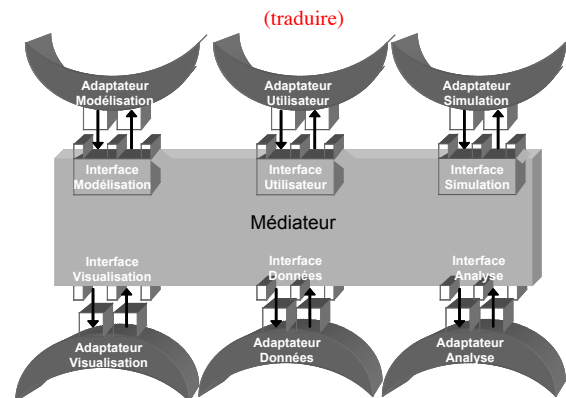


Fig. 5. Integration architecture

L'intégration et l'interopérabilité sont réalisées par l'infrastructure de la façon suivante [18] :

- L'interface représente l'outil logiciel auprès des autres interfaces et du médiateur, notamment en relayant des besoins de données ou de services. Elle transfère à son adaptateur une demande de données ou de fonctions, récupère le résultat de cette requête et achemine ce résultat vers l'interface qui l'a sollicité ou le médiateur.
- L'adaptateur reçoit la requête transmise par l'interface et la traduit en appel (niveau API) à l'outil qu'il « encapsule ».
- Le médiateur assure l'interopérabilité en coordonnant

¹ Unified Modeling Language. www.uml.org

² <http://www.xjtek.com/>

³ <http://www.geotools.org/>

⁴ <http://postgis.refrains.net/>

⁵ <http://www.postgresql.org/>

J. Serment, B. Espinasse, E. Tranvouez (2006), « Environmental Decision Support System for Hydraulic Management of the Camargue: Functionalities and Software Architecture », *IEEE-ISEIM 2006*, Corte-Ajaccio, July 10-13, 2006.

le dialogue entre les interfaces, et en assurant la synchronisation et la cohésion (gestion du temps, accès à la base de donnée ...).

Une telle infrastructure permettrait ainsi d'offrir toutes les fonctionnalités attendues des EDSS, en laissant le choix des outils aux concepteurs et décideurs, et ne serait pas remise en cause à chaque nouveau type de décision. Elle ne serait pas dédiée à un seul EDSS, mais faciliterait le développement de différents EDSS.

V. CONCLUSION

VI. ACKNOWLEDGMENT

The authors gratefully acknowledge the contributions of Stéphane Marche from the PNR

VI. REFERENCES

- [1] Janssen R., 1992. Multiobjective Decision Support for Environmental Management. Kluwer Academic Publishers.
- [2] Cortès U., Sanchez-Marrè M. and Ceccaroni L., 2000. Artificial Intelligence and Environmental Decision Support Systems. *Applied Intelligence 13 (1)*, p.5-6.
- [3] Mowrer, H.T., 1997. Decision support systems for ecosystem management: an evaluation of existing systems, General Technical Report RM-GTR-296.
- [4] Denzer D., Swayne A. and Schimak G., 1997. Environmental Software Systems. Chapman & Hall, London, England.
- [5] Serment J., Espinasse B., and Tranvouez E., 2005. Contribution à une architecture logicielle générique pour le développement de système d'aide à la décision environnementale: Illustration à travers le cas Camarguais. CABM-HEMA-SMAGET05, Bourg-saint – Maurice, France.
- [6] Courdier R., Guerrin F., Andriamasinoro F.H., and Paillat J.M., 2002. Agent-based simulation of complex systems : application to collective management of animal wastes. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 5, no.3. <http://www2.univ-reunion.fr/~mas2/>
- [7] Botequilha Leitão A., Grueau C., and al., 2001. Decision Support System for Planning and Management of Biodiversity in Protected Areas, The research project PROBIO. Proceedings of the international Workshop on Geo-Spatial Knowledge Processing for Natural Resource Management. Varese, Italy, p. 145-151. <http://alfa.ist.utl.pt/~cvrm/projects/probio>
- [8] Becu N., Perez P., Walker A. Barreteau O., and Le Page C., 2003. Agent based simulation of a small catchment water management in northern Thailand, Description of the CATCHSCAPE model. *Ecological Modelling 170*, Elsevier, p.319-331. <http://cormas.cirad.fr/fr/applica/catchscape.htm>
- [9] Nute D., Potter, W.D., Maier F., Wang J., Twery M., Rauscher H.M., Knopp P., Thomasma S., Dass M., Uchiyama H. and Glende A., 2003. NED-2 : an agent-based decision support system for forest ecosystem management. *Environmental Modelling & Software*, Elsevier. <http://www.fs.fed.us/ne/burlington/ned/>
- [10] Jaber A., 1999. 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. Thèse de Doctorat, Ecole des Mines de Paris, France.
- [11] Borrell F. Riaño D., Sànchez-Marrè M. and Rodriguez-Roda I., 2002. Implementation of a Multiagent Prototype for WWTP Management. IEMSS, Integrated Assessment and Decision Support System, Lugano, Suisse.
- [12] Anthony R.N., 1966. Planning and Control Systems : a Framework for Analysis. Cambridge, Mass, Harvard University Press.
- [13] Reynolds, K., Bjork, J., Rienmann, H.R., Schmoltd, D., Payne, J., King, S., Moeur, 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.
- [14] Franchesquin N., 2001. Modélisation et simulation multi-agents d'écosystèmes anthropisés : une application à la gestion hydraulique en Grande Camargue. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille III, France.
- [15] Franchesquin N., Espinasse B., Serment J., "Coordination for contract realisation in the hydraulic management of the Camargue", in: *ABS4, Agent Based Simulations*, Montpellier, France, april 2003.
- [16] Espinasse B. and Franchesquin N., 2005. Multiagent Modelling and Simulation of Hydraulic Management of the Camargue. *Simulation*, Vol. 81, Issue 3, p.201-221.
- [17] Picon, B. 1988. "L'espace et le temps en Camargue ". Actes Sud.
- [18] Serment J., Espinasse B., and Tranvouez E., 2006. "Vers une infrastructure d'intégration pour le développement de systèmes d'aide à la décision environnementale", *MOSIM'06*, Rabat, Maroc.