

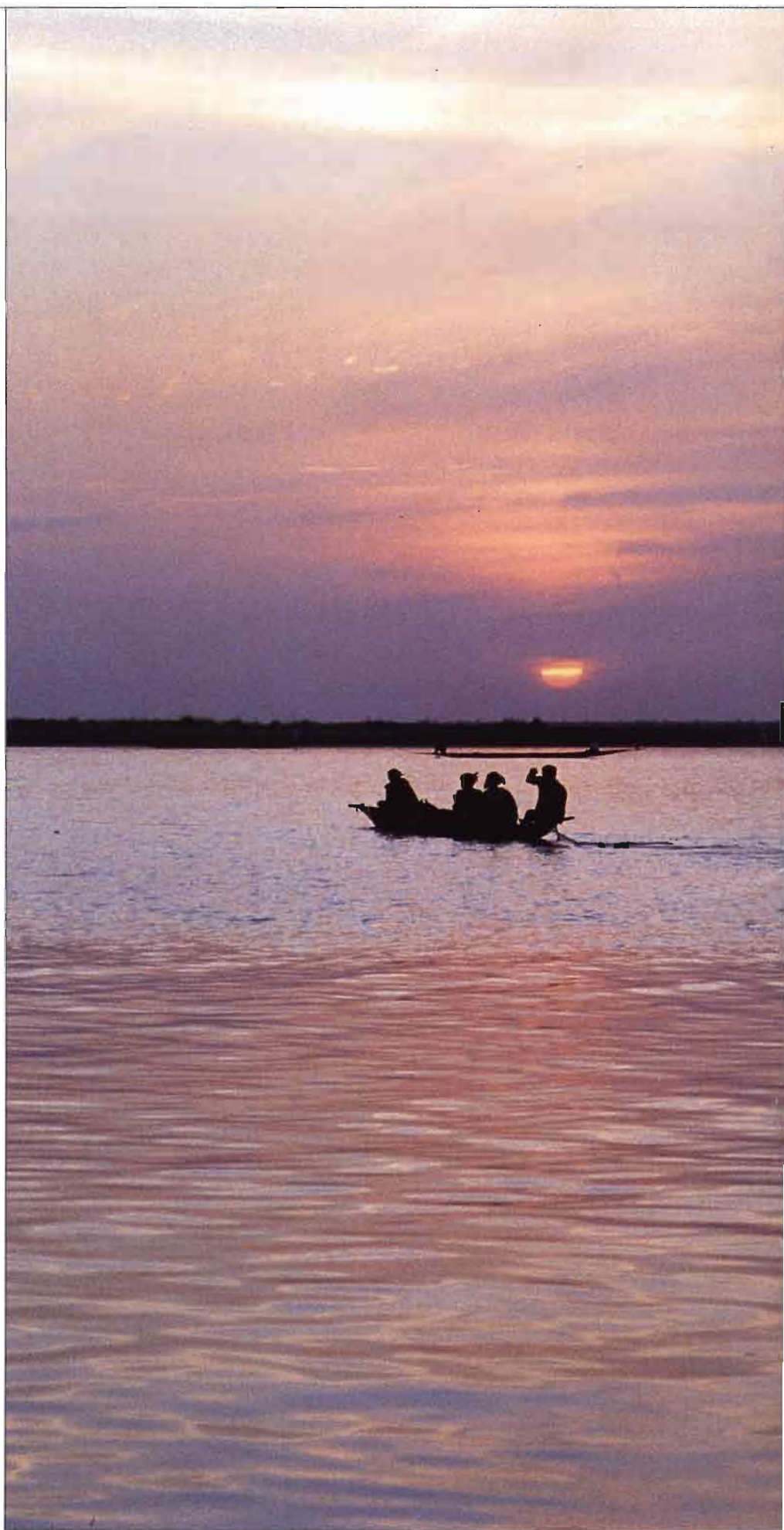
L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE AU SERVICE DES PÊCHES ARTISANALES

Entre l'aval du barrage de Markala et la ville de Tombouctou le fleuve Niger et son affluent le Bani parcourent une vaste zone inondable de plusieurs milliers de km². Au moment de la crue de ces fleuves, les eaux envahissent un réseau de chenaux, de lacs et de plaines inondables dont elles se retirent à la décrue pour laisser des mares, des bras isolés qui s'assèchent progressivement jusqu'à la crue suivante. Ce milieu est très riche en poissons et l'exploitation de cette ressource représente un apport alimentaire et un revenu crucial pour le pays. Malheureusement, on constate depuis 20 ans une baisse importante de la quantité de poisson commercialisée et c'est une des raisons qui explique la décision de l'Orstom et de l'IER (Institut d'Etudes Rurales, Mali) de lancer en 1986 le programme "Delta Central du Niger". Différentes disciplines, tant en sciences sociales qu'en sciences biologiques, participent à cette étude et sont engagées depuis un an dans une phase de synthèse des connaissances acquises.

*Coucher du soleil sur le fleuve Niger
Photo : Christophe Cambier*

*Lancer de l'épervier sur le fleuve Niger
Photo : Christophe Cambier*

L'abondante production de poissons est mise à sécher au soleil Photo : Christophe Cambier



REPRÉSENTER ET CONFORTER LES CONNAISSANCES

Au sein de cette équipe, les recherches consistent à concevoir et développer des outils de représentation de la connaissance dans le but de participer à cette synthèse multidisciplinaire. Il s'agit d'intégrer et de pouvoir confronter dans un simulateur différentes connaissances et modèles élaborés par les chercheurs impliqués en représentant notamment le comportement du pêcheur et ses conséquences sur son environnement. Une caractéristique importante de ces modèles est de pouvoir s'appliquer à divers objets et sur différentes échelles de l'organisation et de l'espace, par exemple le biologiste des poissons s'attache à définir le comportement d'une espèce de poisson dans un certain milieu tandis que l'anthropologue se préoccupe de l'histoire de la formation des groupes sociaux. Il s'agit bien de pouvoir représenter et simuler des phénomènes aussi différents que des processus sociaux ou écologiques, de contrôler l'articulation des connaissances multiples, d'intégrer l'interaction entre de nombreux composants. Pour ce faire, l'approche multi-agents a été retenue.

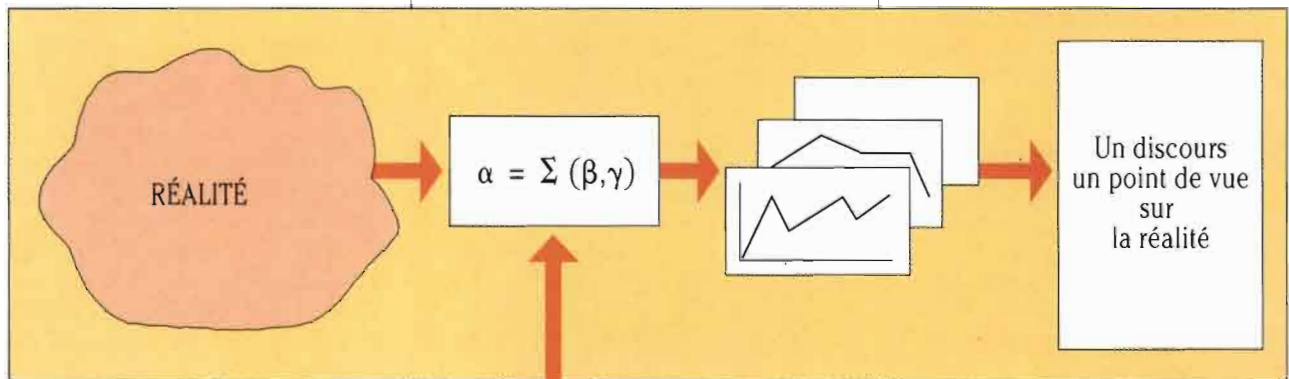
UNE MÉTHODE : LES SIMULATIONS MULTI-AGENTS

Dans la simulation classique on part du monde réel pour en tirer des indices, des courbes et autres informations et ce par le biais d'une certaine représentation mathématique tandis que dans la simulation multi-agents on construit une réalité "virtuelle" qui reflète en réduction la réalité. On effectue une fragmentation de la connaissance disponible et chaque fragment va être identifié à une entité informatique pourvue d'un comportement : on l'appelle alors agent. C'est l'interaction de ces agents qui fabrique cette réalité simulée, un monde artificiel duquel on peut alors extraire des informations (indices, courbes...).

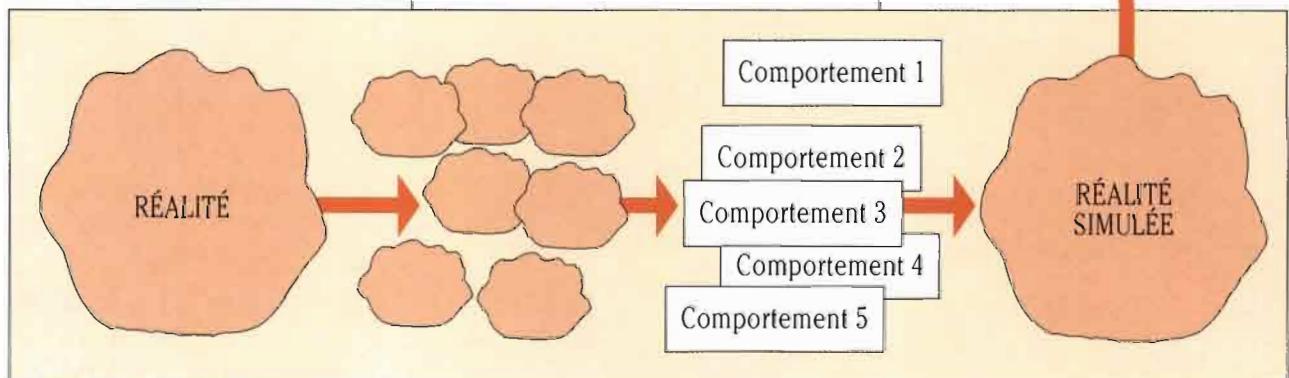
Il ne s'agit pas de recréer la réalité, ou le monde tel qu'il est, mais de générer un petit "bocal de vie" où interagissent des composants qui sont "palpables", observables et d'où un certain nombre de lois globales peuvent être extraites. C'est une voie de recherche nouvelle issue du domaine de l'Intelligence Artificielle Distribuée qui introduit le concept de système multi-agents dans lequel la résolution d'un problème est le fruit de l'interaction entre les agents (entités informatiques) qui le composent.



Simulation Classique



Simulation Multi-Agent



Simulation classique et simulation multi-agents

Cette méthode de simulation est utilisée dans des domaines très variés (simulation du comportement d'insectes sociaux comme les fourmis, planification, contrôle automatique des plans de vols temps réel, résolution de problème du type taquin, poursuites entre proies et prédateurs etc...) avec des résultats prometteurs. Notre recherche est une expérience d'utilisation de ces méthodes pour l'étude de la relation homme-environnement. Ses résultats et conclusions sont une contribution à la fois aux domaines de l'informatique, de la modélisation et de l'écologie.

Le simulateur (SimDelta, copie d'écran) permet de représenter :

- un monde artificiel composé de plusieurs agents qui interagissent,
- différents spécialistes, constitués de lots de règles, qui représentent les connaissances des chercheurs, leurs points de vue sur cet univers artificiel. C'est la réalité vue par les chercheurs qui est simulée. La transmission de l'information est gérée par une architecture de type blackboard* : lorsqu'un événement

se passe dans le monde artificiel les spécialistes concernés sont informés, activent leurs règles, bougent les agents concernés et transforment ainsi le monde artificiel. Ces transformations peuvent à leur tour constituer un événement pour un autre spécialiste, etc...

DES EXPÉRIMENTATIONS

Le générateur de simulations SimDelta permet de simuler la dynamique de populations de poissons ou le processus de décision des pêcheurs, ou enfin, et c'est là l'objectif principal, de simuler en même temps les deux dynamiques. Pour illustrer ces possibilités, deux expérimentations ont été menées. La première consiste à simuler la dynamique de populations de poissons soumises à une mortalité par pêche (la décision des pêcheurs n'est pas représentée). Cette mortalité augmente au cours du temps, pour reproduire de façon très simplifiée aussi bien la forte croissance démographique que le changement climatique subi par le delta cen-

tral du Niger depuis 30 ans. A cet effet, on construit un écosystème artificiel composé de deux milieux différents, représentatifs des biotopes de type fleuve et de type plaine inondable. Dans ces milieux on introduit des groupes de poissons. La simulation de la dynamique des populations de poissons est basée sur la connaissance des biologistes spécialistes des poissons d'eau douce sahéliens qui décrivent les processus de la reproduction, de la croissance, de la mortalité et de la migration. Sur cet écosystème artificiel est simulé un effort (une mortalité) de pêche qui augmente chaque année. En résultat, l'évolution des captures suit une courbe en trois phases:

- les captures augmentent en fonction de l'effort,
- elles s'infléchissent à l'approche d'un maximum qui se prolonge en un véritable plateau. Les prises restent constantes malgré la poursuite de l'intensification de l'effort.
- l'effondrement des captures se produit pour des valeurs de l'effort de pêche très élevées.

Cette forme est une évolution conceptuelle connue et discutée dans la bibliographie. L'intérêt du simulateur est de fournir un univers artificiel sur lequel il est possible d'observer, en même temps que cette évolution halieutique, une évolution des caractéristiques biologiques. Ainsi, on observe au cours de cette intensification de l'effort de pêche un changement de la composition spécifique et des tailles de poisson. Cette simulation permet de relier et de discuter dans un cadre commun des connaissances sur l'hydrobiologie et sur l'halieutique. On peut alors chercher sur l'écosystème artificiel des indicateurs biologiques qui permettent de se situer dans l'évolution de la pêcherie, indicateurs que l'on peut ensuite observer sur l'écosystème réel.

La deuxième expérimentation consiste à simuler des pêcheurs qui prennent des décisions et agissent sur la ressource renouvelable. Les pêcheurs se font une représentation de leurs activités possibles, perçoivent des informations issues de leur environnement naturel et social, choisissent une activité suivant un mode de sélection donné puis agissent. Lors de l'acte de pêche une quantité de poissons est extraite du milieu et ce résultat est mémorisé par le pêcheur, ce qui peut modifier sa perception de l'environnement. Par exemple, nous avons représenté et simulé un groupe de pêcheurs qui choisissent leur activité suivant un critère de rationalité éco-

nomique, puis nous avons effectué une deuxième simulation qui intègre des règles d'accès à l'espace. La comparaison des deux simulations montre que la dynamique des populations de poissons est sensible à ce modèle de décision. L'observation de l'écosystème artificiel permet de regarder à quel moment particulier du cycle de pêche, différentes interventions des pêcheurs ont une influence sur la ressource.

Dans le contexte des études environnementales, cette recherche a pour objectif d'intégrer différentes connaissances disciplinaires en créant un univers artificiel, puis de provoquer des simulations qui permettent d'identifier sur ce monde artificiel des indicateurs de la dynamique des interactions, dans le but de discuter la pertinence de ces indicateurs sur le monde réel.

François Bousquet
Département Eaux Continentales
Mission Technique
Informatique/Laboratoire
d'Informatique Appliquée
Christophe Cambier
Paris VI/Laforia

Glossaire

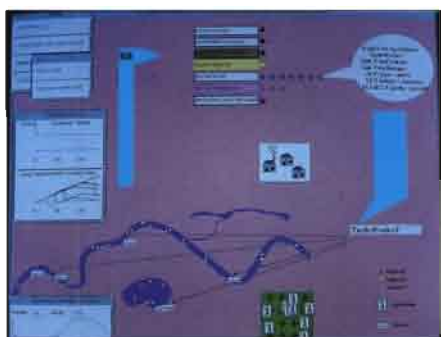
Les systèmes à base de blackboard. De nombreuses architectures ont été développées ; on y retrouve les trois caractéristiques suivantes :

Les composants du problème sont stockés dans une base de données structurée appelé blackboard . Cette structure de données est divisée en plusieurs niveaux.

Les sources de connaissances (ou spécialistes) sont des modules indépendants capables d'agir sur les composants des niveaux (créer, modifier, ou supprimer un composant).

Enfin à chaque architecture blackboard correspond un mécanisme approprié de contrôle qui assure l'opportunité du déclenchement des spécialistes .

De l'objet à l'agent : Le monde vu en termes d'objets est une idée ancienne adoptée déjà chez les Grecs, reprise par Descartes au XVII^{ème} et enfin plus récemment Minsky proposait le comportement coopératif d'agents (primitifs) comme définition de l'intelligence humaine ... En termes informatiques (moins prosaïque) on assiste depuis plus de 10 ans à l'éclosion de langages



Interface du simulateur (copie d'écran)
Le bas de l'écran représente le monde artificiel composé d'un bras de fleuve, d'un chenal qui mène à une plaine inondable et d'une mare. Chacune des espèces de poissons est représentée par des petits carrés colorés. Chaque pêcheur est représenté par un petit icône localisé soit dans un biotope soit dans un champ soit dans le village. En haut de l'écran les rectangles et les ronds représentent les connaissances des spécialistes qui sont des lots de règles. Lorsque la connaissance d'un spécialiste est requise, on voit son nom descendre le long de la flèche de droite. Les transformations qu'il provoque sur le monde artificiel peuvent constituer des événements importants. On voit alors un icône remonter la flèche de gauche et se diriger vers les spécialistes concernés. Ceux-ci seront alors activés, transformeront le monde artificiel et ainsi de suite. Les fenêtres à gauche de l'écran correspondent pour l'une au suivi de la crue pour l'autre au suivi d'indicateurs globaux sur l'évolution de l'écosystème (ici la biomasse totale et les suivis financiers des pêcheurs).

Computer simulation of small-scale fishery

The inland delta of the Niger consists of several thousand km² of floodland, a labyrinth of pools, creeks, backwaters and channels that gradually dry up as the dry season progresses. Rich in fish, the delta is a crucial resource for Mali in terms of both food and revenue. For past 20 years, however, fish stocks have been declining. Orstom and Mali's Institut des Etudes Rurales began their multi-disciplinary Niger Inland Delta program in 1986.

Linchpin of the program is the SimDelta simulation generator, a computer system that creates an "artificial world" in which different "agents" (ecosystems, fish species, fishermen) interact. This way one can predict, for example, how a change in the environment affects the growth, reproduction, mortality and migration patterns of different fish species. Some agents (eg. fish) are "reactive", while others (fishermen) are "cognitive", capable of

a wider scope of responses.

Built into the system are "experts" - sets of rules representing scientists' knowledge in different fields - which are first used to build up the artificial world.

Then, when an event occurs in the artificial world, one or several "experts" are brought into play to decide how the different agents are to react : the new situation this creates may prompt further recourse to an "expert" to guide one agent or another.

To take an example, one can simulate an ecosystem with two environments (river, pool) and three fish species ; as mortality due to fishing activities increases, a small species may take precedence over a previously more abundant larger species.

Similarly, one can compare the impact of different fishing patterns : one guided solely by economic interest, another that includes a rule banning half the fishermen from fishing in the river at low water.



Image Spot du Mali - Photo : CNES 88 - Distribution Spot Image - Réalisation : SERTIT - Tirage A. Aing/Orstom.

ou autres conceptions dits orientés objets. Il n'en demeure pas moins que dans ceux-ci demeure une "certaine" réalisation du concept.

On peut convenir que la définition informatique suivante est actuellement admise.

Objet : "Unité fondamentale des langages objets et des méthodes de conception associées, un objet est caractérisé par une structure statique (l'ensemble des liens qu'un objet entretient avec les autres objets) et un comportement dynamique (les actions qu'il effectue à la réception d'un message), défini dans une classe dont il est une instance.

Il s'agit d'un concept fédérateur permettant d'uniformiser et de généraliser tout un ensemble de notions informatiques auparavant disparates "Ferber 91.

Agent : Un agent est une entité physique ou abstraite qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement, qui peut communiquer avec d'autres agents, qui poursuit un objectif individuel, et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de ses connaissances, de ses compétences et des interactions qu'il peut avoir avec les autres agents de l'environnement.

Pour en savoir plus

Bousquet F, Cambier C : "Transfert d'échelle et univers multi-agents : le cas du système pêche du delta central du Niger, SEMINFOR4, ed. ORSTOM, 1990. Bousquet F, Cambier C : "Présentation du projet de modélisation du système

pêche: objectifs poursuivis et techniques utilisées", Actes de l'atelier de Delta Central du Niger, Bamako, 1990.

Bousquet F, Cambier C, Mullon C., Morand P. Quensière J. : "Simulating fishermen society", Actes du congrès "Simulating societies", Guildford, 1992 (Actes sous presse).

Cambier C., Bousquet F., Dansoko D. : "Un univers multi-agent pour la modélisation du système de la pêche du Delta Central du Niger" Actes du Premier congrès sur l'Informatique en Afrique, Yaoundé 1992.

Morand P. et Bousquet F. : "Modélisation des relations entre l'effort de pêche, la dynamique de la ressource et le niveau des captures dans un système fleuve-plaine", livre de synthèse du programme Delta Central du Niger, (sous presse).

Descriptif du simulateur

L'utilisateur devra opérer en trois phases :

- création des différents milieux à prendre compte; c'est à dire un fleuve, des mares, des villages, une plaine inondée relié au fleuve par un chenal, des zones d'agriculture etc.. Il devra aussi spécifier les variations hydrologiques qui affectent ce territoire.

- définition des espèces de poissons admises et répartition sur le territoire précédemment défini.

- définition et répartition des pêcheurs sur le territoire et spécification des lots de règles qui seront attachés aux différents points de vues des disciplines impliquées.

Pour ce faire l'utilisateur dispose d'une part d'un langage orienté objet pour spécifier les caractéristiques et le compor-

Les différents agents

Dans l'état actuel des travaux en systèmes multi-agents deux types de méthodes se développent : il s'agit des systèmes multi-agents réactifs et des systèmes multi-agents cognitifs. Un agent réactif est une entité informatique pourvue d'un comportement élémentaire et d'un système de perception limité. L'agent cognitif est une entité complexe capable de raisonner à partir des représentations de son environnement, des autres agents, de ses propres connaissances et de celles des autres. On parlera souvent de lui comme agent intentionnel (construit des plans et suit des buts).

La simulation des pêches intègre à la fois des agents plutôt réactifs (les groupes de poissons) et des agents plutôt cognitifs (les pêcheurs). Cette expérience fournit ainsi au domaine de l'informatique une base de réflexion pour proposer une méthode, un langage qui intègre des agents à capacité cognitive variable.

tement primitif des différents agents de base, d'autre part d'un langage déclaratif très simplifié permettant de définir les règles qui agiront sur ceux-ci.

Cette étape achevée, SimDelta est pourvu d'une interface qui permet de visualiser à la fois le monde simulé et le fonctionnement de l'architecture adopté et d'observer de nombreux indices (structures démographiques des poissons, évolution des quantités de poissons dans les milieux, distribution des activités et des revenus chez les pêcheurs, etc...) .

Spécifications techniques

SimDelta est développé sur station de travail Sun en langage orienté objet (Smalltalk). Il est possible de l'implanter sur plusieurs machines en réseaux pour ainsi simuler plusieurs mondes qui communiquent.

Collaborations

Ce travail a été effectué au sein de l'Unité de Modélisation de l'Environnement du Laboratoire d'Informatique Appliquée de l'Orstom (Centre de Bondy) en collaboration avec le "Grand Programme Delta Central du Niger" du Département Eaux Continentales de l'Orstom, l'Institut d'Economie Rurale (IER, Mali), le laboratoire Formes et Intelligence Artificielle (Laforia, Paris 6) et le laboratoire de Biométrie et biologie des populations (Lyon 1).

Bousquet François, Cambier Christophe

L'intelligence artificielle au service des pêches artisanales

ORSTOM Actualités, 1993, (40), p. 8-12. ISSN 0758-833X